



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Iztapalapa

**ESTUDIO DE PTERIDOFITAS COMO INDICADORAS DE
DETERIORO AMBIENTAL EN EL BOSQUE DE SAN JERÓNIMO
AMANALCO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Biología

PRESENTA

MA. LUCÍA RODRÍGUEZ ROMERO

Octubre/2004



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Iztapalapa

**ESTUDIO DE PTERIDOFITAS COMO INDICADORAS DE
DETERIORO AMBIENTAL EN EL BOSQUE DE SAN JERÓNIMO
AMANALCO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Biología

PRESENTA

MA. LUCÍA RODRÍGUEZ ROMERO

Octubre/2004

La Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Excelencia del CONACYT.

El trabajo taxonómico de la presente tesis se desarrolló en el Herbario Metropolitano “Ramón Riba y Nava Esparza” (UAMIZ), de la Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, en el Laboratorio de Biosistemática de Pteridofitas.

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

Ma. Lucía Rodríguez Romero

El día 28 de julio del año de 2004

Comité Tutorial

Tutor: Dra. Armida Leticia Pacheco Mota

Asesor: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Asesor: Dr. Pablo Corcuera Martínez del Río

Sinodal: Dra. Alma Delfina Lucía Orozco Segovia

Sinodal: Dra. Mahinda L. Martínez y Díaz de Salas

El presente trabajo lo dedico a

Ramón Riba y Nava Esparza

In memoriam

Para:

Mercedes Romero,

Eulalio Águila y

Eduardo Águila

por su apoyo y amor

incondicional

Agradezco a la Dra. Leticia Pacheco, al Dr. Alejandro Zavala y al Dr. Pablo Corcuera el haber aceptado formar parte del Comité Tutoral, su constante labor crítica y útiles indicaciones hacia la presente investigación. Reconozco y agradezco a la Dra. Blanca Pérez-García por haberme brindado todas las facilidades para trabajar en el laboratorio de pteridofitas, sus valiosas ideas, comentarios, observaciones y apoyo tanto material como moral para la realización del presente proyecto. De igual forma agradezco a la M. en C. Irma Reyes Jaramillo las atinadas observaciones y propuestas brindadas, además de las facilidades otorgadas para medir y evaluar las muestras de suelo en el laboratorio de edafología. Deseo expresar mi gratitud al Biól. José Luis Campos Díaz por sus comentarios y sugerencias, ya que fue parte importante para la estructuración del escrito; al Lic. Juan Antonio Rodríguez Romero y al Sr. Jorge Lodigiani por su trabajo fotográfico. Finalmente, agradezco el apoyo recibido como becaria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para la realización de los estudios de maestría en la UAM Iztapalapa.

RESUMEN

Se estudiaron los patrones de distribución de veintisiete especies de pteridofitas como posibles indicadoras de deterioro ambiental en el bosque templado de San Jerónimo Amanalco, Texcoco, Estado de México. La presencia y abundancia de la pteridoflora se relacionó con variables edáficas, topográficas y de vegetación en 100 sitios de muestreo en un área de 494 Ha. Con base en el Análisis de Correspondencia Canónico se pudo explorar la relación entre variables. Se determinaron cinco paisajes en el área de estudio, con base al grado de deterioro: erosión severa, erosión, montaña con deterioro moderado reversible, montaña sin deterioro aparente y cañada sin deterioro aparente. Con base en el diseño de un banco de esporas con las muestras de suelo obtenidas en campo, al relacionarlas con variables ambientales, se logró determinar que sí existe afinidad entre las estrategias reproductivas con paisajes perturbados. Se concluyó que la apogamia favorece la colonización de terrenos deteriorados. *Cheilanthes aff. bonariensis*, *C. bonariensis* y *Pellaea ternifolia* son indicadoras de deterioro ambiental. *Cystopteris fragilis*, *Pleopeltis mexicana* y *Polypodium thyssanolepis* son indicadoras de condiciones edáficas. Se propone categorizar a cinco especies como raras por su baja abundancia relativa y por estar restringidas a condiciones ambientales limitadas.

ABSTRACT

The patterns of distribution of twenty-seven species of pteridophytes were studied, as possible indicators of environment deterioration in the temperate forest of San Jeronimo Amanalco, Texcoco, Mexico State. The presence and abundance of Pteridophyta was related with edaphic, topographic and vegetation variables at 100 sampling sites in an area of 494 hect. The relation between these variables was explored according to the Canonical Correspondence Analysis.

Cheilanthes aff. *bonariensis* and *C. bonariensis* were spread all over the great disturbance places. Five species of less relative to abundance were found and restricted in a sampling area. Therefore they were considered as rare species. It was concluded that there is a relationship between the presence and abundance of some taxa and the deterioration rate, besides the existence of relation between disturbance areas and the apogamy reproduction.

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
CONTENIDO	7
I. INTRODUCCIÓN	9
II. ANTECEDENTES	11
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
IV. MÉTODOS	27
V. RESULTADOS	40
VI. DISCUSIÓN	74
CONSIDERACIONES ADICIONALES	87
VII. CONCLUSIONES	90
LITERATURA CITADA	93
APÉNDICE A. Características físicas y edáficas.	I
APÉNDICE B. Distribución de taxa de pteridofitas.	IV
APÉNDICE C. Banco de esporas.	X
APÉNDICE D. Dimensiones de esporas.	XIII
APÉNDICE E. Cultivo de esporas.	XIV
APÉNDICE F. Índice de diversidad con base en la abundancia.	XV
APÉNDICE G. Índice de diversidad con base en la presencia-ausencia.	XVII

I. INTRODUCCIÓN

México, gracias a su posición geográfica, cuenta con una gran diversidad climática, fisiográfica y ecológica que le da las características necesarias para ser considerado como uno de los países de mayor diversidad en el mundo (Rzedowski, 1978). Sin embargo, el crecimiento demográfico y la tendencia a elevar el nivel económico y el bienestar social, aunado a los avances científicos y tecnológicos, han alterado profundamente el ambiente natural.

En el caso particular de la zona oriente del municipio de Texcoco, Estado de México, una parte de los terrenos que se extienden en las faldas de la Sierra Nevada presentan un considerable grado de erosión debido al cambio de uso del suelo. Lo que hasta hace algunos años eran bosques de encino-pino y zona de manantiales en la que fluía agua todo el año, ahora son en el mejor de los casos, suelos agrícolas con algunos manchones de bosque que actualmente presentan problemas de incendios, plagas, enfermedades y sobrepastoreo.

Por las características del proceso de erosión y deterioro ambiental, se requiere de técnicas de monitoreo y evaluación para conocer los cambios que sobre los recursos ocasionan éstos procesos. Las comunidades vegetales dan una mejor indicación de la naturaleza del ambiente, que la que se puede obtener por mediciones de factores ambientales. El carácter y el modo de ser de una comunidad es una expresión de los efectos conjugados de todos los factores que operan en un hábitat.

Desde esta perspectiva, cada planta es resultado de las condiciones bajo las cuales crece y es, en consecuencia, una medida del ambiente e indicador de los cambios e impactos ambientales de una comunidad.

Las pteridofitas forman parte del sotobosque, son algunos de los mayores componentes de comunidades de hierbas terrestres y epífitas, se encuentran en todas las regiones excepto en las extremadamente áridas. Es un grupo que tiene gran capacidad de dispersión, gran potencial de autofecundarse y alto grado de variación genética (Tryon, 1986), características que les permite invadir u ocupar nuevas áreas, además de ensanchar su tolerancia ecológica. Por tanto, son éstas comunidades quienes pueden indicar procesos tales como erosión, explotación, pisoteo, incendios, y como consecuencia, pueden ser de gran utilidad para señalar o indicar condiciones y procesos de deterioro ambiental.

En este trabajo se realizaron estudios a nivel local, en un bosque templado con áreas que presentan elementos de paisaje muy diversos, cuyo reflejo se manifiesta en la diversidad y abundancia de la vegetación en cada uno de ellos. El propósito de este estudio es descubrir y describir el cambio de la abundancia y la diversidad de las pteridofitas, basado en estrategias reproductivas y factores edafológicos que pueden poner de manifiesto el grado de deterioro ambiental local. Los factores abióticos considerados fueron los edafológicos ya que al tratarse de un área local, la precipitación y la temperatura no son una variante importante, pero en cambio las características de suelo se modifican por el tipo de uso y por el grado de erosión.

II. ANTECEDENTES

Deterioro ambiental

El impacto ambiental que se ha reflejado de manera directa sobre los recursos, los diferentes paisajes y sobre la diversidad de flora y fauna a nivel mundial, nacional y regional, se ha expresado generalmente de manera negativa, ya que la actividad del hombre produce alteraciones desfavorables y una degradación progresiva del ambiente.

De manera indistinta se manejan conceptos como estrés, perturbación, degradación, desertificación y erosión para usarlos en estudios de descripción y análisis de los sistemas ecológicos naturales. Tal es el caso de Ortiz & Anaya (1983) quienes asocian la desertificación con el concepto de deterioro y degradación, considerando cuatro procesos primarios: degradación de la cubierta vegetal, erosión hídrica, erosión eólica y salinización.

La degradación como concepto, implica la pérdida de las capacidades productivas del ambiente debido a procesos de erosión, salinización, pérdida de nutrientes y modificación de la estructura del suelo (Landa *et al.*, 1997). Pero si bien estos procesos se realizan de forma natural, a su vez han sido acelerados por intervención del hombre. Con el fin de precisar el término deterioro ambiental, Landa *et al.* (1997) lo definen como “una modificación del ambiente que implica una reducción o pérdida de sus cualidades físicas y biológicas, causadas por fenómenos naturales o por actividades humanas, representando finalmente una disminución de la disponibilidad de los bienes y servicios del ecosistema para las poblaciones

humanas”. Por lo anterior, se hace necesario descubrir y describir patrones de riqueza y distribución de la vegetación que permitan distinguir entre sistemas seriamente deteriorados de aquellos que no lo están. Ante este panorama, realizar un estudio sobre el grado de deterioro ambiental basado en la presencia de ciertas especies, puede ser especialmente útil en regiones con características de montaña, como es el caso de los bosques templados, que presenten heterogeneidad de condiciones físicas y problemas ambientales críticos relacionados al de uso de suelo y patrones de vegetación.

Situación actual

De acuerdo al sistema de Köeppen (García & Köeppen, 1973), la categoría Cw (templado con temporada lluviosa en la época caliente del año) domina a lo largo del Eje Neovolcánico Transversal, y por tanto a la Sierra Nevada, en donde Rzedowski (1978) menciona cuatro subtipos de vegetación que son: bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino y bosque cultivado; siendo los bosques de pino-encino mexicanos de gran riqueza biológica en el mundo, ya que en ellos habitan 55 especies de pinos y 138 de encinos, en una distribución de bosque templado nacional, correspondiendo al Estado de México el 2.34% de bosque de coníferas y el 2.0% de bosque de encino (Flores & Gerez, 1994).

Deforestación

Datos de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) dan a conocer que México contaba originalmente con cerca de 22 millones de hectáreas de selvas húmedas o bosques tropicales perennifolios (Quadri de la Torre, 2003).

Actualmente, a causa de la deforestación sólo restan poco más de 800 mil hectáreas dispersas en la región Lacandona, en los Chimalapas y en algunos manchones aislados e inaccesibles en Veracruz y otras regiones de Oaxaca. Además se ha perdido más de la mitad de los bosques templados de coníferas, encinos y otras especies de hoja ancha, que llegaban a cubrir alrededor de 50 millones de hectáreas (Cuadro 1). En el presente, sobreviven las masas de mayor importancia en Chihuahua, Durango y en el Eje Volcánico (Quadri de la Torre, 2003).

Asimismo, en 1978 los bosques del municipio de Texcoco contabilizaban una superficie de 225.89 km², registrándose una reducción por deforestación y cambio de uso de suelo de 33.89 km² (3389 Ha) en 1994, por lo que la superficie marcó un decremento del 8.10% con una tasa de reducción de 0.50, siendo la velocidad de pérdida de bosque anual de 282.41 Ha/anuales (Escalona, 2004).

Incendios

El fuego es el instrumento más importante a través del cual se conduce el proceso de deforestación, y se utiliza ampliamente en el territorio nacional sobre todo en el sur y sureste. En 1998 se llegó a una cifra total de 1400 incendios reconocidos, los cuales afectaron más de 582 mil hectáreas; de éstos, 405 mil son ecosistemas forestales y el resto pastizales. Del total de hectáreas incendiadas de bosques y selvas, se puede considerar que aproximadamente la mitad corresponden a bosques y selvas tropicales y la otra a templados (Quadri de la Torre, 2003).

Con base en lo anterior, se desprende que el costo de las pérdidas económicas totales producidas por los incendios forestales en México en 1998, puede oscilar entre 140 y 1,028 millones de dólares (Quadri de la Torre, 2003).

Región	Deforestación (miles de ha.)
Noreste	92.3
Noroeste	96.3
Occidente	62.1
Centro	67.5
Sureste	189.8
Total	508.0

Cuadro 1. Deforestación anual por regiones (Quadri de la Torre, 2003).

Impacto en la Biodiversidad

Más del 50% de la cubierta vegetal original del país se ha perdido, lo que ha provocado la reducción drástica de hábitat a nivel nacional. Los indicadores más contundentes del daño ecológico son la extinción de especies y el incremento en el número de las amenazadas como se observa en el Cuadro 2.

Grupo	En pe- peli- gro	Endé- mica en peligro	Ame- naza- da	Endémi- ca ame- nazada	Rara	Endé- mica rara	Protec- ción es- pecial	Endémica protección especial
Mamíferos	32	13	31	87	47	44	11	0
Aves	30	20	84	28	122	6	8	3
Reptiles	13	3	40	71	84	224	29	13
Anfibios	1	6	7	34	38	97	2	14
Peces	10	49	10	51	5	15	0	0
Invertebrados	10	11	11	0	0	2	18	1
Plantas	56	66	159	168	186	219	31	12
Hongos	10	0	9	0	28	0	6	0

Cuadro 2. Grupo y número de especies terrestres de México en riesgo (Quadri de la Torre, 2003; Flores y Gerez, 1994).

Variabilidad de paisaje

El paisaje se define como una expresión lógica de todos y cada uno de los elementos del medio natural que puede ser dividido en unidades jerárquicas. Éste puede ser un área de extensiones de kilómetros cuadrados donde grupos de parches interactúan, se repiten, pero no a escala de bioma (Santos, 1983; Bojórquez & Ortega, 1988). Las diferencias entre parches están dadas principalmente por su dinámica, régimen de disturbios, formas, tamaño y suelos; la dinámica del paisaje responde a la interrelación entre factores bióticos y abióticos donde los organismos están en constante adaptación al medio físico (Santos, 1983).

La vegetación y el relieve son elementos evidentes a simple vista, que permiten obtener una primera visión del paisaje; los agentes de formación de ciertos modelos paisajísticos pueden ser categorizados como perturbaciones, procesos bióticos y limitantes ambientales (Santos, 1983; Bojórquez & Ortega, 1988).

Pteridofitas.

El grupo de pteridofitas (helechos y plantas afines) se caracteriza por presentar alternancia de generaciones; es decir, se alternan dos fases independientes y de vida libre, una perenne y conspicua que es el esporofito, con número cromosómico diploide y la otra inconspicua y de vida relativamente corta que es el gametofito, con número cromosómico haploide (Pérez-García *et al.*, 1995). El gametofito haploide en las pteridofitas se denomina prótalo, el cual suele vivir unas pocas semanas o ser perenne, alcanza algunos centímetros de diámetro y da origen a un gran número de anteridios y arquegonios cuya fecundación sólo es posible en el agua (Strasburger *et al.*, 1993; Pérez-García *et al.*, 1995).

Los helechos presentes en el área de estudio son homospóricos, quienes se caracterizan por tener diferentes mecanismos de reproducción (Lloyd, 1974):

- Autofecundación intragametofítica.- fusión de un anterozoide y una célula huevo de un mismo gametofito resultando un cigoto
- Autofecundación intergametofítica.- fusión de un anterozoide y una célula huevo de diferentes gametofitos pero de un mismo esporofito.

- Entrecruzamiento intergametofítico.- fusión de un anterozoide y una célula huevo de diferentes gametofitos, cada uno originado de diferentes esporofitos.
- Apareamiento intergametofítico.- fusión de anterozoide y célula huevo de diferentes gametofitos cuyo origen no está especificado.

Aunado a estos mecanismos, el ciclo de vida de estos organismos se modifica cuando presenta estrategias reproductivas que forman esporofitos adultos (Sheffield & Bell, 1987):

- Apogamia.- El gametofito forma un esporofito sin fusión sexual.
- Aposporia.- No se forman esporas.
- Propagación vegetativa.- a partir de diferentes partes de la planta como fragmentos de rizomas, fragmentos de aurículas y diversos tipos de yemas.

Los mecanismos y estrategias reproductivas promueven o inhiben la plasticidad fenotípica, tolerancia ecológica y permiten una amplia distribución potencial en ambientes perturbados (Barrington, 1993; Tryon, 1986; Lloyd, 1974). Asimismo, el estudio de Pteridofitas como indicadores de deterioro ambiental se apoya en la serie de componentes básicos que las caracteriza:

- El grupo de pteridofitas se encuentra en todas las regiones excepto en zonas extremadamente áridas (Tryon, 1986).

- El tipo de dispersión dominante es por el viento a larga distancia llamada dispersión anemócora (Barrington, 1993; Tryon, 1986).
- Una gran capacidad de dispersión, que se basa no sólo en la densidad de población en la periferia y en la movilidad de las esporas sino también, del número de dichos elementos que están en disposición de ser trasladados.
- Algunas de las pteridofitas poseen gran capacidad de expansión considerándose como pródigas, oportunistas o pioneras, por ello son propias de las primeras etapas de la sucesión y su evolución ha sido tal, que su éxito consiste en la fácil colonización de ambientes vacíos adecuados como claros de bosques, selvas y zonas áridas además de áreas consideradas como “nuevas” que se abren de manera irregular y son de duración limitada (Zimmermann, 1976; Margalef, 1977; Strasburger *et al.*, 1993).
- Invaden ambientes perturbados como laderas taladas y bosques recientemente quemados, a causa de su producción de millones de esporas llevadas por el viento y por tener fuerte tolerancia al sol (heliófilas) como en los géneros *Pteridium*, *Asplenium* y *Selaginella* (Pérez-García *et al.*, 1995; Riba, 1998).

En México existen más de 110 géneros y de 1,000 a 1,100 especies de pteridofitas, lo que representa casi el 5% de la flora vascular de México, calculada en 22,800 especies (Riba, 1998).

Para el Estado de México, Matuda (1956a y 1956b), reconoció 26 géneros y 88 especies en el estado; Tejero & Arreguín (2002) consideran 248 taxa, de los cuales 60 se citan por primera vez, cada taxon es acompañado por datos de distribución, forma biológica, hábitat, tipo de vegetación y datos de altitud.

Actualmente, aunque los helechos comparten en el bosque el mismo espacio físico con las fanerógamas herbáceas, no se ha determinado claramente su papel ecológico (Rincón-Gallardo, 1991) siendo estudiados en un inicio con base en la morfología del esporofito, en la que descansan las principales clasificaciones y posteriormente, enfocado en su relación a condiciones de luz, humedad y temperatura en hábitats naturales (Rincón-Gallardo, 1991; Riba & Pérez-García, 1994).

Rareza

Las especies raras reciben diversas connotaciones y en la práctica se aplican de acuerdo a las condiciones específicas que se presenten; bajo este contexto, el término rareza tiene que ver con la baja intensidad de concentración de las poblaciones (Mace & Land, 1991; Mace, 1994), es decir, las especies tienen esta categoría en el sentido de que su rango geográfico es limitado, las poblaciones locales son pequeñas, no dominantes o de baja intensidad; Los taxa raros pueden tender de manera general a la reproducción asexual (Kunin & Gaston, 1993) o pueden categorizarse como especies clímax ya que están restringidas a tipos de suelo inusuales. De manera contraria, existen aquellas especies consideradas comunes, con un extenso rango geográfico, amplia especificidad de hábitat y poblaciones locales grandes (Rabinowitz, 1981; Begon *et al.*, 1996).

La vegetación y el medio ambiente

Los factores ambientales como clima y suelo, entre otros, influyen notablemente sobre la vegetación. El clima, el suelo y la vegetación están tan íntimamente relacionados que es posible encontrar patrones, hasta cierto grado predecibles, que ayuden a encontrar las correlaciones existentes entre la distribución de especies vegetales (Equihua & Benítez, 1994; Cárcamo & Cisneros, 1985; Crawley, 1986; Toledo, 1990). Es el clima quien mantiene el papel principal como factor determinante ya que no sólo interviene directamente sobre la vegetación, sino que en conjunto con ésta, actúa sobre el material madre transformándolo en suelo (Porta *et al.*, 1994).

Las comunidades como sistemas que cambian en el espacio y tiempo, revelan fluctuaciones poblacionales generadas por la variación en los factores físicos y biológicos. Los helechos homosporicos y algunas especies de grupos afines responden diferencialmente a las condiciones ambientales y pueden cohabitar en la medida en que sus rangos de tolerancia se traslapen. Para estudiar las relaciones clima, suelo y vegetación, Grime (1982) sugiere tres enfoques: el correlativo, el directo y el comparativo.

El correlativo consiste en explicar la variación en la composición de la vegetación con respecto a la variación ambiental asociada. El éxito de este enfoque radica en identificar ciertos factores climáticos y edáficos que determinan el carácter de la vegetación. El directo depende de la observación y el registro detallados del establecimiento, longevidad y reproducción de las plantas en una vegetación natural en sitios específicos del campo.

Asimismo, el enfoque comparativo implica el estudio en condiciones experimentales estandarizadas de estrategias de germinación, crecimiento y fisiología reproductiva de especies y poblaciones de ecología contrastada. Para el estudio del deterioro ambiental, resulta difícil considerar todos los componentes; sin embargo, la dificultad se reduce si se consideran algunas características clave como son: el reconocimiento de algunas tendencias, por ejemplo erosión, y sus señales tempranas; la presencia de áreas de cultivo en condiciones topográficas inadecuadas, susceptibles a ser utilizadas para el establecimiento de criterios y políticas de desarrollo para prevenir el deterioro.

Suelo

Existen trabajos relacionados con el uso de algunas especies vegetales como indicadoras de características edáficas importantes para la agricultura, como es el caso de los estudios realizados por Weaver & Clements, (1944) y la obra clásica sobre sucesión vegetal e indicadores de Clements (1928).

Se ha reconocido el significado de ciertas pteridofitas que señalan características de suelos. Wherry (1920) resaltó las preferencias edáficas de algunos helechos del noreste de Norteamérica, considerando el pH y el contenido de calcio. Kruckeberg (1964) estudió helechos que crecen en suelos derivados de rocas de silicatos de hierro y magnesio, en Washington, Oregon, California y Montana. Graves & Monk (1982) a su vez correlacionaron parámetros edáficos de dos suelos de diferente material parental: mármol y esquistos de milonita, en el norte de Georgia.

En México, Valdés & Flores (1983) encontraron 14 especies que crecen en suelos yesosos o salinos; *Acrosticum aureum* L. y *A. danaeifolium* Langsd. et Fisch. comunes en manglares, marismas salinas y lagunas costeras; *Notholaena bryopoda* Maxon está restringida a suelos yesosos y es considerada endémica del norte de México.

La especialización edáfica fue estudiada en dos hectáreas del Amazonas, hallando 61 especies de pteridofitas de las cuales 19 se encontraron únicamente en suelo de textura arenosa y 24 en arcillas; la conclusión fue que dentro de una determinada zona climática, la diversidad en tipos de suelos y la posición topográfica pueden dar lugar a un hábitat en mosaico, donde tanto especialistas edáficos como generalistas pueden crecer en una sola área (Young & León, 1989).

Las diferencias en abundancia de varias especies se han correlacionado con acumulación de materia orgánica y condiciones de drenaje en la selva húmeda del Amazonas. Existe gran influencia de circunstancias geológicas y variaciones edáficas a pequeña escala sobre la distribución de especies de plantas y tipos de vegetación (Tuomisto & Ruokolainen, 1994). La abundancia de pteridofitas terrestres fue estudiada en 8 sitios al oeste del Amazonas, los gradientes fueron suelos arenosos pobres en nutrientes hasta suelos arcillosos relativamente fértiles y, por otro lado, la composición florística con una clara correlación entre los diferentes tipos de suelo (Tuomisto & Poulsen, 1996).

Debido a que las esporas de los helechos pueden ser fácilmente dispersadas por el viento a grandes distancias, su patrón de dispersión es probablemente el reflejo de la disponibilidad de un hábitat conveniente que limite su dispersión, la conclusión es que la especialización en muchas pteridofitas es suficiente para justificar que se usen como indicadoras de la fertilidad del suelo (Tuomisto & Poulsen, 1996). Asimismo, estudios de patrones de distribución del género *Adiantum* dieron como resultado la variación de presencia y abundancia con respecto a la textura, contenido de cationes y topografía (Tuomisto *et al.*, 1998).

En resumen, las variaciones fisonómicas y florísticas responden a variaciones edáficas y topográficas a nivel local. Una tasa de crecimiento lenta puede deberse a baja productividad del suelo. Esto se debe a factores como textura, inclinación y orientación de la ladera, pH bajo, disminución en cantidad de materia orgánica, nitrógeno y potasio entre otros; además de la vulnerabilidad o grado de susceptibilidad que tiene el medio a ser deteriorado ante la incidencia de determinadas acciones antropogénicas (González, 1981; Grime, 1982; Porta *et al.*, 1994; Conesa, 1995).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El deterioro ambiental, considerado como una modificación del ambiente que implica una reducción o pérdida de sus cualidades físicas y biológicas, es causado por fenómenos naturales o por actividades humanas. En el área de montaña de la zona Oriente del Estado de México, en la que están ubicados los bosques y la población rural, el deterioro ambiental se debe sobre todo al cambio de uso del suelo, que ocasiona pérdida del bosque y facilita la erosión y transformación del paisaje con repercusiones sociales y económicas en la región. Por ello son necesarios estudios en los que el conocimiento de los recursos permitan descubrir y en su caso describir patrones biológicos que nos lleve a planear y explotar de manera racional y sostenible los ecosistemas que en ella se encuentran. Un bosque perturbado presenta una gran variedad y complejidad de características ambientales y ecológicas que requieren ser analizados y evaluados.

Las pteridofitas, al ser en muchos casos el mayor componente de las comunidades herbáceas en los bosques templados y cuya particularidad, en algunas especies, es adaptarse tanto a lugares húmedos como xéricos; además de reaccionar rápidamente a los cambios ambientales locales y climáticos, son buenas indicadoras para conocer la interrelación entre la vegetación y los suelos en lugares perturbados o deteriorados. Es decir, pueden ser útiles como indicadoras del grado de perturbación de un área específica, de forma que sea posible monitorear y evaluar los recursos para buscar alternativas viables de restauración o prevención de un deterioro posterior.

HIPOTESIS

Si bajo un mismo clima local en un bosque templado se presentan parches con diferente grado de deterioro, provocado por el cambio de uso de suelo, deforestación, incendio y erosión, **entonces** las características edáficas (color, pH, y cantidad de materia orgánica) serán modificadas en distinto grado y por lo tanto solamente algunas especies de pteridofitas con tolerancia ecológica restringida y estrategias reproductivas adecuadas a las condiciones particulares de cada parche, serán las que se establezcan en ellos, los invadan y los colonicen.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las especies de pteridofitas presentes en el área de estudio y determinar aquellas indicadoras de características asociadas a perturbaciones ambientales.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Determinar las pteridofitas presentes en el área de estudio.
- 2) Describir los patrones de presencia-ausencia, diversidad y abundancia de las pteridofitas en el área de estudio.
- 3) Conocer de manera general los procesos de perturbación ambiental del área de estudio para proponer una clasificación del deterioro en el área.
- 4) Evaluar de forma general las características edafo-ecológicas del sitio de estudio.
- 5) Describir características ambientales donde se desarrollan las pteridofitas identificadas.
- 6) Conocer si existe afinidad entre sitios perturbados con las estrategias reproductivas de las pteridofitas registradas.
- 7) Evaluar y determinar las especies indicadoras del grado o tipo de perturbación ambiental.

IV. MÉTODOS

Características del área de estudio

El área de estudio se encuentra en la zona Oriente del Estado de México, en el municipio de Texcoco, el cual representa el 1.8% de la superficie del estado (Fig. 1). Al norte del área de estudio se encuentra el municipio de Tepetlaoxtoc, al este los límites del Estado de Tlaxcala, al sur se perfila la zona montañosa, macizos que forman parte de la Sierra Nevada y al oeste las poblaciones de Santa María Tecuanulco y Santa Catarina del Monte (INEGI, 2000; Cosío, 2001). El paisaje que forma el área de estudio se distingue por una gran heterogeneidad en el tipo de vegetación, relieve y grado de deterioro, ocasionado o acelerado por la acción humana, lo que se refleja en gran diversidad de parches o elementos de paisaje.



Fig. 1. Mapa del estado de México mostrando la ubicación del municipio de Texcoco.

San Jerónimo Amanalco se ubica a 19°31' de latitud norte y a 98° 46' de longitud oeste, altitud de 2,650 m. s. n. m. La localización del área de estudio es: 98° 43.5' a 98°45' longitud oeste y 19°30.5' a 19°31.5' latitud norte (Fig. 2). Esta región forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, subprovincia de los lagos y volcanes de Anáhuac, en la topoforma de sierra. La sierra ocupa el 47.55% de la superficie del municipio (INEGI, 2000; Cosío, 2001). Geológicamente se caracteriza por suelos del Cenozoico, del periodo terciario, derivados de roca ígnea extrusiva en unidades litológicas de andesita y brecha sedimentaria (INEGI, 2000). La mayor parte del suelo se encuentra formado por cambisol y pequeñas áreas por vertisoles y litosoles (INEGI, 2000).



Fig. 2. Municipio de Texcoco mostrando en el recuadro el área de estudio.

Los ríos que cruzan el municipio de Texcoco tienen su origen en la parte oriental de la Sierra Nevada, los cuales no son de caudal permanente y desembocan en su totalidad en lo que fuera el Lago de Texcoco. En el área de estudio la corriente superficial corresponde al río Hueyapa (INEGI, 2000). La mayoría de los manantiales observados en el área forman parte de la cañada denominada El Partidor.

La temperatura promedio es de 15.7°C, la temperatura promedio del año más frío es de 14.1°C y del año más caluroso de 18.7°C. El promedio de la temperatura media mensual nos indica que los meses más fríos son noviembre (13.8°C), diciembre (12.7°C), enero (12.5°C) y febrero (13.9°C). Abril (17.6°C), mayo (18.4°C) y junio (17.9°C) son los meses más calurosos (INEGI, 2000). El promedio de precipitación total mensual durante los años 1926-99 señala como los meses de mayor precipitación a junio (102.7 mm), julio (122.0 mm) y agosto (112.2 mm), en tanto que los meses más secos son diciembre y febrero con 6.4 y 5.4 mm respectivamente (INEGI, 2000; Cosío, 2001).

Con datos de la estación meteorológica 15-144, Chapingo, localizada a 19°29'05'' latitud norte y 98°53'11'' longitud oeste, con una altitud de 2,280 m. s. n. m., se determinó el tipo de clima del área de trabajo con información detallada correspondiente a los años 1927 a 1999 y el Cuaderno Estadístico Municipal de Texcoco, Estado de México (INEGI, 2000). El clima es C(w2) que corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, y C(E)(w2) que corresponde a un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (García & Köeppen, 1973).

El sistema orográfico del área está constituido por cerros que van de 2920 a 3040 m. s. n. m., como se describe en el Cuadro 3. El gradiente altitudinal del área de estudio es de 2650 a 3040 m. s. n. m. La vegetación de la zona consiste de bosque de encino y pino, pastizales inducidos y áreas de uso agrícola (INEGI, 2000; Cosío, 2001).

Cerro	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud m. s. n. m
Chichahuaxco	19°31'	98°44'	2970
Tlapahuetzia	19°31'	98°45'	2920
Texcaltenco	19°31'	98°44'	3040
Tepehuazoyo	19°31'	98°44'	3030
Coatemulco	19°31'	98°45'	3020

Cuadro 3. Elevaciones principales del área de estudio (INEGI, 2000).

Selección y ubicación de los sitios de muestreo

Se hizo un recorrido previo en la zona, para obtener datos de variables como: altitud, longitud y latitud con un GPS modelo 315 Magellan, determinando coordenadas en rasgos reconocibles, brechas, cruces de camino y formas geográficas sobresalientes visibles en campo. Mediante el uso de una brújula Brunton se determinó la posición geográfica de la zona, tomando como referencia de situación los poblados, caminos, curvas de nivel y accidentes geográficos sobresalientes.

De forma provisional y tentativa, se reconocieron los diversos tipos de vegetación presentes de acuerdo a la clasificación de Rzedowski (1978); además de determinar la posición geográfica (norte, sur, este y oeste) del área de trabajo respecto a rangos reconocibles de campo, comparados con las cartas topográficas para identificar las correspondencias. Se utilizaron las cartas topográficas E14B31 y E14B21 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1998) en escala 1:50,000, elaborándose un mapa basado en una cuadrícula de X (longitud), Y (latitud) de 250 metros de separación. En la carta E14B21 se midió la distancia en X y Y, la distancia se transformó de acuerdo a la escala de la carta de la siguiente forma: $\text{distancia real} = \text{distancia de la carta} \times 500$, obteniéndose la distancia real en metros, al utilizar la distancia medida en la carta en centímetros.

El mapa fue numerado progresivamente del límite occidental al oriental y marcados alfabéticamente del límite sur al límite norte, obteniéndose un total de 88 puntos de intersección, a estos se sumaron 12 puntos que fueron elegidos por sus características topográficas y de vegetación particulares, haciendo un total de 100 lugares o puntos de muestreo.

Para los aspectos de geología, hidrología y uso de suelo, se consultó el Cuaderno Estadístico Municipal de Texcoco, Estado de México e indicadores demográficos y económicos de Texcoco (INEGI, 2000; Cosío, 2001). La descripción del tipo de suelo se realizó de manera inicial con el Cuaderno Estadístico Municipal (INEGI, 2000), complementándose la información con los análisis de suelo del área de trabajo.

Muestreo

El método de transecto en banda consiste de una tira de “x” número de metros por un metro de ancho, donde la vegetación registrada es la que está presente entre las líneas del transecto (Bennett & Humphries, 1981). El método de muestreo utilizado fue una variación al transecto en banda. La variación consistió en lo siguiente: una banda de 40 metros de largo que corre de norte a sur, partiendo de cada punto de intersección determinado en el mapa de cuadrantes diseñado en gabinete para este fin. La banda fue dividida en cinco subunidades, con distancia una de la otra de 10 metros partiendo del punto de intersección, se marcó la línea con un cordón a los 0, 10, 20, 30 y 40 metros. En cada subunidad se utilizó un bastidor de un metro cuadrado para limitar la zona de muestreo con el fin de determinar el número de individuos y la especie de las pteridofitas presentes, de tal manera que cada sitio de muestra consiste de información de cinco metros cuadrados en total.

En cada punto de intersección, más los 12 puntos adicionales, se colectó una muestra de un kilogramo de suelo del horizonte A, hasta 10 cm. de profundidad, registrándose los datos de altitud, pendiente, orientación, descripción de materia orgánica y textura, tipo de vegetación, abundancia y densidad de la misma, además del tipo de deterioro en su caso. Los resultados se vaciaron por sitio de muestra en hojas de trabajo diseñadas con este fin (Fig. 3).

Altitud

Se obtuvo con un altímetro marca Thommen Classic.

Relieve

El relieve se determinó de acuerdo a las características físicas del lugar observándose básicamente tres formas (montaña, lomerío y cañada), las cuales son señaladas por sitio.

Pendiente

Ésta se midió utilizando un clisímetro de mano y una estaca con marca a la altura de los ojos del observador, situada a 10 metros, en el sentido de la máxima pendiente. Pendiente = $\text{tg del ángulo vertical} \times 100$. La clasificación de inclinación se hizo atendiendo a los criterios propuestos por la Food and Agriculture Organization (Siebe *et al.* 1996).

Exposición del sitio (azimut)

Se midió con una brújula magnética Brunton en dirección de la máxima pendiente. La dirección geográfica de la exposición se obtuvo con el rumbo magnético, al quedar éste en alguno de los intervalos de clase (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO) asignándose números del 1 al 8 respectivamente. Este dato se omitió cuando el sitio era plano y se registró con el número cero.

Textura del suelo

Es una de las características más importantes de un suelo y puede inferirse en campo a través de la “prueba al tacto”. La prueba se describe en el manual de Siebe *et al.* (1996) que contiene una clave para la designación de la clase textural.

Descripción de materia orgánica

Para la descripción en campo de la secuencia de horizontes de mantillo en suelo forestal, con características de podsol se utilizó la figura de perfil de suelo de Bennett & Humphries (1981).

Tipo de vegetación

Se realizó un muestreo en el área de trabajo y se comparó con los estudios de Flores & Gerez (1994) y Rzedowski (1978) con los resultados del muestreo. Su descripción se hizo considerando si se trata de vegetación primaria, tomando como base la clasificación propuesta por Rzedowski (1978), o secundaria.

Tipo de deterioro

Se hizo una descripción general del tipo y grado de deterioro o perturbación, considerando incendio, deforestación, erosión, vegetación inducida y cambio de uso de suelo para fines agrícolas o de ganadería.

Cobertura

Para medir la cobertura se empleó en un inicio el método de descripción fisonómica de la vegetación de Heyligers y de Küchler (Granados & Tapia, 1990), quienes en cada clasificación las dividen en seis categorías. Finalmente se diseñó una clasificación de descripción fisonómica anexando la categoría de ausente por registrarse sitios en los que la erosión es tan severa que ya no existe vegetación de ningún tipo.

Muestreo de Pteridofitas

Se hizo el registro de especies terrestres y helechos típicamente epífitos que se encontraron como formas terrestres en cada sitio de muestreo previamente determinado. Para esto se desarrolló una lista de pteridofitas del área de estudio durante el trabajo de campo, a fin de asignar un número a cada especie facilitando así el vaciado de datos en la hoja de trabajo (Fig. 3). Tanto las especies como el número de individuos fueron registrados a partir del punto de intersección y cuatro repeticiones más, de tal forma que se obtuvo un total de individuos en 5 metros cuadrados (a, b, c, d, e). Sólo se tomaron en cuenta aquellos taxa en los que el rizoma quedó incluido dentro de cada subunidad.

En el área de estudio, se colectaron en campo muestras de helechos y plantas afines durante dos años de recorrido conforme al método clásico señalado por Lorea & Riba (1990); posteriormente se procedió a identificarlas, utilizando claves taxonómicas especializadas (Smith, 1981; Mickel & Beitel, 1988; Moran & Riba, 1995). El material de respaldo se depositó en el Herbario Metropolitano “Dr. Ramón Riba y Nava Esparza” (UAMIZ).

Análisis de suelo

Las muestras de suelo se extrajeron del horizonte superficial hasta una profundidad de 10 cm, colocándolas en bolsas de polietileno para su transporte al laboratorio. El pH se midió con un potenciómetro digital marca Hanna Instruments HI 8314, en suspensión de suelo y agua destilada con relación suelo-agua de 1:2.5 para medir la concentración de iones hidrógeno solubles (Reyes, 1996).

La determinación de color se llevó a cabo utilizando cartas de color del suelo de Munsell para notación de color en seco y en húmedo (Department of Agriculture, 1998). El porcentaje de materia orgánica se determinó con la técnica desarrollada por Walkley y Black (Reyes, 1996).

Banco de esporas

Para tener una idea más clara acerca de la composición pteridológica del suelo del área de estudio por el depósito de esporas, se decidió hacer un estudio del número de esporofitos obtenidos de éstas. Para ello, en el laboratorio se pesaron 50 g. de cada muestra de suelo colectada, se tamizaron con una malla de 2000 micrómetros de apertura con el fin de separar gravas, restos vegetales y homogenizar el contenido de esporas. El suelo se depositó en un vaso de unicel.

Los 100 recipientes fueron puestos en charolas y cubiertos con bolsas de polietileno transparente, se regaron cada semana con agua potable hasta obtener esporofitos. Cada quince días se revisaron y contaron los gametofitos y/o esporofitos en cada recipiente, en su caso, se observó la presencia de anteridios y/o arquegonios. Todas las muestras se mantuvieron en un estante tipo esqueleto, con lámparas de luz blanca de tubo fluorescente de 75 watts, con un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad a una temperatura de 24-28°C.

Cultivo de esporas

Se cultivaron esporas para determinar el tiempo, porcentaje de germinación y observar las estrategias reproductivas empleadas por las especies que viven en el área de estudio.

Las esporas se obtuvieron de hojas fértiles de 26 individuos pertenecientes a 17 especies desecadas dentro de sobres de papel. Para eliminar residuos de esporangios, el contenido de éstos se tamizó a través de una malla de 0.074 mm de diámetro. Las esporas de cada individuo se sembraron en cajas de Petri de 5 cm de diámetro con cuatro repeticiones en agar con medio de cultivo de Thompson (Klekowski, 1969; Perez-García *et al.*, 2001), una de las cuales se cubrió con dos hojas de papel de estaño para conservarla en la oscuridad y determinar si son fotoblásticas.

Los cultivos se mantuvieron en condiciones de laboratorio con luz artificial (lámparas de luz blanca de tubo fluorescente de 75 watts), con un fotoperiodo de 12 horas luz-oscuridad y temperatura de 24-28°C. Se revisaron quincenalmente, con excepción de las cajas cubiertas con estaño, para conocer el porcentaje y tiempo de germinación además de estrategias reproductivas presentes en los taxa registrados en el área de estudio, humedeciendo el medio con agua destilada estéril en cada revisión. Los cultivos se mantuvieron durante 100 días.

Medición de esporas

Con las muestras de esporas de 17 taxa fértiles se analizó el tipo, forma, color y tamaño, para identificar si se trata de una muestra homogénea, con potencial germinativo, capacidad de establecimiento y colonización, así mismo para detectar algunas alteraciones en ellas, que indique presencia de híbridos. Se midió el ancho y largo de 25 esporas obteniendo su promedio y desviación estándar, además de valor máximo y mínimo de cada muestra. El punto de comparación se hizo con esporas descritas por Tryon & Lugardon (1991).

Análisis numérico

Se formaron dos matrices, una de variables físicas y edáficas y otra que corresponde al número de individuos por especie de los taxa registrados en cada sitio de muestreo del área de estudio. La correspondencia entre sitios de muestreo y taxa se obtuvo analizando abundancia y presencia-ausencia de helechos y plantas afines en setenta sitios, con un análisis multivariado de clasificación con el método de varianza mínima, con base en una matriz de distancias euclidianas generadas a partir de la matriz de especies (Gauch, 1982).

La comparación entre variables ambientales y taxa se logró con el Análisis de Correspondencia Canónico (Gauch, 1982), de esta forma se obtuvieron ejes de ordenación que combinan linealmente variables ambientales y variables de especies. Los índices de diversidad por sitio de muestra y por taxa se calcularon por el método de Simpson (Krebs, 1985).

Además del análisis numérico de abundancia y presencia-ausencia, se evaluó la correspondencia entre todas las variables físicas y ambientales de los treinta sitios en los que no hubo presencia de pteridofitas, mediante un análisis de correlación multivariado.

Los análisis multivariados fueron realizados por medio del Paquete Estadístico Multivariado (MVSP 3.2; Kovach, 2003).

Hoja ___ de ___

CLAVE DE MUESTRA:
ALTITUD:

FECHA DE MUESTRA:

DATOS DE CAMPO Y EDAFOLÓGICOS:

Pendiente	Azimet	Profundidad	Textura	pH	Color	Mat. org.

Descripción de capas de materia orgánica:

Planicie		Lomerío		Cañada		Montañoso		Otro	
Veg. Sec.		Veg. Prim.		B. encino		B. encino-pino		B. oyamel	
Incendio		Erosión		Agricultura		Ganadería		Otro	

E s p e c i e s**C a r a c t e r í s t i c a s**

#	A	b	c	d	e	Terrestre	Epifita	Epipé- trica	Dimor- fa	Mono- morfa	Hemi- dimor- fa	Fértil o estéril	Abun- dancia	Identificada si no
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
1														

Observaciones:

Fig. 3. Hoja de trabajo empleada para cada sitio de muestra en el área de estudio.

V. RESULTADOS

Muestreo

La localización del área de estudio, así como las dimensiones obtenidas son: $98^{\circ} 43.5'$ a $98^{\circ}45'$ longitud oeste y $19^{\circ}30.5'$ a $19^{\circ}31.5'$ latitud norte, que equivale a 494 hectáreas (Fig. 4). La información se obtuvo de 88 puntos de intersección separados cada 250 metros, más 12 sitios de muestreo (Fig. 5).

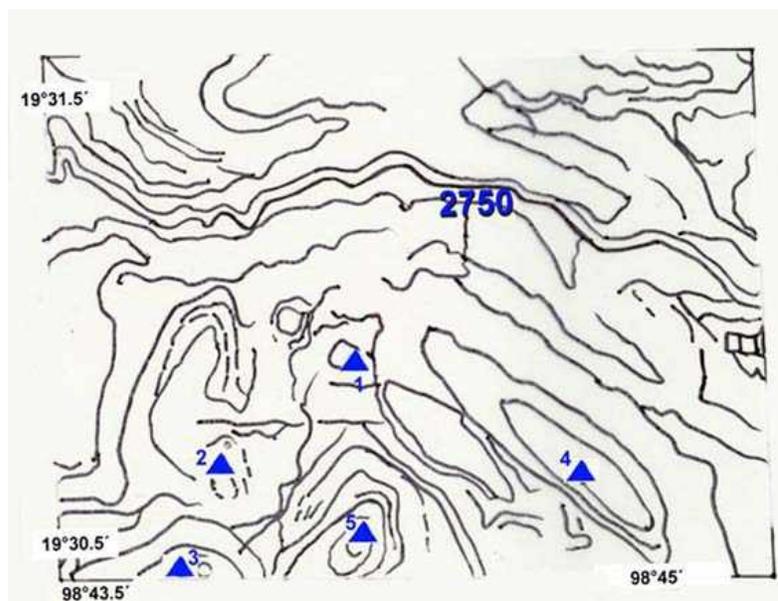


Fig. 4. Mapa redibujado de la Carta Topográfica E14B21. (INEGI, 1998).

1. Chichahuaxco. 2. Tlapahuetzia. 3. Coatemulco. 4. Texcaltenco. 5. Tepehuazoyo

Los resultados de localización del sitio (latitud y longitud), altitud, pendiente, azimut, textura, color, pH, % de materia orgánica, relieve, cobertura, tipo de vegetación primaria y secundaria, se vaciaron en la base de datos del Apéndice A.

La altitud varió de 2650 a 3040 m. s. n. m.; el 56% de los sitios de muestreo presentaron una inclinación superior a los 25° (Cuadro 4). La exposición del sitio (azimut) dominante fue el intervalo de clase sur con un 34%, seguido del intervalo este con un 18% y norte 12%.

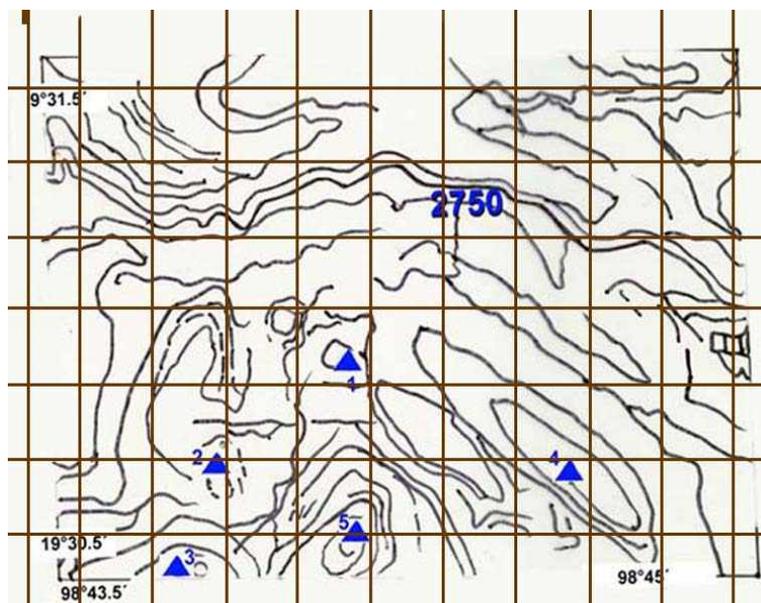


Fig. 5. Localización de sitios de muestreo. El mapa fue numerado progresivamente del límite sur al norte y alfabéticamente del límite occidental al oriental. Los datos se obtuvieron a partir de cada intersección.

El relieve predominante en el oriente del área de estudio es el montañoso, lomeríos al oeste y varias cañadas entre las que destaca por su tamaño “El Partidor” y por ser el lugar de nacimiento de manantiales. Se registraron 41 sitios de muestreo con relieve montañoso, 28 de lomerío y 21 de cañada. La vegetación primaria consistió de bosques de encino, pino, oyamel y cedro. Debido al uso forestal, existe una constante tala provocando altos grados de erosión. A nivel municipal el suelo erosionado tiene una superficie de 7,026.4 Has., que representa una extensión del 16.7% (Taboada *et al.*, 1998).

Pendiente %	Clase	Evaluación	Número de sitios
0-2	1	Llano o casi llano	28
2-6	2	Suavemente inclinado	1
6-13	3	Inclinado	0
13-25	4	Moderadamente escarpado	15
25-55	5	Escarpado	29
55-	6	Muy escarpado	27

Cuadro 4. Clasificación y evaluación de la pendiente en 100 unidades de muestreo del área de estudio. Se presentaron sitios de muestreo que incluyen parches de vegetación primaria y vegetación secundaria (Apéndice A).

Parte de la vegetación secundaria, consistió de cultivos anuales de temporal, reforestación con eucaliptos y ruderal en suelos erosionados, incendiados o deforestados (Cuadro 5). El deterioro se relacionó con daños causados por incendio, desmonte, minas de arena que han sido abandonadas y erosión.

Vegetación primaria	Número de sitios	Vegetación secundaria	Número de sitios
1. Bosque de encino	46	1. Cultivos	27
2. Bosque de encino-pino	5	2. Ruderal en suelos erosionados	26
3. Bosque de pino	2	3. Reforestación con eucaliptos	2
4. Bosque de oyamel	1	4. Ruderal en áreas incendiadas	2
5. Cedral	8	5. Ruderal en terrenos Deforestados	1
6. Pastizal	2		

Cuadro 5. Tipo de vegetación registrada en cada sitio de muestreo del área de estudio.

La cobertura mostró grandes contrastes, ya que se pudieron observar sitios en los que no hubo vegetación debido al proceso erosivo, hasta lugares en los que se observó cobertura herbácea superior al 90% (Cuadro 6). Al tratarse de bosque templado, la cobertura vegetal se incrementa en la estación de lluvias; es decir, en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

No.	Clave	% de Cobertura	Descripción	Número De sitios
6	c	76-100	Continua, muy densa	9
5	d	51-75	Densa	31
4	i	26-50	Interrumpida, discontinua	22
3	s	5-25	Dispersa	20
2	b	1-5	Rala	10
1	e	1	Casi ausente, extremadamente escasa	7
0	a	0	Ausente	1

Cuadro 6. Cobertura de la vegetación herbácea observada en 100 sitios de muestreo del área de estudio.

Suelo

En el bosque de encino el suelo fue profundo, con alto porcentaje de materia orgánica y pH ligeramente ácido; en contraste, en los sitios con proceso erosivo muy avanzado no existió el horizonte A, el porcentaje de materia orgánica disminuyó y el pH sobrepasó la categoría de neutro (>7). Los colores característicos fueron diversas gamas de pardo, seguido de amarillos y en menor grado grises (Cuadro 7). El 77% de la textura del suelo es arcilla; presenta varias categorías, desde franco arcilloso, hasta arcillo limoso y arcillo arenoso, solamente unos cuantos sitios tuvieron textura de limo o arena (Cuadro 7). En 75 sitios de muestreo el contenido de materia orgánica fue menor a 4.5 (Apéndice A).

Color		Textura		Materia orgánica		pH	
Categoría	Núm. sitios	Categoría	Núm. sitios	Intervalo %	Núm. sitios	Intervalo	Núm. sitios
Amarillo	5	Arcilla	77	0.062-2.5	51	4.6-5.5	28
Pardo	89	Limo	14	2.6-4.5	24	5.6-6.7	48
Gris	6	Arena	6	4.6-6.5	12	6.8-7.2	13
		Franco	3	6.6-8.5	10	7.3-7.9	11
					8.6- 11.93	3	

Cuadro 7. Características generales de 100 muestras de suelo obtenidas en el área de estudio.

Pteridofitas

En un total de 500 metros cuadrados, se registraron 1494 individuos de pteridofitas y plantas afines que pertenecen a 27 taxa. Se muestran ordenados alfabéticamente en el Cuadro 8. Durante los meses de sequía, en el sotobosque, dominan helechos del género *Pellaea* y *Cheilanthes*, considerados como xerófilos. *Cheilanthes hirsuta* fue la especie que estuvo presente en la mayoría de los sitios, ya que se encontró en 45 de los 70 sitios de muestreo, que tienen por lo menos una pteridofita. Sin embargo, la especie de mayor abundancia relativa, con 655 individuos en total en el área de estudio fue *Cheilanthes lendigera*, la cual estuvo presente en 43 sitios; la mayoría de las veces relacionada con *C. hirsuta* (Apéndice B).

Especie	Familia
1. <i>Adiantum andicola</i> Liebm.	Pteridaceae
2. <i>Adiantum poiretii</i> Wikstr.	Pteridaceae
3. <i>Argyrochosma incana</i> (C. Presl) Windham	Pteridaceae
4. <i>Asplenium commutatum</i> Mett. ex Kuhn	Aspleniaceae
5. <i>Asplenium monanthes</i> L.	Aspleniaceae
6. <i>Athyrium arcuatum</i> Liebm.	Aspleniaceae
7. <i>Cheilanthes aff. bonariensis</i> (Willd.) Proctor	Pteridaceae
8. <i>Cheilanthes bonariensis</i> (Willd.) Proctor	Pteridaceae
9. <i>Cheilanthes hirsuta</i> Link	Pteridaceae
10. <i>Cheilanthes lendigera</i> (Cav.) Sw.	Pteridaceae
11. <i>Cheilanthes lerstenii</i> Mickel et Beitel	Pteridaceae
12. <i>Cheilanthes marginata</i> Kunt	Pteridaceae
13. <i>Cheilanthes myriophylla</i> Desv.	Pteridaceae
14. <i>Cystopteris fragilis</i> (L.) Bernh.	Woodsiaceae
15. <i>Dryopteris pseudo filix-mas</i> (Fée) Rothm.	Dryopteridaceae

Cuadro 8. Nombre científico y familia a la que pertenecen las especies de pteridophyta registradas en San Jerónimo Amanalco, Texcoco, Estado de México. Se ordenaron alfabéticamente y se asignó un número para el vaciado de datos en el Apéndice B. Los resultados observados para cada taxon, así como el número de individuos para cada sitio de muestreo se incluyen en la base de datos de distribución del Apéndice B.

Especie	Familia
16. <i>Equisetum hyemale</i> L. subsp. <i>affine</i> (Engelm.) Calder et Roy L. Taylor	Equisetaceae
17. <i>Pellaea cordifolia</i> (Sessé et Moç) A. R. Sm.	Pteridaceae
18. <i>Pellaea ternifolia</i> (Cav.) Link	Pteridaceae
19. <i>Phanerophlebia nobilis</i> (Schltdl. et Cham.) C. Presl var. <i>nobilis</i>	Dryopteridaceae
20. <i>Pleopeltis konzattii</i> (Weath.) R. M. Tryon et A. F. Tryon	Polypodiaceae
21. <i>Pleopeltis mexicana</i> (Fée) Mickel et Beitel	Polypodiaceae
22. <i>Pleopeltis polylepis</i> (Roem. ex Kunze) T. Moore var. <i>interjecta</i> (Weath.) E. A. Hooper	Polypodiaceae
23. <i>Polypodium thyssanolepis</i> A. Braun ex Klotzsh var. <i>thyssanolepis</i>	Polypodiaceae
24. <i>Pteris cretica</i> L.	Pteridaceae
25. <i>Selaginella sellowii</i> Hieron.	Selaginellaceae
26. <i>Thelypteris linkiana</i> (Presl) R. Tryon	Thelypteridaceae
27. <i>Woodsia mollis</i> (Kaulf.) J. Sm.	Woodsiaceae

Cuadro 8. Continuación.

Resulta relevante mencionar que entre las especies muestreadas en el área de estudio, *Phanerophlebia nobilis*, *Pleopeltis polylepis*, *Cheilanthes lerstenii* y *Pleopeltis konzattii*, son taxa catalogados por Riba (1998) como endémicos de México; sin embargo, en esa lista preliminar de pteridofitas restringidas a límites territoriales, *C. lerstenii* y *P. konzattii* no están citadas para el Valle de México, en el que Texcoco está incluido, por lo que se trata de un nuevo registro para la zona.

En contraste, *Pteris cretica*, hallada en el área de estudio, es considerada por R. Tryon y A. R. Smith como nativa del Viejo Mundo e introducida a México (Mickel & Beitel, 1988). Asimismo, se registraron 5 especies que únicamente se observaron en un sitio del área de estudio y con un número restringido de individuos, por éste motivo se catalogaron como raras. Los sitios y especies se indican en el Cuadro 9.

Sitio de Muestreo	Especie	Numero de individuos
J2a	<i>Asplenium commutatum</i> Mett. ex Kuhn	2
K3	<i>Athyrium arcuatum</i> Liebm.	2
H8	<i>Pleopeltis polylepis</i> (Roem. ex Kunze) T. Moore var. <i>interjecta</i> (Weath.) E. A. Hooper	1
C7b	<i>Pteris cretica</i> L.	2
A8	<i>Sellaginella sellowii</i> Hieron	2

Cuadro 9. Nombre científico de las cinco especies propuestas como raras registradas en San Jerónimo Amanalco, Texcoco, Estado de Mexico. Se indica el sitio de muestreo y el número de individuos observados.

Banco de esporas

El objetivo de la siembra fue registrar el tiempo y porcentaje de germinación y observar las estrategias reproductivas empleadas por los individuos obtenidos de las 100 muestras de suelo colectadas; los datos fueron anotados en el Apéndice C.

Un total de 2400 gametofitos, en 85 muestras, fueron observados a los 35 días después de su siembra en fase laminar. A los 155 días, las 100 muestras tuvieron un total de 3043 individuos de generación gametofítica en fase adulta.

Después de 65 días de la siembra, en ocho muestras, se observaron anteridios en 18 gametofitos, pero no así arquegonios. Los gametofitos dieron origen a esporofitos de tipo apogámico (Apéndice C). En cuanto al resto de esporofitos registrados, surgieron de gametofitos adultos con anteridios y arquegonios entre 100 y 365 días después de su siembra. Los arquegonios examinados fueron de dos tipos: unos con cuello hacia la muesca, lo que permite inferir fecundación cruzada y otros con cuello hacia dentro tratándose quizá de autofecundación. Los anteridios presentaron células típicas: basal, anular y opercular; ubicados en la región posterior del talo cerca y entre los rizoides, aunque en el caso de esporofitos apogámicos, los anteridios crecieron en los márgenes y sobre la superficie de la lámina.

Después de 390 días de la siembra, cinco individuos que pertenecen a tres sitios de muestreo permanecieron como generación gametofítica, mostrando prolongaciones vegetativas en el margen de la lámina parecidas a las primeras hojas del esporofito. Éstos mismos se observaron a los 430 días de su siembra como esporofitos perfectamente formados de tipo apogámico. Durante el lapso de 430 días, 18 gametofitos adultos de seis sitios de muestreo, no presentaron cambio alguno, salvo en longitud o tomando formas arrosetadas, tratándose de gametofitos neutros o asexuados (Apéndice C).

Cabe destacar que en campo, sólo en 70 de los 100 sitios de muestreo se registraron pteridofitas; sin embargo, en el banco de esporas 25 de las 30 muestras con ausencia de helechos, tuvieron crecimiento de gametofitos como se muestra en el Apéndice C.

Esporas

Las dimensiones de esporas de las especies estudiadas se indican en el Apéndice D. Se determinó examinar únicamente 25 esporas por especie, sin embargo, *Asplenium monanthes*, *Cystopteris fragilis*, *Pellaea ternifolia*, *Phanerophlebia nobilis* y *Thelypteris linkiana* tuvieron una baja densidad de esporas, por lo que el número de muestra necesario no pudo completarse; en contraste, las esporas de *Cheilanthes hirsuta* mostraron alta densidad y al mismo tiempo irregularidad tanto en la forma y tamaño, registrando la desviación estándar más alta (Apéndice D).

Las esporas de *Cystopteris fragilis* y *Woodsia mollis* mostraron diferencias marcadas, ya que algunas tuvieron el color y tamaño característico, otras en cambio fueron hialinas y más pequeñas de lo común; asimismo, *Pteris cretica* mostró esporas con pronunciada diferencia en tamaño, algunas deformes, de aspecto alargado y otras sin la abertura trilete característica; (Apéndice D). El resto de las muestras colectadas fueron suficientes, además de presentar esporas de aspecto uniforme tanto en color como tamaño.

Cultivo de esporas

Las esporas de 12 taxa germinaron 14 días después de la siembra, el resto fue a los 23 días; en cambio, *Asplenium commutatum* no germinó (Fig. 6).

Los cultivos se observaron hasta llegar a 125 días después de su siembra. En relación a los cultivos cubiertos con papel de estaño, en ningún caso hubo germinación. De las 17 especies sembradas, únicamente *Cheilanthes lerstenii*, *C. bonariensis*, *C. lendigera* y *C. myriophylla* formaron las primeras hojas del esporofito (Apéndice E). Los esporofitos de *C. lerstenii* fueron de origen sexual, en cambio, los esporofitos de las tres especies restantes son de origen asexual (apogamia).

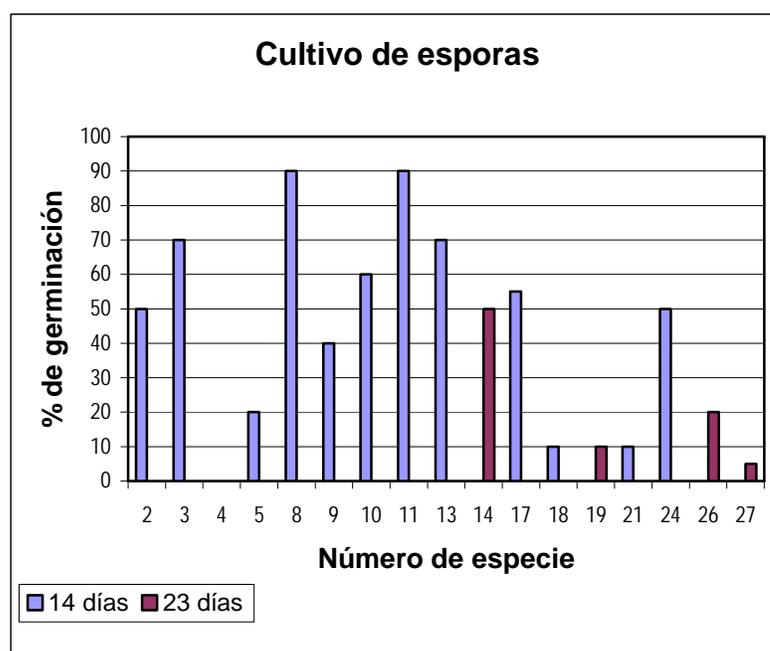


Fig. 6. Gráfico que muestra el porcentaje de germinación de esporas de 17 especies colectadas en el área de estudio a los 14 o 23 días después de haber sido sembrados, el número de especie es el mismo que se asignó en el Cuadro 8. 2, *Adiantum poiretii*; 3, *Argyroschisma incana*; 4, *Asplenium commutatum*; 5, *Asplenium monanthes*; 8, *Cheilanthes bonariensis*; 9, *Cheilanthes hirsuta*; 10, *Cheilanthes lendigera*; 11, *Cheilanthes lerstenii*; 13, *Cheilanthes myriophylla*; 14, *Cystopteris fragilis*; 17, *Pellaea cordifolia*; 18, *Pellaea ternifolia*; 19, *Phanerophlebia nobilis*; 21, *Pleopeltis mexicana*; 24, *Pteris cretica*; 26, *Thelypteris linkiana*; 27, *Woodsia mollis*.

La germinación de los cinco taxa del género *Cheilanthes* se inició a los 14 días después de la siembra (50-70%); El gametofito joven es de aspecto filamentosos formado por hileras de 35 a 40 células, con dos o tres ramificaciones que se entrelazan formando un prótalo de fase laminar. Formó anteridios a los 100 días y apareció la primera hoja del esporofito 125 días después de la siembra (Apéndice E). *Cheilantes bonariensis* germinó a los 14 días con 80 a 90% de esporas, pasando por una fase filamentosos muy desarrollada, para posteriormente formar a los 41 días, gametofitos toscamente desarrollados. No se observó en el gametofito adulto la formación cordiforme clásica, además de no registrarse gametangios. Los esporofitos jóvenes se observaron a los 110 días (Apéndice E).

En el caso de los cultivos de *Adiantum poiretii*, *Argyroschisma incana*, *Asplenium monanthes*, *Pellaea cordifolia*, *Pellaea ternifolia*, *Thelypteris linkiana*, *Phanerophlebia nobilis*, *Pteris cretica* y *Pleopeltis mexicana*, la germinación fue escasa 10 a 20%; alcanzaron la fase laminar a los 14 días no llegando a formar gametofitos adultos por contaminación en el medio. Un carácter común fue el mostrar células protálicas hialinas. *Cystopteris fragilis* tuvo germinación escasa (menor al 50%), los gametofitos jóvenes de tres células formaron un filamento de aspecto hialino, no llegaron a la fase laminar durante los 110 días que se mantuvieron los cultivos. La germinación de *Woodsia mollis* se presentó en sólo 5% de esporas a los 23 días, formando únicamente la célula rizoidal (Apéndice E).

Análisis estadístico

En los cien sitios de muestreo considerados en el área de estudio, únicamente se tomaron en cuenta setenta unidades en las que se registró la presencia de 27 especies pertenecientes a ocho familias de pteridofitas (Cuadro 8). La familia con mayor número de especies fue Pteridaceae (13), seguido de Polypodiaceae (4) y Aspleniaceae (3). Las especies con mayor frecuencia de presencia fueron *Cheilanthes hirsuta* en 45 sitios de muestreo, *C. lendigera* presente en 43 sitios y *C. aff. bonariensis* presente en 20 sitios de muestreo (Apéndice B).

a) Abundancia.

La clasificación numérica de 70 muestras en función de la abundancia de 27 taxa se resume en el dendograma (Fig. 7) en donde se aprecia la formación de cinco grupos claramente distinguibles a una distancia euclidiana de 772.7. El índice de diversidad para cada sitio de muestreo y grupo de abundancia que le corresponde, se indica en el Apéndice F. Este índice se basa en el número de taxa registrados para cada sitio.

Grupo 1A. Erosión moderada.

De acuerdo al tipo de vegetación, se observaron paisajes de vegetación primaria de bosques de pino y encino y uno dominado por *Cupressus* (cedral); sin embargo, se trató de vegetación ubicada en relieve montañoso con pendiente moderadamente escarpada. Asimismo, presentó parches que fueron afectados por incendios forestales y tala de árboles, motivos que han acelerado el proceso erosivo en temporada de lluvias; es decir, los parches consisten de bosques que poseen vegetación original y que están seriamente amenazados.

Con base en las características de suelo, el pH varió de 4.89 a 6.07, salvo un caso extraordinario en el sitio de muestreo A1 (Cuadro 10); el porcentaje de materia orgánica por sitio, no mostró un patrón que lo relacione con el pH, ya que se observaron variaciones que van de un porcentaje de 0.09 hasta 10.64; sin embargo, si es constante la relación negativa entre el contenido de materia orgánica con el grado de perturbación (Cuadro 10). El grupo contó con 15 sitios de muestreo en donde estuvieron presentes 10 especies que suman 224 individuos. En todos los sitios, es constante la presencia de *Cheilanthes hirsuta* y *C. lendigera*; *C. hirsuta* incrementó su abundancia relativa en los sitios en donde las perturbaciones ambientales fueron evidentes; en contraste, la presencia y abundancia del resto de las especies se vio constreñida (Cuadro 11).

En cuanto a los resultados en el banco de esporas, los gametofitos en fase laminar se observaron en 13 muestras a partir de los 35 días, en donde el promedio de gametofitos fue de 39.43 y el de esporofitos de 16.86 (Cuadro 12). Destaca la muestra J5 por tener el número más grande de gametofitos del total de 100 muestras de estudio, en cambio, en el sitio A1 no hubo germinación. Como estrategias reproductivas, se observó el desarrolló de esporofitos por propagación vegetativa en la muestra D3, en tanto que en las muestras D3 y H3 se observaron 7 gametofitos que no llegaron a formar gametangios (Apéndice C), el resto de gametofitos formaron las primeras hojas del esporofito entre 155 y 300 días producto, probablemente, de entrecruzamiento y autofecundación.

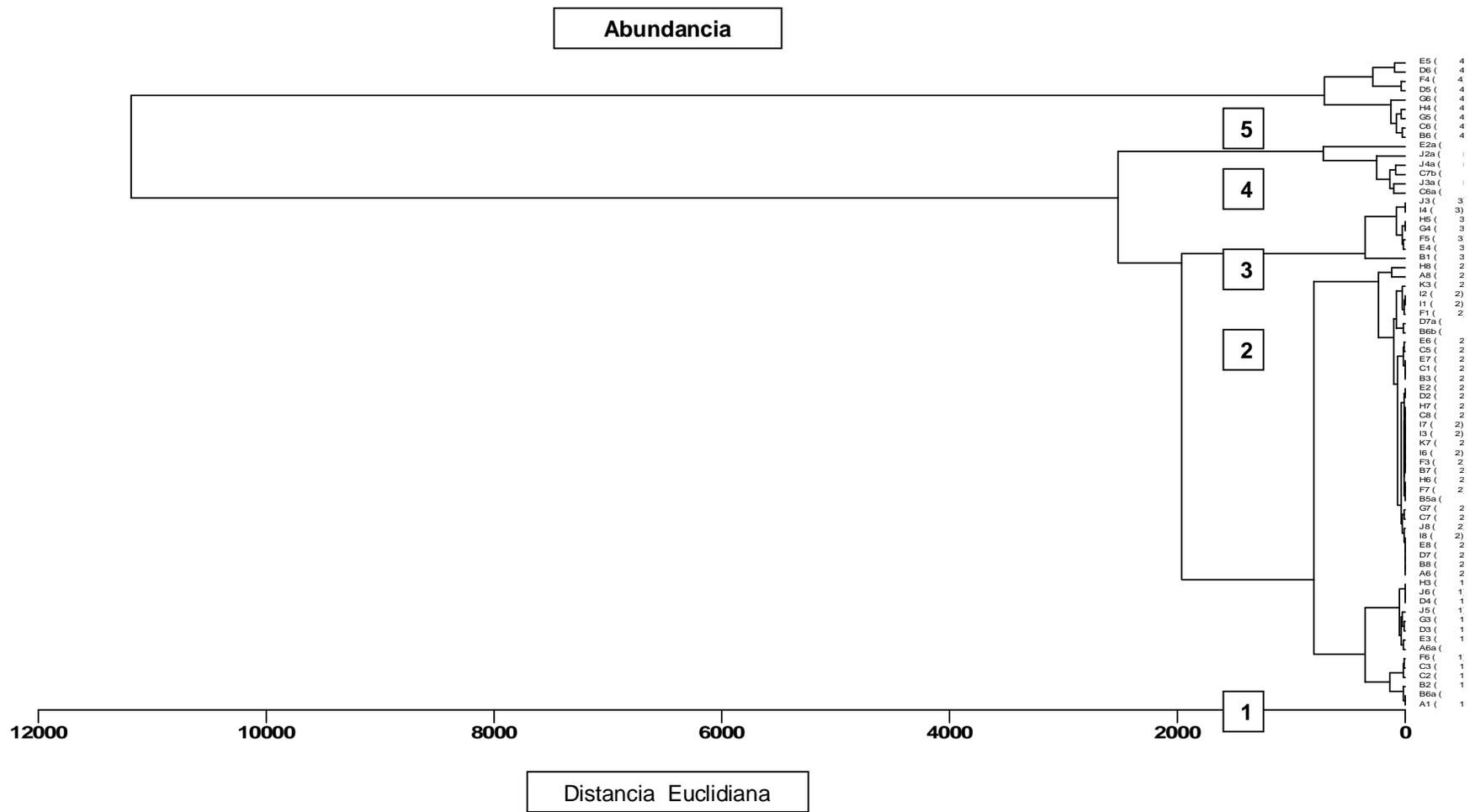


Fig. 7. Dendrograma que muestra la clasificación de 70 sitios de muestreo con base en la abundancia de 27 especies de pteridofitas en el área de estudio. Los números indican los cinco grupos considerados (ver texto).

Variable	Gpo	A1	A6a	B2	B6a	C2	C3	D3	D4	E3	F6	G3	H3	J5	J6
Núm. sp's	1A	1	2	1	2	3	2	2	2	5	3	2	3	5	2
Cobertura	1A	3	1	4	5	5	3	5	5	5	5	4	4	5	4
pH	1A	7.9	6.1	5.2	6.5	5.2	5.1	4.9	5.5	5.4	5.6	5.5	5.2	5.6	5.5
Núm. gam.	1A	0	27	30	112	16	13	15	7	20	48	8	1	240	22
Núm. esp.	1A	0	2	6	45	4	4	4	1	6	26	4	0	130	4

Variable	Gpo	A6	A8	B3	B5a	B6b	B7	B8	C1	C5	C7	C8	D2	D7	D7a	E2	E6	E7	E8	F1	F3	F7	G7	H6	H7	H8	I1	I2	I3	I6	I7	I8	J8	K3	K7
Núm. sp's	2A	6	1	5	5	6	6	1	6	5	1	4	4	5	6	1	5	6	5	6	4	1	5	5	1	1	5	5	1	5	1	4	6	1	5
Cobertura	2A	4	5	6	2	3	3	2	2	6	4	1	4	3	5	6	4	5	2	5	4	4	3	3	3	4	6	6	4	2	1	1	1	5	2
pH	2A	5.9	6.4	5.6	7.0	6.3	7.0	7.3	5.2	5.4	6.8	7.1	6.4	7.2	7.2	5.8	6.0	6.4	6.1	6.3	5.9	5.8	7.7	6.0	7.1	6.2	5.8	6.2	5.8	5.6	7.0	6.5	6.0	5.7	6.1
Núm. gam.	2A	37	206	11	0	2	13	221	19	17	6	20	13	50	11	16	39	14	111	3	9	19	100	57	32	100	7	13	1	14	46	20	167	5	20
Núm. esp.	2A	24	56	7	0	2	6	29	7	6	1	12	4	25	1	8	29	6	65	1	2	5	90	28	1	95	0	8	0	12	5	7	155	3	7

Variable	Gpo	B1	E4	F5	G4	H5	I4	J3
Núm. sp's	3A	5	3	2	2	2	4	4
Cobertura	3A	6	5	5	5	5	3	4
pH	3A	5.0	5.1	5.0	4.9	5.2	6.1	5.6
Núm. gam.	3A	1	55	0	7	13	105	40
Núm. esp.	3A	1	9	0	3	5	70	15

Cuadro 10. Características por sitio de muestreo de cada grupo obtenido con base en la abundancia de especies de pteridofitas registradas en el área de estudio. Núm. sp's: número de especies. Cobertura, cobertura vegetal: 1, casi ausente; 2, rala; 3, dispersa; 4, interrumpida; 5, densa; 6, continua. Núm. gam.: número de gametofitos obtenidos en el banco de esporas. Núm. esp.: número de esporofitos que se obtuvieron en el banco de esporas.

Variable	Gpo	B6	C6	D5	D6	E5	F4	G5	G6	H4
Núm. sp's	4A	4	2	4	6	3	4	4	2	4
Cobertura	4A	5	4	5	5	3	5	4	6	5
pH	4A	6.1	5.1	5.4	5.2	5.3	6.0	4.7	5.0	5.3
Núm. gam.	4A	50	60	43	42	72	0	34	98	61
Núm. esp.	4A	21	12	4	19	19	0	6	8	4

Variable	Gpo	C6a	C7b	E2a	J2a	J3a	J4a
Núm. sp's	5A	7	7	8	18	14	15
Cobertura	5A	4	5	1	5	5	5
pH	5A	5.8	7.9	7.7	5.6	5.0	6.7
Núm. gam.	5A	17	1	1	2	30	6
Núm. esp.	5A	6	0	0	0	18	0

Cuadro 10. Continuación.

Especie	Gpc	A1	A6a	B2	B6a	C2	C3	D3	D4	E3	F6	G3	H3	J5	J6
<i>Adiantum poiretii</i>	1A				2										
<i>Asplenium monanthes</i>	1A													4	
<i>Cheilanthes aff. bonariensis</i>	1A		5							4					
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	1A	10		14	9	16	15	4	7	3	13	1	6	3	5
<i>Cheilanthes lendigera</i>	1A		10			6	9	10	6	6	11	13	8	8	6
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	1A													1	
<i>Cystopteris fragilis</i>	1A					2									
<i>Pellaea cordifolia</i>	1A									2					
<i>Pellaea ternifolia</i>	1A									1	1		1		
<i>Pleopeltis mexicana</i>	1A													2	

Especie	Gpc	A6	A8	B3	B5a	B6b	B7	B8	C1	C5	C7	C8	D2	D7	D7a	E2	E6	E7	E8	F1	F3	F7	G7	H6	H7	H8	I1	I2	I3	I6	I7	I8	J8	K3	K7
<i>Adiantum andicola</i>	2A																																		1
<i>Adiantum poiretii</i>	2A										4													3											5
<i>Asplenium monanthes</i>	2A										2																								1
<i>Athyrium arcuatum</i>	2A																																		2
<i>Cheilanthes aff. bonariensis</i>	2A	2	5						2		1		1	1		1	3						4			15		1		1	3	5			
<i>Cheilanthes bonariensis</i>	2A																									1						2			
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	2A		1	4		1	1		4	6			1			4	3		1						1		1	1	1					1	
<i>Cheilanthes lendigera</i>	2A		1		2	3				2			1			3	4						1	2	1		3								
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	2A		2								1	1																							
<i>Cystopteris fragilis</i>	2A															2			7						1	4	3						6		
<i>Pellaea cordifolia</i>	2A												2			2																			
<i>Pellaea ternifolia</i>	2A		2		1								1													3									
<i>Phanerophlebia nobilis</i>	2A						2																											1	
<i>Pleopeltis mexicana</i>	2A																									2	1							1	
<i>Pleopeltis polylepis</i>	2A																									1									
<i>Polypodium thysanolepis</i>	2A		11																				1												
<i>Selaginella sellowii</i>	2A		2																																
<i>Thelypteris linkiana</i>	2A																																	2	

Cuadro 11. Clasificación por grupo de abundancia de veintisiete especies de pteridofitas por sitio de muestreo registradas en el área de estudio. Se tomó en cuenta el número de individuos de cada especie por unidad de muestra.

Especie	Gpc	B1	E4	F5	G4	H5	I4	J3
<i>Asplenium monanthes</i>	3A	3					4	3
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	3A		8	13	9	7	4	3
<i>Cheilanthes lendigera</i>	3A	19	16	19	22	22	20	20
<i>Cystopteris fragilis</i>	3A	17						
<i>Pellaea ternifolia</i>	3A		2					
<i>Pleopeltis mexicana</i>	3A	8					3	3
<i>Woodsia mollis</i>	3A	3						

	Gpc	B6	C6	D5	D6	E5	F4	G5	G6	H4
<i>Asplenium monanthes</i>	4A			17	1	3	17			
<i>Cheilanthes aff. bonariensis</i>	4A	1								
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	4A	3	9		4	9		7	17	1
<i>Cheilanthes lendigera</i>	4A	35	32	48	50	53	47	41	35	37
<i>Cystopteris fragilis</i>	4A	3		9	12		1			
<i>Pellaea cordifolia</i>	4A				1					
<i>Pleopeltis mexicana</i>	4A			3	2			4		1
<i>Polypodium thyssanolepis</i>	4A						1	6		6

Especie	Gpc	C6a	C7b	E2a	J2a	J3a	J4a
<i>Adiantum andicola</i>	5A	1	1	1	3	1	3
<i>Adiantum poiretii</i>	5A	9	21	4	19	17	19
<i>Argyrochosma incana</i>	5A						1
<i>Asplenium commutatum</i>	5A				2		
<i>Asplenium monanthes</i>	5A	1	4	1	10	5	6
<i>Cheilanthes aff. bonariensis</i>	5A			1	3	4	
<i>Cheilanthes bonariensis</i>	5A					3	2
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	5A	1		2	4	6	

Cuadro 10. Continuación.

Especie	Gpo	C6a	C7b	E2a	J2a	J3a	J4a
<i>Cheilanthes lendigera</i>	5A	8	1	3		9	2
<i>Cheilanthes lerstenii</i>	5A					1	1
<i>Cheilanthes marginata</i>	5A					1	2
<i>Cystopteris fragilis</i>	5A	14	8	37	9	7	19
<i>Dryopteris pseudo filix-mas</i>	5A				2	3	2
<i>Equisetum hyemale</i>	5A				2		
<i>Pellaea cordifolia</i>	5A	2	1	1	1	3	2
<i>Pellaea ternifolia</i>	5A					1	
<i>Phanerophlebia nobilis</i>	5A				14		
<i>Pleopeltis conzattii</i>	5A				1	1	1
<i>Pleopeltis mexicana</i>	5A				1		
<i>Pteris cretica</i>	5A	2					
<i>Thelypteris linkiana</i>	5A				2		2
<i>Woodsia mollis</i>	5A				3	1	1

Cuadro 11. Continuación.

Especie	Gpo	A1	A6	B2	B3	B6a	B7	B8	C1	C7	C8	D7	E7	E8	F3	H7	I3	I6	I7	I8	J8	K7															
<i>Adiantum poiretii</i>	1P					1				1																											
<i>Asplenium monanthes</i>	1P									1																											
<i>Cheilanthes aff. bonariensis</i>	1P		1					1	1	1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1															
<i>Cheilanthes bonariensis</i>	1P															1				1																	
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	1P	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1															
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	1P									1	1																										
<i>Thelypteris linkiana</i>	1P									1																											
<i>Woodsia mollis</i>	1P									1																											
	Gpo	A6a	A8	B5a	B6	B6b	C2	C3	C5	C6	D2	D3	D4	D6	E2	E3	E4	E5	E6	F5	F6	F7	G3	G4	G5	G6	G7	H3	H4	H5	H6	H8	I4	J3	J5	J6	
<i>Adiantum poiretii</i>	2P																										1										
<i>Asplenium monanthes</i>	2P					1								1			1																1	1	1		
<i>Cheilanthes aff. bonariensis</i>	2P	1	1		1						1					1		1									1				1						
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	2P	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Cheilanthes lendigera</i>	2P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	2P		1																																	1	
<i>Cystopteris fragilis</i>	2P				1		1							1																		1					
<i>Pellaea cordifolia</i>	2P										1			1	1	1																					
<i>Pellaea ternifolia</i>	2P	1	1								1				1	1				1							1				1						
<i>Phanerophlebia nobilis</i>	2P					1																															
<i>Pleopeltis mexicana</i>	2P													1												1		1			1	1	1	1			
<i>Pleopeltis polylepis</i>	2P																																	1			
<i>Polypodium thyssanolepis</i>	2P		1																			1			1			1									
<i>Selaginella sellowii</i>	2P		1																																		
	Gpo	B1	C6a	C7b	D5	D7a	E2a	F1	F4	I1	I2	K3																									
<i>Adiantum andicola</i>	3P		1	1			1					1																									
<i>Adiantum poiretii</i>	3P		1	1			1	1				1																									
<i>Asplenium monanthes</i>	3P	1	1	1	1	1	1	1				1																									
<i>Athyrium arcuatum</i>	3P											1																									
<i>Cheilanthes aff. bonariensis</i>	3P						1																														
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	3P		1				1																														

Cuadro 14. Grupos de presencia-ausencia de veintisiete especies de pteridofitas por sitio de muestreo en el área de estudio.

Especie	Gpo	B1	C6a	C7b	D5	D7a	E2a	F1	F4	I1	I2	K3
<i>Cheilanthes lendigera</i>	3P	1	1	1	1		1		1			
<i>Cystopteris fragilis</i>	3P	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pellaea cordifolia</i>	3P		1	1			1					
<i>Phanerophlebia nobilis</i>	3P											1
<i>Pleopeltis mexicana</i>	3P	1			1						1	1
<i>Polypodium thyssanolepis</i>	3P								1			
<i>Pteris cretica</i>	3P			1								
<i>Woodsia mollis</i>	3P	1										
Gpo J2a J3a J4a												
<i>Adiantum andicola</i>	4P	1	1	1								
<i>Adiantum poiretii</i>	4P	1	1	1								
<i>Argyrochosma incana</i>	4P			1								
<i>Asplenium commutatum</i>	4P	1										
<i>Asplenium monanthes</i>	4P	1	1	1								
<i>Cheilanthes aff. bonariensis</i>	4P	1	1									
<i>Cheilanthes bonariensis</i>	4P		1	1								
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	4P	1	1									
<i>Cheilanthes lendigera</i>	4P		1	1								
<i>Cheilanthes lerstenii</i>	4P	1	1	1								
<i>Cheilanthes marginata</i>	4P	1		1								
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	4P	1		1								
<i>Cystopteris fragilis</i>	4P	1	1	1								
<i>Dryopteris pseudo filix-mas</i>	4P	1	1	1								
<i>Equisetum hyemale</i>	4P	1										
<i>Pellaea cordifolia</i>	4P	1	1	1								
<i>Pellaea ternifolia</i>	4P		1									
<i>Phanerophlebia nobilis</i>	4P	1										
<i>Pleopeltis conzattii</i>	4P	1	1	1	1							
<i>Pleopeltis mexicana</i>	4P	1										
<i>Thelypteris linkiana</i>	4P	1		1								
<i>Woodsia mollis</i>	4P	1	1	1								

Cuadro 14. Continuación.

Variable	Gpc	A1	A6	B2	B3	B6a	B7	B8	C1	C7	C8	D7	E7	E8	F3	H7	I3	I6	I7	I8	J8	K7
Núm. sp's	1P	1	3	1	3	2	1	1	1	6	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1
Cobertura	1P	3	4	4	6	5	3	2	2	4	1	3	5	2	4	3	4	2	1	1	1	2
pH	1P	7.9	5.9	5.2	5.6	6.5	7.0	7.3	5.2	6.8	7.1	7.2	6.4	6.1	5.9	7.1	5.8	5.6	7.0	6.5	6.0	6.1
Mat. Org.	1P	0.9	4.4	2.1	1.5	6.8	3.8	2.1	8.4	5.9	1.0	0.3	8.1	1.8	2.7	1.0	2.8	0.4	0.4	0.7	2.2	1.6
Relieve	1P	3	2	3	3	1	1	2	3	1	2	2	2	2	3	2	3	2	1	2	2	3

Variable	Gpc	A6a	A8	B5a	B6	B6b	C2	C3	C5	C6	D2	D3	D4	D6	E2	E3	E4	E5	E6	F5	F6	F7	G3	G4	G5	G6	G7	H3	H4	H5	H6	H8	I4	J3	J5	J6
Núm. sp's	2P	3	7	2	4	4	3	2	2	2	5	2	2	6	2	5	3	3	3	2	3	2	2	2	4	2	3	3	4	2	1	7	4	4	5	2
Cobertura	2P	1	5	2	5	3	5	3	6	4	4	5	5	5	6	5	5	3	4	5	5	4	4	5	4	6	3	4	5	5	3	4	3	4	5	4
pH	2P	6.1	6.4	7.0	6.1	6.3	5.2	5.1	5.4	5.1	6.4	4.9	5.5	5.2	5.8	5.4	5.1	5.3	6.0	5.0	5.6	5.8	5.5	4.9	4.7	5.0	7.7	5.2	5.3	5.2	6.0	6.2	6.1	5.6	5.6	5.5
Mat. Org.	2P	1.2	1.5	0.4	2.8	3.0	8.1	7.4	4.3	7.3	1.4	10.6	3.7	4.4	4.6	4.9	3.0	8.3	3.8	2.0	4.3	1.5	2.2	2.9	10.8	7.8	0.7	1.6	1.8	5.2	2.6	1.2	2.3	12	6.3	3.9
Relieve	2P	2	1	2	3	1	3	3	3	3	2	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	1	3	3	3	2	2	2	3	1	1

Variable	Gpc	B1	C6a	C7b	D5	D7a	E2a	F1	F4	I1	I2	K3
Núm. sp's	3P	5	7	7	4	3	8	1	4	1	2	7
Cobertura	3P	6	4	5	5	5	5	5	6	6	5	
pH	3P	5.0	5.8	7.9	5.4	7.2	7.7	6.3	6	5.8	6.2	5.68
Mat. Org.	3P	8.0	5.4	1.7	5.1	4	1.8	1.1	3.6	1.8	2.8	4.59
Relieve	3P	3	1	1	3	1	3	3	2	3	1	

Variable	Gpc	J2a	J3a	J4a
Núm. sp's	4P	18	14	15
Cobertura	4P	5	5	5
pH	4P	5.6	5.0	6.7
Mat. Org.	4P	6.2	2.0	2.7
Relieve	4P	1	1	1

Cuadro 15. Características por sitio de muestreo de cada grupo obtenido con base en la presencia-ausencia de especies de pteridofitas registradas en el área de estudio. Núm. sp's: número de especies. Cobertura, cobertura vegetal: 1, casi ausente; 2, rala; 3, dispersa; 4, interrumpida; 5, densa; 6, continua. Mat. Org.: porcentaje de materia orgánica. Relieve, tipo de relieve: 1, cañada; 2, lomerío; 3, montañoso.

;

1

Los esporofitos observados pertenecieron a los géneros *Cheilanthes*, *Pellaea*, *Thelypteris*, *Cystopteris* y *Asplenim*; *Cheilanthes* fue el de mayor abundancia relativa, en tanto que *Thelypteris* destacó por su desarrollo precoz, llegando a medir por lo menos 20 cm. de altura a los 300 días de haber sido sembrados (Apéndice C).

Grupo	Número de sitios	Número de especies	Número de individuos	pH	Materia orgánica	Gametofito	Esporofito
1ª	14	10	224	5.65	4.51	39.93	16.86
2ª	34	19	196	6.30	2.60	41.70	20.80
3ª	7	7	228	5.27	5.02	31.57	14.71
4ª	9	8	516	5.34	5.83	51.10	10.30
5ª	6	23	330	6.50	3.27	9.50	4.00

Cuadro 12. Promedio de pH, porcentaje de materia orgánica, número de gametofitos y esporofitos reportados en el banco de esporas, de acuerdo al arreglo de 5 grupos con base en la abundancia.

Grupo 2A. Erosión severa.

El relieve estuvo formado principalmente por lomeríos, seguido de montaña en la parte baja y 9 sitios reportados como cañada, la vegetación correspondió a todas las categorías descritas para vegetación primaria con excepción de catorce sitios en los que ésta ya no existe; la vegetación secundaria es el resultado de distintos tipos de perturbación (Apéndice A) como deforestación, incendio, terrenos cultivados y reforestación con eucaliptos. Pero en este grupo, destacan 8 parches en los que se pudo observar procesos erosivos muy avanzados, donde la cobertura vegetal fue de categoría 1 y 2, que corresponde a casi ausente o rala

respectivamente. Las áreas abiertas que actualmente están abandonadas, afectan la superficie del terreno manteniéndolo indefenso ante la acción del agua en temporada de lluvias, facilitando y acelerando el proceso erosivo. Si bien la pendiente es inclinada o moderadamente escarpada, es en éstos lomeríos donde el efecto solana y la ausencia de cobertura vegetal han favorecido la formación de una franja erosionada (Apéndice A).

El grupo se caracteriza por el bajo contenido de materia orgánica en el suelo, con porcentajes que van de 0.26 a 5.88, además de dos casos excepcionales en los sitios de muestreo E7 con 8.14% y C1 con 8.44%. Situación contraria se presenta en relación al pH con valores que van de 5.23 a 7.70. Comparando los valores de materia orgánica y pH, es notable la relación negativa que existe entre estas dos variables en sitios en donde las perturbaciones y deterioro ambiental son evidentes (Cuadro 10).

Forman parte del grupo 2A el mayor número de sitios de muestreo (34), con solamente 196 individuos que pertenecen a 19 especies, situación que lo hace ser el de menor abundancia relativa en cuanto al total de pteridoflora. *Cheilanthes hirsuta* y *C. lendigera* tienen los valores de abundancia relativa más bajos, comparados con el resto de los grupos (Cuadro 11). Los sitios de muestreo A6, B8, D7, E8, H7, I8 y J8 son los que presentaron los mayores grados de deterioro ambiental, aunque aun conservan vegetación de categoría extremadamente escasa. Es en estos sitios en donde la pteridoflora es representada únicamente por *Cheilanthes aff. bonariensis*, y *C. bonariensis*, las que fueron constantes en parches donde se ha transformado el paisaje por destrucción del bosque.

Pero *Cheilanthes aff. bonariensis* y *C. bonariensis* no sólo se observaron en los sitios de mayor deterioro sino también, al igual que *Pellaea ternifolia*, formaron parte de paisajes modificados drásticamente por deforestación, incendio y áreas de cultivo abandonadas (Cuadro 11). Es significativo que *Athyrium arcuatum*, *Pleopeltis polylepis* y *Selaginella sellowii*, tres de las cinco especies que se proponen como raras, hallan formado parte de este grupo, tal situación probablemente se debió a que los sitios en los que fueron registradas, tienen características ambientales particulares:

El sitio A8, donde se registró *Selaginella sellowii*, se ubicó en la parte más baja del área de estudio, se observó un paisaje aislado bien conservado dominado por cedros (*Cupressus spp.*), rodeado por cultivos de avena, maíz y fríjol; el sitio de muestreo H8, en donde se observó a *Pleopeltis polylepis*, estuvo ubicado en la periferia de un área reforestada con eucaliptos en la parte baja, con azimut noroeste, donde el efecto umbría fue importante porque la radiación fue menor y mantuvo la humedad, cobertura vegetal discontinua e índice de diversidad de 0.63; en cambio, K3 se ubicó en la parte alta de la cañada El Partidor, único sitio en donde crece *Athyrium arcuatum*, con vegetación primaria de bosque de oyamel (*Abies spp.*) y encino (*Quercus spp.*) condición que probablemente favoreció su índice de diversidad.

Resulta relevante el hecho de que la densidad de esporofitos obtenidos en el banco de esporas fue la más alta, y que en 29 de las muestras los gametofitos jóvenes fueron observados 35 días después de la siembra. En dos sitios se obtuvieron esporofitos de menos de 155 días, de tipo apogámico y en 9 se registraron los de mayor talla. Los probables mecanismos de reproducción fueron por autofecundación, entrecruzamiento y apareamiento intergametofítico.

En cuanto a las estrategias reproductivas, la apogamia fue común sobre todo para el género *Cheilanthes* y *Thelypteris*, este último con esporofitos de talla mayor a 20 cm. (Apéndice C). Asimismo, en los parches en los que hubo evidentes características de incendio, y que gracias a la información de habitantes de San Jerónimo Amanalco se supo que fueron incendios forestales del año de 1998, en las muestras de suelo que se obtuvieron y se prepararon para el banco de esporas se observaron ocho gametofitos adultos de 1.5 a 2 cm. de largo, de 430 días de edad, siendo 5 de éstos neutros o asexuados y tres con propagación vegetativa en los márgenes. Los esporofitos que crecieron en las muestras son los géneros *Adiantum*, *Asplenium*, *Cheilanthes*, *Cystopteris*, *Pellaea* y *Thelypteris*.

Grupo 3A. Relieve de montaña con deterioro moderado reversible.

El relieve montañoso estuvo presente en 6 de los 7 sitios de muestreo, la vegetación consistió de bosques de encino y encino-pino orientado al sur, pero con pequeños parches de vegetación secundaria propia de terrenos deforestados; la cobertura vegetal densa a muy densa crece sobre pendiente escarpadas, con excepción de áreas casi llanas en los sitios de muestreo I4 y J3 (Cuadro 10). Es por sus características, que el grupo posee un alto grado de vulnerabilidad o susceptibilidad a ser deteriorado ante la incidencia de determinadas actuaciones. Los impactos desfavorables observados en la zona fueron, la tala de árboles en pequeños parches y la incidencia de incendios forestales en la zona durante determinadas épocas del año. El porcentaje de materia orgánica fue importante, sobre todo en los sitios de muestreo B1, H5 y J3; el pH tuvo valores que oscilan entre 4.92 a 6.09 siendo el promedio más bajo del total del arreglo de abundancia (Cuadro 12).

Nuevamente *Cheilanthes hirsuta* y *C. lendigera* fueron las especies más abundantes pero a diferencia de los dos grupos anteriores, la abundancia relativa de *C. lendigera* fue mayor, comparada con *C. hirsuta*. Destacó la abundancia de *Pleopeltis mexicana* en los sitios de muestreo B1 y J3 probablemente por tratarse de los sitios con mayor contenido de materia orgánica dentro del grupo (Cuadro 11).

Los mecanismos de reproducción observados en 6 muestras del banco de esporas fueron, entrecruzamiento y apareamiento intergametofítico, además de estrategias reproductivas de tipo apogámico en 5 esporofitos de la muestra J3 y 4 gametofitos asexuados o neutros en la muestra G4. No hubo germinación en la muestra F5 (Apéndice C).

Grupo 4^a. Montaña sin deterioro aparente.

La vegetación consistió de bosque de encino sin deterioro aparente, situada en pendientes escarpadas, cuya cobertura vegetal varió de discontinua a muy densa. El sitio de muestreo E5 fue la excepción del grupo, ya que en él se observó un área relativamente pequeña con deterioro moderado y cobertura vegetal dispersa sobre una superficie casi llana (Apéndice A). Es el grupo con mayor cantidad de materia orgánica en promedio y pH con valores que oscilan de 4.71 a 6.10 por lo que se puede considerar como ligeramente ácido (Cuadro 10).

Grupo formado por 9 sitios de muestreo y 8 especies representadas en 516 individuos, destacó por la abundancia relativa de *Cheilanthes lendigera* (Cuadro 10) con 378 individuos. *C. hirsuta* también estuvo presente, pero su abundancia relativa decreció notablemente

comparada con *C. lendigera*. De igual forma fue importante la abundancia de *Asplenium monanthes*, *Pleopeltis mexicana* y *Polypodium thysanolepis*, las dos últimas creciendo en tierra firme, en suelos profundos de alto contenido de materia orgánica en los sitios D5 y G5 (Cuadro 11).

El promedio de densidad de gametofitos en el grupo, fue el más alto de todo el arreglo. Únicamente en la muestra F4 no hubo germinación, en el resto de muestras no se observaron esporofitos de tipo apogámico, ya que en los gametofitos adultos se observaron anteridios primero y arquegonios después, con excepción del sitio B6 que desarrolló esporofitos apogámicos en suelo de bajo porcentaje de materia orgánica (2.77%). Los esporofitos probablemente fueron producto de fecundación intra e intergametofítica, procesos que se infieren por la posición del cuello del arquegonio. Las primeras hojas del esporofito surgieron después de cuatro meses de siembra. Los géneros que germinaron son *Asplenium*, *Cheilanthes*, *Cystopteris*, y *Thelypteris*.

Grupo 5A. Cañada sin deterioro aparente.

La mayoría de los sitios se ubicaron en cañadas, el tipo de vegetación es de bosques de encino con cobertura vegetal interrumpida a densa (Apéndice A). El sitio E2a fue el único de cubierta vegetal extremadamente escasa, formando un parche de bosque de cedros (Cedral). El pH fue ligeramente ácido en 3 sitios de muestreo y ligeramente alcalino en los sitios C7b y E2a. La cantidad de materia orgánica varió de un sitio a otro, sin embargo, en los dos sitios con pH alcalino, la cantidad de materia orgánica fue el más bajo del grupo (Cuadro 10).

El grupo 5A comprendió seis unidades de muestreo y 330 individuos que pertenecieron a 23 de las 27 especies del área de estudio (Cuadro 11). *Cheilanthes hirsuta* y *C. lendigera* estuvieron presentes, pero con abundancia relativa baja en comparación con el resto de los grupos. Sin embargo, no fue la misma situación para *Cystopteris fragilis*, *Asplenium monanthes* y *Adiantum Poiretii*, por su abundancia relativa alta en todos los sitios. *Adiantum andicola* y *Pellaea cordifolia* si bien, no fueron abundantes, si en cambio fueron constantes en todos los sitios. Es necesario resaltar que *A. andicola*, y *A. poiretii* únicamente fueron observados en las cañadas. Los taxa exclusivos de este grupo son *Argyroschisma incana*, *Asplenium commutatum*, *Dryopteris pseudo filix-mas*, *Equisetum hyemale* y *Pteris cretica*.

El promedio de gametofitos que germinaron en el banco de esporas, fue el más bajo comparado con el resto de los grupos (Cuadro 12). En las muestras C6a y J3a se observaron gametofitos en fase laminar desde los 35 días, el resto se observaron posteriormente (Apéndice C). En cuatro muestras los gametofitos no formaron gametangios por lo que se consideraron como asexuados o neutros, aún después de 400 días de la siembra no hubo formación de esporofitos (Cuadro 12).

Análisis de Correspondencia Canónico con base en la abundancia.

Los 27 taxa se relacionaron con las principales variables discriminantes: longitud, latitud, altitud, pendiente, pH, porcentaje de materia orgánica, cobertura, número de gametofitos, número de esporofitos y número de especies en 70 sitios de muestreo. Diez variables ambientales se relacionaron con los cinco grupos definidos por la matriz de especies mediante un Análisis de Correspondencia Canónico (ACC; Fig. 8).

Los vectores de la Figura 8 indican la importancia y sentido de la variación de las diez variables ambientales más importantes (Cuadro 13), en función de la abundancia de las especies.

Variable	Promedio	Desviación estándar	Correlación intra-set	
			Eje 1	Eje 2
Longitud E	327464.19	705.31	0.271	0.099
Latitud N	2157848.73	448.62	-0.180	0.644
Altitud	2833.32	76.34	-0.377	-0.432
Pendiente	4.73	1.84	0.125	-0.421
pH	5.70	0.79	0.672	0.189
Materia orgánica	5.92	6.18	-0.182	-0.291
Cobertura	4.60	0.94	0.227	-0.608
Gametofitos	37.44	44.84	-0.335	0.588
Esporofitos	12.42	24.08	-0.131	0.789
Núm. de especies	5.54	4.53	0.833	0.024

Cuadro 13. Análisis de Correspondencia Canónica de 10 variables registradas en 70 sitios de muestreo en función de la abundancia de 27 especies de pteridofitas en el área de estudio.

Las variables ambientales sobresalientes son el número de especies, pH, número de esporofitos, número de gametofitos y cobertura (Fig. 8), coincidiendo con el Análisis de Componentes Principales, aunque en este caso el tipo de vegetación y pendiente son importantes para definir el tipo de deterioro y por tanto la abundancia de especies.

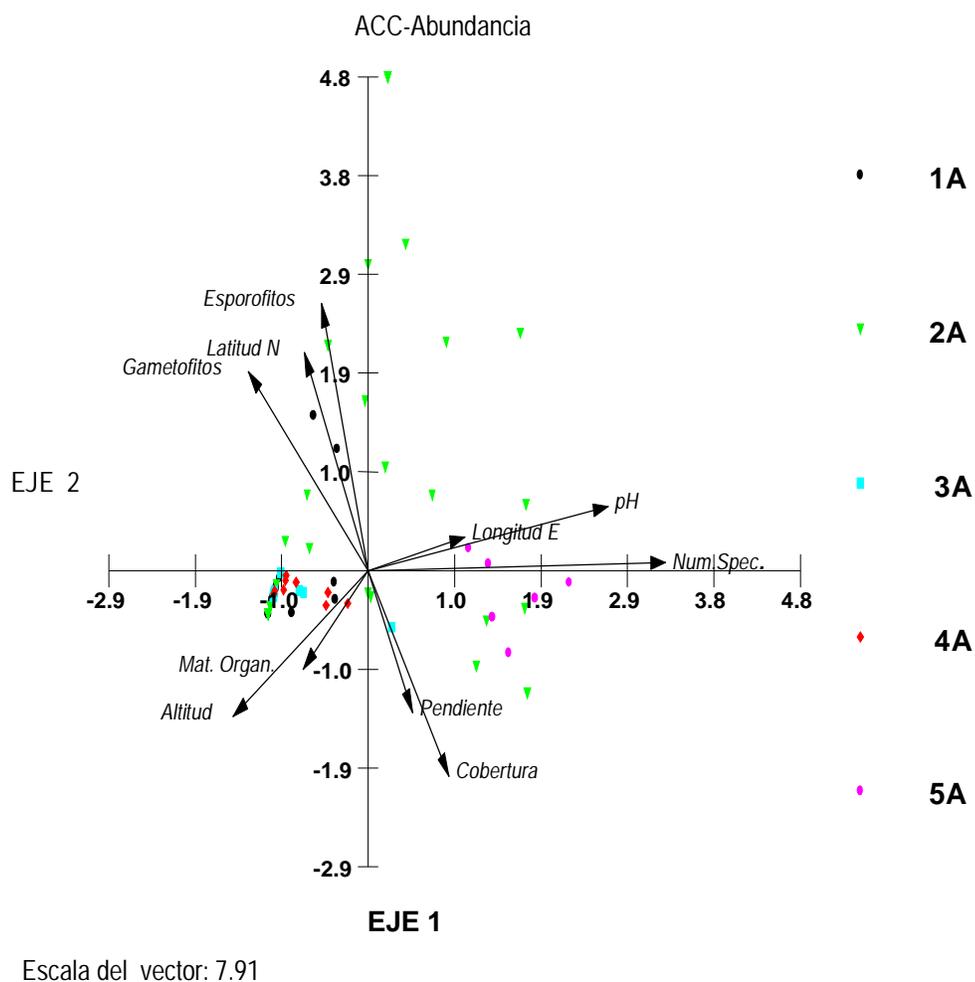


Fig. 8. Gráfico compuesto de la ordenación simultánea de 70 muestras de vegetación en función de la abundancia de 27 especies de pteridofitas y 10 variables ambientales en el área de estudio. Los vectores indican la importancia (longitud de la flecha) y sentido de la variación (dirección de la flecha) de las 10 variables ambientales más importantes. Los números y símbolos indican los cinco grupos considerados (ver texto).

b) Presencia-Ausencia

El resumen del proceso de clasificación numérica de 70 sitios de muestra en función de 27 taxa de pteridofitas y plantas afines registradas en el área de estudio, se observa en el dendograma de presencia-ausencia (Fig. 9). En la figura se puede apreciar la formación de cuatro grupos que se distinguen claramente a una distancia euclidiana de 8.2. Las variables edáficas y de vegetación se ordenaron por sitio de muestreo y por grupo en el Cuadro 14, en cuanto a las especies presentes en cada grupo, fueron ordenadas alfabéticamente en el Cuadro 15. Con base en los datos de presencia de 27 especies se calculó el índice de diversidad tomando en cuenta setenta sitios de muestreo separados por grupo de presencia-ausencia (Apéndice G).

Grupo 1P. Erosión moderada a severa.

Las unidades de muestreo se ubicaron en lugares abiertos con procesos erosivos moderados a severos, la cobertura fue de categoría casi ausente a interrumpida, sin incluir los sitios B3, B6a y E7, cuya vegetación fue densa a muy densa (Cuadro 14). El pH osciló entre 5.22 a 7.87 siendo, en promedio, el más alto comparado con los otros tres grupos. Por otro lado, la cantidad de materia orgánica disminuyó notablemente en los paisajes con erosión severa, como fue el caso del sitio D7 con un porcentaje de 0.28, o por el contrario, aumentó cuando estuvo relacionado con perturbaciones moderadas, como en el sitio de muestreo C1, donde la tala de árboles en un bosque de encino, registró un porcentaje de 8.44 de materia orgánica (Cuadro 14).

El grupo se formó con 21 sitios, de los cuales 16 se registraron con una especie, 4 con dos especies y el sitio C7 con 6 (Cuadro 15). Los parches en los que la erosión fue severa como A6, B8, D7, E8, H7, I8 y J8, sólo contaron con la presencia de dos especies, *Cheilanthes aff. bonariensis* y *C. bonariensis*; en cambio, la presencia de *C. hirsuta* fue importante únicamente en sitios con erosión moderada. El sitio C7 estuvo conformado por bosque de encino afectado por la tala de árboles, es en este sitio donde se registró la mayor diversidad, 6 especies, comparado con los sitios que conforman el grupo (Cuadro 15).

Durante los primeros 35 días después de la siembra, en 19 muestras del banco de esporas, se observaron los primeros gametofitos en fase laminar, los cuales formaron esporofitos de tipo apogámico. Los gametofitos que germinaron posteriormente, produjeron esporofitos por entrecruzamiento y apareamiento intragametofítico. Después de 300 días de la siembra, en los sitios B6a, B7, C7, D7, E8 e I6, se registraron esporofitos con una altura mayor a los 20 cm. pertenecientes al género *Cheilanthes*. Aunado a lo anterior, se observó otra estrategia reproductiva en la muestra I3, la cual fue tomada de un área incendiada, que consistió en la formación de prolongaciones en la lamina de un gametofito adulto de 2.5 cm. de largo, parecidas a las primeras hojas del esporofito (Apéndice C). En el sitio A1 no hubo germinación (Cuadro 14). Cabe señalar que fue en este grupo donde se presentó el mayor número de esporofitos, en promedio, comparado con el resto de los grupos (Cuadro 16). Los géneros observados son *Cheilanthes* y *Thelypteris*.

Grupo 2P. Erosión moderada reversible.

Es el grupo con mayor número de unidades de muestreo (35), ubicadas a una altitud de 2750-2960 m. s. n. m., con excepción de los sitios H3 y H4 ubicados en la cima del cerro Texcaltenco, donde fueron observadas evidencias claras de incendio forestal. El suelo fue relativamente profundo, sobre todo cuando se refirió a bosques de encino y pino poco alterados. La vegetación primaria fue sustituida en pequeños parches por erosión moderada, áreas de cultivo, incendio forestal, reforestación con eucaliptos y terrenos deforestados, ocasionando la disminución de materia orgánica en relación con el grado de deterioro (Apéndice A). Con respecto a la cobertura, fue clasificada como extremadamente escasa y rala en sitios de muestreo con erosión moderada (A6a y B5a) hasta considerarla como muy densa en el sitio C5; el pH se determinó como ligeramente ácido en 34 sitios de muestreo y ligeramente alcalino en el sitio G7 (Cuadro 14).

En cuanto a la presencia de pteridofitas, fueron 14 taxa los registrados en el grupo, pero únicamente *Cheilanthes lendigera* fue constante en todos los sitios de muestreo, seguido de *C. hirsuta* presente en 29 sitios. *C. aff. bonariensis* y *Pellaea ternifolia* se ubicaron en sitios con deterioro evidente, o en sitios en donde se relacionó el porcentaje de materia orgánica bajo con pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino (Cuadro 15). La especie *Cystopteris fragilis* se estableció en sitios sin deterioro evidente, pero sobre suelo con pH superior a 5.15. En cambio, *Pleopeltis mexicana* y *Polypodium thyssanolepis* mostraron preferencia por sitios de suelo profundo, con alta cantidad de hojarasca, humus y materia orgánica incorporada al horizonte A. Los taxa exclusivos de este grupo son *Pleopeltis polylepis* y *Selaginella sellowii* (Cuadro 15).

De las 35 muestras del banco de esporas, 32 germinaron antes de los 35 días, la muestra H3 después de los 35 días y las muestras B5a y F5 no germinaron. La apogamia fue una de las estrategias reproductivas observadas en las muestras B6, G7, H8 y J3 en donde se registraron esporofitos 65 días después de la siembra; sin embargo, en las muestras D3 y H3 se desarrollaron gametofitos asexuados en los que después de 300 días de la siembra, desarrollaron prolongaciones parecidas a las hojas del esporofito en los márgenes de la lámina; así también, en las muestras D3, F7, G4 y H3 se formaron gametofitos asexuados o neutros, los cuáles aún después de 400 días de la siembra no llegaron a formar esporofitos (Apéndice C). Cabe destacar que el promedio de gametofitos obtenidos es el más alto comparado con el resto de los grupos (Cuadro 16), los géneros observados en el grupo son: *Asplenium*, *Cheilanthes*, *Cystopteris*, *Pellaea* y *Thelypteris*.

Grupo	Número de sitios	Número de taxa	Número de individuos	pH	Materia orgánica	Gametofito	Esporofito
1P	21	8	85	6.40	2.80	45.4	20.10
2P	35	14	843	5.60	4.30	46.4	19.97
3P	11	14	360	6.27	3.68	9.30	2.20
4P	3	22	260	5.80	3.59	12.7	6.00

Cuadro 16. Resumen del arreglo de presencia para comparar el promedio por grupo de pH, porcentaje de materia orgánica, número de gametofitos y esporofitos registrados en el banco de esporas.

Grupo 3P. Sin deterioro aparente

La vegetación consistió de bosques de encino, cedros u oyamel, de cobertura densa a muy densa, sin perturbaciones ambientales aparentes. Formado por 11 muestras, estuvieron presentes 14 especies, destacando *Cystopteris fragilis* en los 11 sitios de muestreo, los cuales tuvieron un pH de 5 a 7.9 (Cuadro 14), seguido de *Asplenium monanthes* en 8 sitios. Fue importante la presencia de *Adiantum andicola*, *A. poiretii*, y *Pleopeltis mexicana*, está última sólo en sitios de mayor cantidad de materia orgánica. Las especies exclusivas del grupo son *Athyrium arcuatum* y *Pteris cretica* (Cuadro 15).

El número promedio de gametofitos y esporofitos obtenidos en el banco de esporas fue el más bajo de todo el arreglo (Cuadro 16). En cuanto a los mecanismos de reproducción, correspondieron a entrecruzamiento y apareamiento intergametofítico, aunque en el sitio I2 la estrategia reproductiva fue la apogamia en un esporofito del género *Cheilanthes*. En la muestra F4 no hubo germinación. Los géneros observados fueron: *Adiantum*, *Asplenium*, *Cheilanthes*, *Cystopteris* y *Pleopeltis*.

Grupo 4P. Cañadas con deterioro periodico

Finalmente, el grupo 4P consta de sólo 3 unidades de muestreo ubicadas en la cañada El Partidor, a una altitud de 2720 a 2770 m. s. n. m., vegetación primaria de bosque de encino, cobertura vegetal densa (Cuadro 14) y grado de deterioro moderado, sobre todo en determinadas épocas del año, provocado por la visita de turistas que suelen acampar en la zona. La principal característica del grupo fue la riqueza de especies, ya que contó con 22 de los 27 taxa registrados en el área de estudio.

La diversidad fue evidente, pero el número de individuos por especie fue limitado en todos los casos, de tal manera que no existe alguna especie que destaque dentro del grupo (Cuadro 15). Las especies exclusivas del grupo son *Argyrosma incana*, *Asplenium commutatum*, *Dryopteris pseudo filix-mas* y *Equisetum hyemale* (Cuadro 15). La especie *A. incana* se observó exclusivamente en la cañada El Partidor, orientada geográficamente hacia el sur, lo que la ubica en el área de mayor humedad. Resaltaron por su presencia constante *Adiantum andicola*, *Adiantum poiretii*, *Asplenium monanthes*, *Cystopteris fragilis*, *Pellaea cordifolia*, *Pleopeltis konzattii* y *Woodsia mollis*. Cabe señalar que *Dryopteris pseudo filix-mas*, *Equisetum hyemale* y *Phanerophlebia nobilis* solamente crecen en los márgenes del río.

En el banco de esporas, la muestra J3a presentó germinación de 30 gametofitos y formación de 18 esporofitos por entrecruzamiento y apareamiento intergametofítico, en cambio, en las muestras J2a y J4a se formaron 2 y 6 gametofitos respectivamente, sin que hubiera formación de esporofitos durante 400 días después de la siembra, aunque si hubo formación de gametangios. No se determinó el género ya que en el grupo los esporofitos eran muy pequeños (apéndice C).

Análisis de Correspondencia Canónico con base en la presencia-ausencia.

La clasificación numérica de la matriz de especies se analizó con la matriz ambiental, tomando en cuenta las 10 principales variables: latitud N, longitud E, altitud, pendiente, pH, materia orgánica, cobertura, número de gametofitos, número de esporofitos y número de especies. Las variables ambientales se relacionaron con los cuatro grupos definidos por la matriz de especies mediante un Análisis de Correspondencia Canónico (ACC; Fig. 10).

Los vectores de la Figura 10 corresponden a las variables ambientales más importantes, donde la longitud del vector indica la importancia relativa, y la dirección el sentido de variación máxima de cada una de las diez variables (Cuadro 17) en función de la presencia- ausencia de las especies.

Variable	Promedio	Desviación estándar	Correlación intra-set	
			Eje 1	Eje 2
Longitud E	327566.46	786.60	-0.286	-0.093
Latitud N	2157871.31	510.23	0.217	0.494
Altitud	2818.92	78.63	0.381	-0.408
Pendiente	4.37	2.01	-0.177	-0.238
pH	5.96	0.81	-0.436	0.532
Materia orgánica	4.33	4.20	-0.063	-0.586
Cobertura	4.48	1.05	-0.480	-0.666
Gametofitos	36.90	53.52	0.317	0.269
Esporofitos	16.23	29.25	0.205	0.254
Núm. de especies	6.44	5.12	-0.787	0.132

Cuadro 17. Análisis de Correspondencia Canónica de 10 variables registradas en 70 sitios de muestreo en función de la presencia de 27 especies de pteridofitas en el área de estudio.

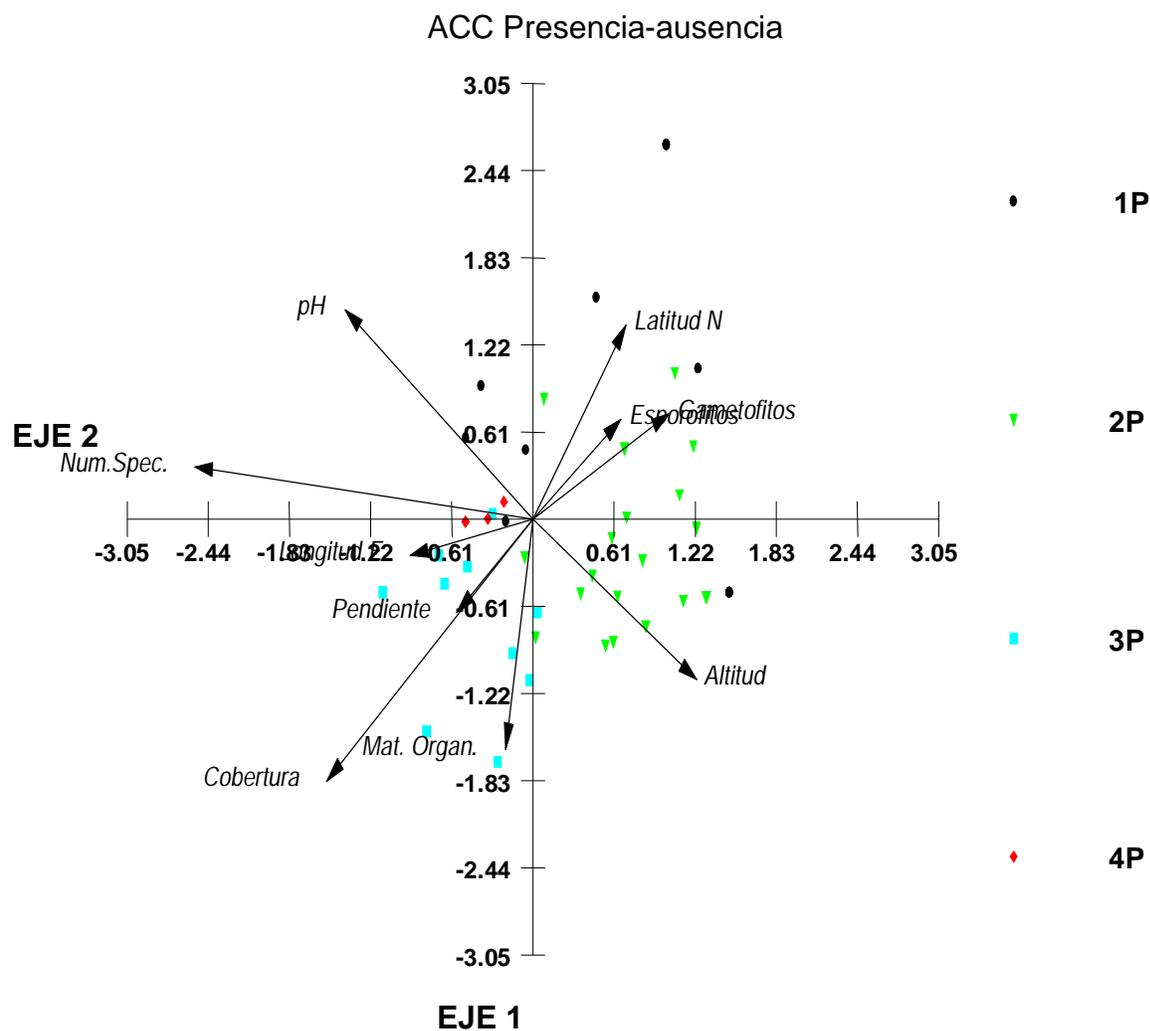


Fig. 10. Gráfico compuesto de la ordenación simultánea de 70 muestras de vegetación en función de la presencia-ausencia de 27 especies de pteridofitas y 10 variables ambientales en el área de estudio. Los vectores indican la importancia (longitud de la flecha) y sentido de la variación (dirección de la flecha) de las 10 variables ambientales más importantes. Los números y símbolos indican los cuatro grupos considerados (ver texto).

Se puede apreciar en la gráfica de ACC (Fig. 10) que las variables ambientales más importantes son número de especies, cobertura, pH y altitud respectivamente. Lo anterior coincide con el arreglo del Análisis de Componentes Principales aunque el tipo de vegetación, cantidad de materia orgánica y número de esporofitos y gametofitos igualmente son importantes ya que determinan la presencia de algunas de las especies.

c) Ausencia

El presente estudio se basó en datos de cien sitios de muestreo sobre variables ambientales y presencia de pteridoflora. El análisis numérico de similitud se realizó para 70 sitios ya que en los treinta restantes no hubo presencia de especies y en particular, en el sitio K8b no existió vegetación alguna (Apéndice B). Se analizaron los datos de variables ambientales (Apéndice A) en los treinta sitios de muestreo en los que no hubo presencia de pteridofitas (Apéndice B) a fin de conocer las características físicas de los sitios de muestreo. Por lo tanto, se llevó a cabo un análisis de correlación entre variables, detectándose una marcada correspondencia negativa entre materia orgánica y pH (-.4948), correspondencia positiva entre número de esporofitos y textura (.4950), pendiente y altitud (.4997) y número de gametofitos con número de esporofitos (.8659).

El grupo conformado por los 30 sitios de muestreo se caracterizó por la ausencia de cobertura vegetal, hasta considerarla en algunos sitios como casi ausente a interrumpida, la vegetación primaria estuvo muy alterada, vegetación secundaria formada por ruderales de tipo agrícola, erosión y reforestación con eucaliptos, pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino y bajo contenido de materia orgánica (Cuadro 18).

Variable	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Materia orgánica	2.14	1.70	0.06	7.13
pH	6.41	0.74	5.31	7.84
Altitud	2835.70	85.47	2690.00	3010.00
Gametofitos	10.90	15.20	0.00	71.00
Esporofitos	4.27	9.60	0.00	53.00

Cuadro 18. Resumen estadístico de variables de 30 sitios de muestreo sin presencia de pteridofitas en el área de estudio.

El grupo destacó por la presencia de gametofitos y esporofitos en 27 de las 30 muestras de suelo del banco de esporas como se indica en el Apéndice C, aunque la densidad fue menor comparada con los resultados totales. El promedio del número de gametofitos fue evidentemente menor en relación a sitios con presencia de pteridofitas repitiendo el mismo esquema para la fase esporofítica. Los esporofitos de tipo apogámico se identificaron en cuatro sitios y de igual manera se registró la presencia de siete esporofitos de 300 días con talla mayor a los 20 cm. en siete sitios de muestreo del grupo de ausencia de pteridoflora (Apéndice C). En resumen, la heterogeneidad entre las unidades de muestreo fue pronunciada, pero existen variables en la caracterización del suelo que son comunes como la relación negativa entre pH y cantidad de materia orgánica. El grupo estuvo integrado por sitios perturbados, con diferente grado de deterioro causado, en la mayoría de los sitios, por erosión y cambio de uso del suelo.



Erosión severa y cárcavas en la parte superior de la zona montañosa.

Erosión por deforestación en la parte alta del Cerro Chichahuaxco



Árbol sobreviviente de lo que fue un bosque de encino



Vegetación secundaria formada por eucaliptos próxima a grandes cárcavas

Mosaico con parches por cambio de uso de suelo



Cedral.- Vegetación primaria formada por Cupressus





Cheilanthes hirsuta en sitio perturbado

Polypodium thyssanolepis en tierra firme con un alto contenido de materia orgánica



Cheilanthes aff. *bonariensis* en área deteriorada



Gametofito con arquegonios y anteridios en el banco de esporas

Gametófitos y primeras hojas del esporofito en el banco de esporas



Thelypteris spp. Esporofito de 300 días en el banco de esporas



VI. DISCUSIÓN

La riqueza de pteridoflora en San Jerónimo Amanalco, Texcoco, Estado de México, consiste de ocho familias, dieciséis géneros y veintisiete especies. El estudio se concentró en la abundancia y presencia-ausencia de pteridofitas de bosque templado porque ofrecen varias ventajas: son representantes del sotobosque, forman parte de la vegetación secundaria y de áreas que han sufrido impacto ambiental moderado a severo; la mayoría son de tamaño pequeño lo que hace sencillo el trabajo de colecta, además de ser fácilmente reconocibles en campo; pero quizá la característica que tiene el mayor peso, es que las esporas no tienen límite para ser esparcidas por el viento aún en los lugares más perturbados, que son de germinación y crecimiento rápido y que se puede manipular en laboratorio poblaciones *in vivo* en espacios relativamente pequeños.

El concepto de impacto ambiental se refiere a la modificación o alteración en el medio; este puede ser de naturaleza positiva o negativa; el presente estudio se enfocó a factores negativos que generaron deterioro o degradación, que se reflejó en la disminución de la diversidad de la vegetación. En el área de estudio se observaron diferentes tipos de impactos ambientales, con base en la guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental hecha por Conesa (1995), que provocaron alteraciones negativas en el medio, representadas en áreas relativamente discretas (parches), que en conjunto formaron un mosaico de paisajes (Santos, 1983). Bajo esta perspectiva, se contaron 58 parches en las 494 hectáreas que corresponden al área de estudio, en los que fue evidente su cambio de uso de suelo; de estos,

26 mostraron procesos de erosión moderados a severos. Los resultados reflejaron la pérdida de más de la mitad de bosque templado, además de la vulnerabilidad y susceptibilidad a ser deteriorados ante determinadas acciones antropogénicas.

Así, tenemos que en San Jerónimo Amanalco, se observaron áreas discretas dispersas, que en conjunto formaron 4 paisajes básicos de acuerdo al relieve y grado de deterioro, y estos a su vez se vieron reflejados en la abundancia y presencia de algunas pteridofitas, los paisajes son: erosión, montaña con deterioro moderado reversible, montaña sin deterioro aparente y cañada sin deterioro aparente.

Erosión. Se observó en áreas abiertas que fueron de cultivo pero que han sido abandonadas, dejando la superficie del terreno indefensa ante la acción del agua en temporada de lluvias, provocando disminución drástica de la cubierta vegetal, arrastre de partículas de suelo, coladas de lodo, deslizamientos y formación de cárcavas. El cambio de uso del suelo forestal en zonas agrícolas o minas de arena, sobre todo en pendiente escarpadas o laderas, transforman el paisaje destruyendo el bosque y facilitando la erosión, de manera que el impacto ambiental es directo, severo y en ocasiones irreversible, porque el efecto que produce dificulta la posibilidad de que, utilizando medidas correctoras, se pueda llegar al estado inicial de suelo de vocación forestal.

La destrucción del bosque hasta este punto supone alteraciones e impactos de tipo irreversible por la gran dificultad para retornar al tipo de vegetación primario. El suelo se caracteriza por el bajo contenido de materia orgánica (< 3.5%) y el pH tiende a variar, en

relación positiva con el grado de deterioro, de ligeramente ácido hasta ligeramente alcalino. En paisajes erosionados la riqueza se constriñe a 4 especies, *Cheilanthes hirsuta*, presente en todos los grupos, disminuye su abundancia en estas áreas; sin embargo, *Cheilanthes aff. bonariensis*, *Cheilanthes bonariensis* y *Pellaea ternifolia* son comunes, además de que son estos ambientes los que favorecen el aumento de su abundancia relativa.

Montaña con deterioro moderado reversible. Se identifica por parches que pueden ser considerados como de impacto ambiental moderado, porque no precisan de prácticas correctoras intensivas, como es el caso de la tala de árboles en zona boscosa, para autoconsumo; pero a su vez, esta misma práctica puede ser catalogada como impacto directo, aunque sus efectos no tengan incidencia inmediata en el medio. Los parches localizados con evidencias claras de haber sufrido incendios pueden caracterizarse como impactos reversibles en la medida que se apliquen acciones correctoras y a su vez, de tipo periódico por ser fenómenos “normales” en los meses de sequía de cada año.

De acuerdo al tipo de vegetación, se observaron paisajes de vegetación primaria de bosques de encino, pino, oyamel y cedro, presentan vegetación ubicada en relieve montañoso con pendiente moderadamente escarpada. Asimismo, presentan parches afectados por incendios forestales y tala de árboles, causas que aceleran el proceso erosivo en temporada de lluvias; es decir, son bosques que poseen vegetación original y que están seriamente amenazados. La vegetación primaria ha sido sustituida en pequeños parches por áreas de cultivo, incendios forestales, reforestación con eucaliptos y terrenos deforestados, ocasionando la disminución de materia orgánica. Sin embargo, cabe destacar que la cantidad de materia

orgánica no es una variable que, en este tipo de paisaje, tenga relación con el tipo de deterioro o con variables ambientales o edáficas; en cambio, el pH tiene valores con márgenes restringidos ya que varían de ácido a ligeramente ácido (4.9-6.9), en relación positiva con el grado de deterioro. En cuanto a la presencia de pteridofitas, dos especies son comunes en estos paisajes, *Cheilanthes hirsuta* y *Cheilanthes lendigera*, pero *C. hirsuta* tiende a incrementar su abundancia relativa en fragmentos abiertos, que presentan algún tipo de deterioro. *Cheilanthes aff. bonariensis* y *Pellaea ternifolia* se ubicaron en sitios con deterioro evidente, o en sitios en donde se relacionó el porcentaje de materia orgánica bajo con pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino (6-8).

Es necesario resaltar que *Cheilanthes bonariensis*, *Cheilanthes aff. bonariensis* y *Pellaea ternifolia*, no sólo se observaron en los sitios de mayor deterioro sino que también formaron parte de paisajes modificados drásticamente por deforestación, incendio y áreas de cultivo abandonadas. Además, dichas especies no son comunes en áreas en la que existe vegetación primaria sin alteraciones evidentes, por lo que considero que únicamente se observan en los bosques que han sufrido algún tipo de impacto ambiental negativo. Por lo tanto, se puede decir que las tres especies son indicadoras de deterioro ambiental.

Montaña sin deterioro aparente. El bosque templado incluye bosques de encino, pino, oyamel o cultivados (Rzedowski, 1978); éstos se caracterizan por ser caducifolios en los meses de sequía, de noviembre a marzo generalmente. Tienen alto contenido de materia orgánica y perfil del suelo profundo; lo anterior significa que cuenta con capas de la superficie hacia adentro de: hojarasca reciente, hojarasca en descomposición, restos orgánicos no

identificables, hasta la capa externa del horizonte A que contiene suelo mineral enriquecido en materia orgánica y una zona de eluviación de humus y arcilla (Bennet & Humphries, 1981). En el área de estudio, en sitios con éstas características, se llegó a medir hasta cuarenta centímetros a partir de hojarasca reciente hasta llegar al horizonte A, en el mes de julio. Los bosques con vegetación primaria como los de encino, pino, oyamel y cedro están ubicados en relieve de montaña; siendo estos los que tienen las condiciones propicias para el establecimiento de poblaciones de helechos. Es de llamar la atención la abundancia de algunos taxa como *Adiantum poiretii*, *Asplenium monanthes*, *Cheilanthes myriophylla*, *Pellaea cordifolia* y *Woodsia mollis*; pero sobre todos éstos helechos, *Cheilanthes lendigera*, presenta la mayor abundancia relativa del paisaje.

El área de estudio representa la vegetación primaria clásica de bosque templado; por lo que la presencia constante de *Adiantum poiretii*, *Adiantum andicola*, *Asplenium monanthes*, *Cheilanthes myriophylla*, *Pellaea cordifolia* y *Woodsia mollis*, denota áreas que no han sufrido alteraciones o modificaciones graves que hayan impactado los componentes del medio.

Considero que los taxa de un bosque templado deben incluir tanto elementos de flora xérica, como elementos de flora cálido-húmeda, además de elementos que requieren de alto contenido de materia orgánica; esto es porque en bosques templados, aproximadamente medio año es de sequía y el resto de mayor humedad por las lluvias. Lo anterior se refuerza si se toma en cuenta la presencia de las siguientes especies: *Cheilanthes bonariensis*, *C. hirsuta*, *C. lendigera*, *C. marginata*, *C. myriophylla*, *Pellaea cordifolia* y *P. ternifolia*, considerados por Riba (1994) como helechos de zonas secas y semisecas del país.

En contraste, en los sitios de mayor humedad del bosque templado se registran los siguientes taxa: *Adiantum poiretii*, *Dryopteris pseudo filix-mas* y *Thelypteris linkiana*, especies que sólo se observan en los sitios de mayor humedad.

Cañada sin deterioro aparente. El lugar propicio para el crecimiento de pteridofitas y plantas afines en bosques templados son las cañadas, porque es en ellas donde se depositan partículas de suelo y materia orgánica, existen buenas condiciones de drenaje y se mantiene la humedad durante los meses de sequía. En todas las cañadas, sobre todo en El Partidor, se registró la mayor riqueza de especies, pero a su vez, la abundancia relativa disminuye, probablemente por la competencia que se establece por el espacio.

Adiantum andicola y *Pellaea cordifolia* si bien, no fueron abundantes, si en cambio fueron constantes en todos los sitios. Es necesario resaltar que *A. andicola*, y *A. poiretii* únicamente fueron observados en las cañadas. Los taxa exclusivos de este grupo son *A. andicola*, *A. poiretii*, *Argyrosma incana*, *Asplenium commutatum*, *Dryopteris pseudo filix-mas*, *Equisetum hyemale* y *Pteris cretica*.

La especie *A. incana* se observó exclusivamente en la cañada El Partidor, orientada geográficamente hacia el sur, lo que la ubica en el área de mayor humedad, en cambio, *Dryopteris pseudo filix-mas*, *Equisetum hyemale* y *Phanerophlebia nobilis* sólo crecen en los márgenes del río.

Mecanismos y estrategias reproductivas.

Las tres vías utilizadas para reconocer los mecanismos y estrategias de reproducción de los helechos: banco de esporas, siembra de esporas en medio de cultivo y registro de tamaño y forma de las esporas colectadas, están relacionadas porque facilitan el reconocimiento de afinidad entre la presencia de ciertas pteridofitas, con el grado de perturbación del lugar y el tipo de reproducción empleado en bosques de clima templado.

a) Erosión. Las pteridofitas presentes en sitios perturbados y deteriorados como *Cheilanthes bonariensis*, *C. aff. bonariensis*, *C. hirsuta*, y *Pellaea ternifolia*, fueron los primeros en germinar, después de catorce días de haber sido sembrados; las esporas se observaron uniformes tanto en forma y tamaño, aunque *C. hirsuta* fue la única especie del grupo que mantuvo irregularidades en la forma y en el tamaño de las esporas; los gametofitos formaron filamentos ramificados, toscamente desarrollados de diez a cuarenta células de acuerdo a la especie; a los veintitrés días de edad, se observó que células formadas entre las ramificaciones, dieron al gametofito un aspecto laminar espatulado.

Los gametofitos produjeron anteridios perfectos formados por: célula basal, anular y opercular a los sesenta y cinco días; durante los noventa a ciento veinte días se formó la primera hoja del esporofito, sin que se observaran arquegonios, por tanto, la estrategia reproductiva fue la de apogamia obligada.

La apogamia obligada ocurre regularmente en la naturaleza, pero el esporofito y gametofito retienen su número cromosómico; aproximadamente un 10% de helechos y una desconocida proporción de grupos afines tienen ciclos de vida de este tipo, los cuales producen anteridios capaces de fertilizar células huevo relacionadas con especies sexuales, pero el arqueogonio, si es que se forma, no es funcional y esto se atribuye a un pobre desarrollo o necrosis de la célula huevo. Sin embargo, la apogamia puede ser inducida cuando se manipula el ambiente privando de agua al gametofito, porque impide la apertura del arqueogonio y pone en libertad a los anterozoides; asimismo, altos niveles de luz promueven la apogamia, posiblemente por el incremento de fotosíntesis en las células (Sheffield & Bell, 1987).

Si se toman en cuenta los elementos que inducen la apogamia: privación de agua y altos niveles de luz; puede suponerse que en la naturaleza y en particular en el área de estudio, los sitios deteriorados que perdieron cobertura vegetal y nutrientes, en un clima en que la escasez de agua dura aproximadamente medio año, se presentan las mismas características que promueven apogamia. Por lo tanto, la apogamia es una estrategia reproductiva para algunos helechos que están presentes en terrenos deteriorados de clima templado; porque se requiere de germinación y desarrollo acelerado cuando inicia el periodo de lluvias. En el estudio, el grupo de helechos apogámicos formaron gametofitos filamentosos desde los catorce días, además de que la formación del esporofito se presentó en algunos casos, después de sesenta y cinco días de la siembra, garantizando de esta manera que, helechos cheilantoides completen su ciclo de vida en un tiempo relativamente menor, en comparación con helechos de ciclo de vida de alternancia de generaciones clásico.

No se debe olvidar que en la región, el clima templado implica la posibilidad de sequía intraestival (canícula), privando de agua a los gametofitos en una fase crítica, por ser susceptibles a la pérdida de humedad en el suelo, por eso la “necesidad” de contar con una estrategia que induzca la precocidad tanto en germinación como en crecimiento, características que se observaron en individuos de origen apogámico. El señalamiento anterior se refuerza por estudios hechos por Lloyd (1974) en las Islas Galápagos, que documentó la producción de anteridios con crecimiento precoz, en lugares xéricos de baja diversidad; características que favorecieron generaciones cortas de gametofitos, baja diversidad genética y apogamia.

Por lo tanto, no es casual que en paisajes erosionados del área de estudio, los helechos del género *Cheilanthes* hallan tenido como estrategia reproductiva, la apogamia; que la alternancia de generaciones de la fase del gametofito a la del esporofito se realizará antes, en comparación con el resto de las especies de las muestras y que, asimismo, sea en paisajes erosionados donde el promedio de helechos que alcanzaron a formar el esporofito, halla sido el más alto.

b). Montaña con deterioro moderado reversible. El tipo de perturbación o deterioro observado fue diverso, ya que contó con paisajes de erosión moderada, deforestación, tala de árboles para autoconsumo, áreas de cultivo, reforestación con eucaliptos y una franja que sufrió incendios forestales. Probablemente es esta diversidad de paisajes la razón por la que no se puede señalar, a diferencia del grupo anterior, un mecanismo o estrategia de reproducción común. Como mecanismos y estrategias de reproducción, destaca la apogamia por la

precocidad en la formación del esporofito, formándose antes de 155 días; en cambio, se observaron muestras que formaron, primero anteridios y posteriormente arquegonios, situación que permitió inferir que los esporofitos formados fueron de origen sexual, a partir de entrecruzamiento y apareamiento intergametofítico, en este caso, la formación de esporofitos osciló entre 155 a 300 días.

La apogamia se define como, la formación del esporofito a partir de un gametofito, sin fusión sexual (Sheffield & Bell, 1987), el tipo de apogamia observado en paisajes perturbados se refiere a gametofitos que forman anteridios, pero no así arquegonios. Sin embargo, se observó una variante en el grupo: las muestras tomadas en la franja afectada por incendios, los gametofitos no formaron gametangios y sólo después de 300 días de la siembra, desarrollaron prolongaciones parecidas a las hojas del esporofito en los márgenes de la lámina; así también, se formaron gametofitos asexuados o neutros, los cuáles aún después de 400 días de la siembra no llegaron a formar esporofitos. Los géneros observados en el grupo fueron: *Asplenium*, *Cheilanthes*, *Cystopteris*, *Pellaea* y *Thelypteris*.

c). Montaña sin deterioro aparente. El grupo de paisajes que no fueron afectados por perturbaciones evidentes, se caracterizó por la alta densidad de gametofitos obtenidos. Los gametofitos en fase laminar se observaron después de 35 días, formaron anteridios primero y arquegonios después. Probablemente, por la alta densidad de gametofitos y la formación de gametangios, los esporofitos obtenidos fueron resultado de entrecruzamiento y apareamiento intergametofítico. La fase esporofítica se presentó después de 155 días de la siembra.

Es probable que las características del paisaje sean parte de la causa por la que el ciclo de vida, que tienen los helechos homosporicos del grupo, siguiera la ruta o mecanismos reproductivos clásicos, esto es, gametofitos que forman anteridios en la región posterior del talo cerca o entre los rizoides, arquegonios formados por debajo de la escotadura meristemática, en la región anterior del cojinete, y finalmente, formación del esporofito entre 120-320 días. Los géneros que germinaron son *Adiantum*, *Asplenium*, *Cheilanthes*, *Cystopteris*, *Pellaea*, *Pleopeltis* y *Thelypteris*.

d). Cañada sin deterioro aparente. Los helechos típicos de cañada: *Adiantum poiretii*, *Argyrosma incana*, *Asplenium monanthes*, *Pellaea cordifolia*, *Phanerophlebia nobilis*, *Pleopeltis mexicana*, *Thelypteris linkiana* y *Woodsia mollis* tuvieron un ciclo de vida caracterizado por germinación de esporas entre catorce y veintitrés días, formación de prótalos de aspecto filamentosos, formado por hileras de tres a trece células, dependiendo de la especie. Después de cuarenta días el gametofito tuvo forma espatulada o cordiforme, mismos que en su etapa adulta formaron anteridios y arquegonios.

Probablemente la fecundación fue por autofecundación intragametofítica o intergametofítica, de entrecruzamiento intergametofítico o apareamiento intergametofítico, ya que la posición del cuello del arquegonio y el número de poblaciones así lo sugiere. La formación de los primeros esporofitos fue entre los cien y ciento veinte días después de la siembra. *Thelypteris* siguió este mismo patrón, con la diferencia de que después de que surgió la primera hoja del esporofito, su desarrollo fue el más acelerado, de tal manera que a los trescientos días de edad, alcanzaron una talla superior a los 20 cm.

Éste grupo de taxa se desarrolla en campo en sitios húmedos, aún en los meses secos, donde la cubierta vegetal impide radiación excesiva y exposición al viento; el pH del suelo así como la cantidad de nutrientes favorecen el establecimiento y crecimiento de gametofitos hasta formar el esporofito. De esta forma, se puede intuir que si el ambiente no sufre alteraciones importantes, de igual forma mantiene en equilibrio el tamaño de las poblaciones al igual que sus estrategias reproductivas.

Paisajes y estrategias reproductivas.

Con base en la agrupación por paisajes, al parecer si existe afinidad con las estrategias reproductivas. En sitios perturbados únicamente se desarrollan individuos que cuentan con estrategias reproductivas que promueven la tolerancia ecológica: la apogamia a partir de gametofitos que sólo forman anteridios en toda la lámina y esporofitos de crecimiento “precoz”. En áreas sin perturbación aparente, los helechos homosporicos presentan una alternancia de generaciones clásica, tanto en la formación y posición de los gametangios como en los tiempos para la formación de cada fase.

Por otro lado, en el banco de esporas fue posible observar otra estrategia reproductiva: a partir de los márgenes de la lámina del gametofito neutro o asexuado, se formaron prolongaciones parecidas a las primeras hojas del esporofito después de 400 días de la siembra. La última observación se hizo cuando estos helechos tenían una edad de 430 días, mostrando un aspecto normal al resto de los esporofitos. Debido a la longevidad del gametofito y aspecto del esporofito no fue posible determinar la especie.

Cabe señalar que el año de 1998 fue importante por el número de incendios que se registraron a nivel nacional. La Sierra Nevada no fue la excepción; desafortunadamente en ese año se afectó el crecimiento de árboles y cubierta vegetal. En el área de estudio, probablemente se modificaron cualidades físicas del suelo que impidieron la germinación de gametofitos en la misma proporción que en muestras de suelo de características similares; por ejemplo, en el caso de los sitios de muestreo con evidencias visibles de incendio, coincidieron porque germinaron gametofitos asexuados o neutros. Sin embargo son necesarios estudios específicos para evaluar el efecto que tiene el fuego sobre los bosques tanto en el suelo como en la germinación de la flora.

CONSIDERACIONES ADICIONALES

Erosión severa. Los paisajes observados con un proceso de erosión muy avanzado, al grado de tener cobertura vegetal rala, casi ausente o carecer de vegetación, tuvieron en común la relación negativa entre la cantidad de materia orgánica y el grado de acidez (pH). Asimismo, la evidente ausencia de pteridoflora nos permite inferir lo avanzado del proceso de erosión hasta el punto de suponer la imposibilidad o dificultad de retornar a una recuperación de la vegetación primaria. No obstante el grado de deterioro, en 27 de los 30 sitios en los que no hubo presencia de pteridofitas, si hubo germinación en las muestras de suelo empleadas para el banco de esporas, sin embargo, la densidad de gametofitos fue evidentemente menor en relación a los sitios en los que si hubo presencia de pteridofitas. Nuevamente la estrategia reproductiva fue la misma que para paisajes con erosión moderada: la apogamia en el género *Cheilanthes*.

Especies raras. Se sugiere considerar, en San Jerónimo Amanalco, Texcoco, Estado de México, a cinco especies en la categoría de raras: *Asplenium commutatum*, *Athyrium arcuatum*, *Pleopeltis polylepis*, *Pteris cretica* y *Selaginella sellowii*, por tener un número limitado de individuos y porque sus áreas habitables son de extensión reducida y de condiciones físicas particulares. En todas las cañadas se observó mayor diversidad de taxa, de las cuales sólo en tres sitios en particular, se registró la presencia de las pteridofitas consideradas como raras.

Athyrium arcuatum se ubicó en la parte alta de la Cañada El Partidor, en el único paisaje de bosque de oyamel de San Jerónimo Amanalco, condición que probablemente favorece su presencia. *Pleopeltis polylepis* se observó en el sitio de muestreo H8, ubicado en la periferia de un área reforestada con eucaliptos, en la parte baja, con azimut noroeste; por lo tanto, el efecto umbría es importante porque la radiación es menor y mantiene la humedad. *Selaginella sellowii*, registrada en la parte baja del área de estudio (2778 m s n m), donde se observó un paisaje formado por cedros. El área se mantiene aislada ya que la rodean terrenos de cultivo de avena, maíz y frijón.

Pteris cretica se registró en el sitio de muestreo C7b, en la parte baja de la cañada El Partidor. Se caracteriza por tener esporas de tipo trilete, pero se observaron algunas deformadas de tal manera que parecían ser de tipo monolete. Mickel y Beitel (1988) indican que R. M. Tryon y A. R. Smith consideran a *P.cretica* como nativa del Viejo Mundo y quizá fue introducida a México. Sheffield & Bell (1987) han documentado reproducción apogámica en la especie por necrosis en la célula huevo. Los elementos anteriores pueden ser una respuesta al por qué se encuentra en el área de estudio en solamente un sitio, con número de individuos restringido y no germinó en condiciones de laboratorio.

Se ha señalado que los indicadores más contundentes del daño ecológico son la extinción de especies y el incremento en el número de las amenazadas; desafortunadamente este puede ser el caso de *Asplenium commutatum*. Dos individuos de la especie fueron observados únicamente en el sitio J2a, ubicado en la parte alta de la cañada El Partidor; para

su identificación fue colectado parte de un individuo fértil que fue depositado en el herbario como ya se indicó anteriormente; las esporas se midieron y sembraron en el medio de cultivo. Pese a que las esporas de tipo monolete fueron numerosas y normales en forma y tamaño, no germinaron. Lo anterior probablemente se debe a que requiere de condiciones de laboratorio específicas. Desafortunadamente, el ejemplar y medio que se dejaron en el lugar, ya no aparecieron cuando se quisieron hacer nuevas observaciones.

Nuevos registros. *Cheilanthes lerstenii* y *Pleopeltis konzattii* son parte de la lista preliminar de pteridofitas endémicas de México (Riba, 1998), pero no fueron citadas para el Valle de México, al que pertenece Texcoco, con anterioridad, por lo que se proponen como nuevos registros. Asimismo, cabe destacar la presencia de *Phanerophlebia nobilis* y *Pleopeltis polylepis* en el área de estudio, ya que son consideradas como endémicas de México (Riba, 1998), por lo que valdría la pena conservar las áreas en las que se han establecido.

Especies indicadoras de condiciones edáficas. *Cystopteris fragilis* es parte del bosque de encino pero su abundancia es mayor en suelos con pH suavemente ácido hasta suavemente alcalino (6-8). Wherry (1920) resaltó las preferencias edáficas de esta especie al suelo calcáreo, aunque señala que puede ser tolerante a ciertas condiciones de acidez; de esta forma, los resultados obtenidos en el presente estudio refuerzan dicha afirmación. Asimismo, *Pleopeltis mexicana* y *Polypodium thyssanolepis* se establecen en vegetación primaria, en tierra firme, siempre y cuando el contenido de materia orgánica sea alto (>4.5%).

VII. CONCLUSIONES

El tipo de análisis empleado, Análisis de Correspondencia Canónico, fue el adecuado para comparar y evaluar variables ambientales y variables de especies de pteridofitas.

El diseño de un banco de esporas con las muestras de suelo por sitio, la siembra de esporas en un medio de cultivo y la evaluación de muestras de esporas de individuos obtenidos en campo, fue adecuado para determinar las estrategias reproductivas de las pteridofitas en relación con características edafo-ecológicas.

San Jerónimo Amanalco, Texcoco, Estado de México, mostró 4 tipos de paisajes de acuerdo a sus características ambientales, grado de deterioro y presencia de pteridoflora: erosión, montaña con deterioro moderado reversible, montaña sin deterioro aparente y cañada sin deterioro aparente. Además de un paisaje denominado, erosión severa, por sus características edafo-ecológicas y por la ausencia de pteridofitas.

Sí existe correspondencia entre sitios deteriorados y estrategias reproductivas de taxa de pteridofitas que invaden y colonizan dichos lugares.

La apogamia es la estrategia reproductiva común para pteridofitas establecidas en paisajes deteriorados o con erosión moderada. Los helechos apogámicos forman anteridios en los márgenes y en la lámina del gametofito, pero no forma arquegonios. Los esporofitos de origen apogámico se forman en menos tiempo que los de origen sexual.

La estrategia reproductiva en donde gametofitos forman gametangios que promueven diferentes mecanismos de reproducción para, finalmente, formar las primeras hojas del esporofito entre 120-320 días, es la común para paisajes sin deterioro evidente.

Cheilanthes bonariensis, *Cheilanthes aff. bonariensis* y *Pellaea ternifolia* son indicadoras de deterioro ambiental.

Cheilanthes hirsuta es una especie que tiende a incrementar su abundancia relativa en áreas abiertas y con indicios de deterioro ambiental.

Cheilanthes lendigera incrementa su abundancia relativa en paisajes de montaña sin deterioro aparente.

Los taxa que únicamente crecen en paisajes sin deterioro aparente son: *Adiantum andicola*, *Adiantum poiretii*, *Argyrochosma incana*, *Asplenium commutatum*, *Dryopteris pseudo filix-mas*, *Equisetum hyemale* y *Pteris cretica*.

Dryopteris pseudo filix-mas, *Equisetum hyemale* y *Phanerophlebia nobilis* sólo crecen en los márgenes del río.

Tres especies de pteridofitas son indicadoras de condiciones edáficas. *Cystopteris fragilis* incrementa su abundancia relativa en suelo calcáreo, pero tolera condiciones de acidez (6-8).

Pleopeltis mexicana y *Polypodium thyssanolepis* se establecen en vegetación primaria, en tierra firme, cuando el contenido de materia orgánica es mayor de 4.5%.

Los paisajes con vegetación primaria en donde las condiciones de humedad y sombra favorecen la riqueza de especies de pteridofitas, igualmente contribuyen a la presencia de especies raras.

Áreas que han sido cultivadas por eucaliptos como estrategia para reducir la erosión, disminuye la diversidad y abundancia de especies de pteridofitas.

LITERATURA CITADA

Barrington, D. S. 1993. Ecological and historical factors in fern biogeography. *J. Biogeogr.* 20: 275-280.

Begon, M., J. L. Harper & C. R. Townsend. 1996. *Ecology: Individuals, populations and communities*. 3ª. ed. Blackwell Scientific Publications. USA. 1068 pp.

Bennett, D. P. & D. A. Humphries. 1981. *Introducción a la ecología de campo*. H. Blume Ediciones. Madrid, España. 326 pp.

Bojórquez Tapia, L. A. & A. Ortega Rubio. 1988. *Las evaluaciones de impacto ambiental: conceptos y metodologías*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C. México. 59 pp.

Cárcamo, M. A. & R. Cisneros Ibáñez. 1985. *Relación suelo-vegetación en el municipio de Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. *Terra* 3(1): 38-39.

Clements. F. E. 1928. *Plant succession and indicators. A definitive edition of plant succession and plant indicators*. Hafner Press. N. Y., USA. 453 pp.

Conesa Fernández-Vítora, V. 1995. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 2ª. ed. Mundi-Prensa. Madrid. 390 pp.

Cosío Ruiz, C. 2001. Panorama socioeconómico y demográfico de Texcoco. Indicadores para la planeación municipal. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 267 pp.

Crawley, M. J. 1986. Plant Ecology. Blackwell Scientific Publications. USA. 496 pp.

Department of Agriculture. 1998. Munsell soil color charts. United State Department of Agriculture, Washington, D. C., USA.

Equihua Zamora, M & G. Benítez Badillo. 1994. Dinámica de las comunidades ecológicas. Trillas. México, D. F. 120 pp.

Escalona Maurice, M. J. 2004. Análisis de las políticas públicas en la agricultura urbana caso Texcoco, México. www.ipes.org/aguila/publicaciones/resumen%20texcoco.htm.

Flores Villela, O. & P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo. Comisión para el conocimiento y uso de la biodiversidad. CONABIO-UNAM. México, D. F. 439 pp.

García, E. & W. Köeppen. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 246 pp.

Gauch, H. G. 1982. Multivariate análisis in community ecology. Cambridge University Press. Cambridge, U. K. 298 pp.

González Bernaldez, F. 1981. Ecología y paisaje. H. Blume ediciones. Madrid, España. 250 pp.

Granados Sánchez, D. & R. Tapia Vargas. 1990. Comunidades vegetales. Colección Cuadernos Universitarios. Serie de Agronomía No. 19. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 235 pp.

Graves, J. H. & C. D. Monk. 1982. Herb-soil relationships on lower north slope over marble. Bull. Torrey Bot. Club 109: 500-507.

Grime, J. P. 1982. Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación. Limusa. México, D. F. 291 pp.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1998. Carta topográfica Chalco E14B31. Escala 1: 50,000. México.

- _____. 1998. Carta topográfica Texcoco E14B21. Escala 1: 50,000. México.
- _____. 2000. Cuaderno Estadístico Municipal de Texcoco, Estado de México. INEGI. México. 167 pp.
- Klekowski, E. J. Jr. 1969. Reproductive biology of the Pteridophyta III. A study of the Blechnaceae. *J. Linn. Soc. Bot.* 62: 361-377.
- Kovach, W. L. 2003. MVSP-A multivariate Statistical Package for Windows, ver. 3.2. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, V. K.
- Krebs, C. J. 1985. *Ecología: Estudio de la distribución y la abundancia*. Harla. México. 753 pp.
- Kruckeberg, A. R. 1964. Ferns associated with ultramafic rocks in the Pacific Northwest. *Am. Fern J.* 54: 113-126.
- Kunin, W. E. & K. J. Gaston. 1993. The biology of rarity: patterns, causes and consequences. *Trends Ecol. Evol.* 8: 298-301
- Landa, R., J. Meave & J. Carabias. 1997. Environmental deterioration in rural México: an examination of the concept. *Ecological Applications* 7(1): 316-329.

Lloyd, R. M. 1974. Reproductive biology and evolution in the pteridophyta. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 61: 318-331.

Lorea, F. & R. Riba. 1990. Guía para la recolección y preparación de ejemplares para herbario de pteridofitas. Consejo Nacional de la Flora de México, A. C. México. 12 pp.

Mace, G. M. & R. Land. 1991. Assessing extinction threats: toward a reevaluation of IUCN threatened species categories. *Conservation Biology* 5: 148-157

_____. 1994. An investigation into methods for categorizing the conservation status of species. In: *Large-Scale Ecology and Conservation Biology*, P. J. Edwards, R. M. May & N. R. Webbs (eds.) pp. 293-312. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

Margalef, R. 1977. *Ecología*. Omega, S. A. España. 951 pp.

Matuda, E. 1956a. Los helechos del Valle de México y alrededores. *An. Inst. Biol. Méx.*, 27: 49-168.

_____. 1956b. Los helechos del estado de México. Gobierno del Estado de México. Toluca, México. 72 pp.

Mickel, J. T. & J. M. Beitel. 1988. Pteridophyte Flora of Oaxaca, Mexico. *Mem. New York Bot. Gard.* 46:1-568.

Moran, R. C. & R. Riba (eds.). 1995. Flora Mesoamericana. Vol. 1 Psilotaceae a Salviniaceae. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 470 pp.

Ortiz Solorio, C. A. & M. Anaya Garduño. 1983. Metodología para la evaluación y cartografía de la desertificación en México. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. México. 26 pp.

Pérez-García, B., R. Riba & I. Reyes Jaramillo. 1995. Helechos mexicanos: formas de crecimiento, hábitat y variantes edáficas. *ContactoS* 11: 22-27.

_____, A. Mendoza, R. Riba & L. D. Gómez-Pignataro. 2001. Development of the sexual phase of *Pseudocolysis bradeorum* (Polypodiaceae). *Am. Fern J.* 91(4): 214-226.

Porta Casanellas, J., M. López-Acevedo Requerín & C. Roquero de Laburu. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. Madrid. 807 pp.

Quadri de la Torre, G. 2003. Incendios forestales y deforestación en México: una perspectiva analítica. Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (Cespedes). <http://www.cce.org.mx/céspedes/publicaciones/>.

Rabinowitz, D. 1981. Seven forms of rarity. In: *The Biological aspects of rare plant conservation*. H. Synge (ed.) pp. 205-217. Wiley. Chichester.

Reyes Jaramillo, I. 1996. Fundamentos teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo. Parte I. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D. F. 257 pp.

Riba, R. & B. Pérez-García. 1994. Perspectivas en el estudio de las pteridofitas. Bol. Soc. Bot. México 55: 129-135.

_____. 1994. XVII. El desarrollo de los estudios sobre pteridofitas de México. In: J. Llorente, J. Luna (eds.). Taxonomía Biológica. Universidad Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. pp. 333-341.

_____. 1998. Pteridofitas mexicanas: distribución y endemismo. In: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, J. Fa (eds.). Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 369-384.

Rincón-Gallardo, P. E. 1991. Análisis estructural de la comunidad de helechos terrestres en una selva húmeda en "Los Tuxtlas", Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 148 pp.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432 pp.

Santos Ocampo, A. 1983. Metodología de regionalización natural para grandes territorios, basada en el concepto de paisaje, el caso de México. Tesis de licenciatura. Departamento de suelos, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 102 pp.

Sheffield, E. & P. R. Bell. 1987. Current studies of the pteridophyte life cycle. *Bot. Rev.* 53 (2): 442-489.

Siebe, C., R. Jahn & K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Publicación Especial No. 4. Chapingo, México. 57 pp.

Smith, A. R. 1981. Pteridophytes. In: D. E. Breedlove (ed.), *Flora of Chiapas, Part 2*. California Acad. Sci., San Francisco. 1-370 pp.

Strasburger, E., F. Noll, H. Schenck & A. F. Schimper. 1993. *Tratado de botánica*. Omega, S.A. Barcelona, España. 1100 pp.

Taboada Rivera, E., M. A. Samano & M. Guzmán. 1998. *Monografía del Municipio Libre de Texcoco, Estado de México*. Consejo de la Crónica y Cultura del Municipio y Distrito de Texcoco, Estado de México. México. 489 pp.

Tejero Díez, D. & M. L. Arreguín Sánchez. 2002. Lista con anotaciones de las Pteridofitas del Estado de México. *Acta Botánica Mexicana* (en revisión).

Toledo, V. M. 1990. El proceso de ganaderización y la destrucción biológica y ecológica de México. In: E. Leff (ed.). *Medio ambiente y desarrollo en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Porrúa. pp. 191-227.

Tryon, A. F. & B. Lugardon. 1991. Spores of the pteridophyta: surface, wall structure and diversity based on electron microscope studies. Springer-Verlag. New York. 648 pp.

Tryon, R. 1986. The biogeography of species, with special reference to ferns. Bot. Rev. 52(2): 118-156.

Tuomisto, H. & K. Ruokolainen. 1994. Distribution of pteridophyta and Melastomataceae along an edaphic gradient in an Amazonian rain forest. J. Veg. Sci. 5: 25-34.

_____. & A. D. Poulsen. 1996. Influence of edaphic specialization on pteridophyte distribution in neotropical rain forests. J. Biogeography 23: 283-293.

_____ & R. C. Moran. 1998. Edaphic distribution of some species of the fern genus *Adiantum* in western Amazonia. Biotropica 30(3): 392-399.

Valdés, J. & H. Flores. 1983. Las pteridofitas en la flora halófila y gipsófila de México. Serie Botánica. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México 54:173-188.

Weaver, J. E. & F. F. Clements. 1944. Ecología vegetal. 2^a. ACME. Buenos Aires. 667 pp.

Wherry, E. T. 1920. The soil reactions of certain rock ferns – II. Am. Fern J. 10: 45-52.

Young, K. R. & B. León. 1989. Pteridophyte species diversity in the Central Peruvian Amazon: importance of edaphic specialization. *Brittonia* 41(4): 388-395.

Zimmermann, W. 1976. *Evolución vegetal*. Omega, S.A. España. 176 pp.

Apéndice A. Características físicas y edáficas por sitio de muestreo.

Sitio	Long.E	Lat. N	Alt.	Az.	Pend.	pH	M. O.	Tex	Color	Rel.	Cob.	1a.	2a.	Esp.	Ind.
A1	326250	2157000	2670	S	6	7.87	0.92	CRL	2.5Y7/4	3	3	0	2	1	10
A2	326250	2157250	2690	S	4	7.05	5.62	L	10YR5/4	3	5	1	0	0	0
A3	326250	2157500	2710	E	1	7.01	1.71	L	10YR5/4	3	3	1	2	0	0
A4	326250	2157750	2750	N	1	5.31	2.90	CLf	10YR6/3	2	3	0	2	0	0
A5	326250	2158000	2700	SE	1	7.57	1.69	CRL	2.5Y5/4	2	4	0	1	0	0
A6	326250	2158250	2720	SE	6	5.86	4.41	CRL	2.5Y5/4	2	4	0	1	1	2
A6a	326250	2158250	2775	SE	5	6.07	1.23	CRL	10YR5/4	2	1	0	2	2	15
A7	326250	2158500	2740	S	1	6.75	0.91	CRL	2.5Y6/2	2	4	0	1	0	0
A8	326250	2158750	2788	E	1	6.35	1.45	CA	2.5Y5/3	1	5	3	0	7	24

Características ambientales, edáficas, de vegetación y banco de esporas por sitio de muestreo en el área de estudio. Long. E: longitud Este. Lat. N: Latitud Norte. Alt.: Altitud en metros sobre el nivel del mar. Az., se refiere a la exposición geográfica dominante (azimut): N, norte; NE, noreste; E, Este; SE, sureste; S, sur; SW, suroeste; W, oeste; NW, noroeste. Pend., indica el tipo de pendiente: 1, casi llano; 2, suavemente inclinado; 3, inclinado; 4, moderadamente escarpado; 5, escarpado; 6, muy escarpado. M. O. es porcentaje de materia orgánica. Tex, textura: CRL, franco arcillo limosa; L, limosa; CLf, franco limosa fina; CR, franco arcillosa; CA, franco arenosa; R, arcillosa; RL, arcillo limosa; CRA, franco arcillo limosa; C, franca; RA, arcillo arenosa; A, arenosa. Rel., tipo de relieve: 1, cañada; 2, lomerío; 3, montañoso. Cob., Cobertura de vegetación en el área de estudio: 0, no hay vegetación; 1, casi ausente; 2, rala; 3, dispersa; 4, interrumpida; 5, densa; 6, continua. 1a., vegetación primaria: 1, bosque de encino; 2, bosque de encino-pino; 3, bosque de pino; 4, bosque de oyamel; 5, cedral; 6, pastizal. 2a., vegetación secundaria: 1, cultivos; 2, ruderal en suelos erosionados; 3, reforestación con eucaliptos; 4, ruderal en áreas incendiadas; 5, ruderal en terrenos deforestados. Esp., número de taxa de pteridofitas. Ind., número de individuos de pteridofitas.

Sitio	Long.E	Lat. N	Alt.	Az.	Pend.	pH	M. O.	Tex	Color	Rel.	Cob.	1a.	2a.	Esp.	Ind.
B1	326500	2157000	2920	S	6	4.99	7.98	CR	10YR4/2	3	6	1	0	5	50
B2	326500	2157250	2780	E	5	5.22	2.14	CRL	2.5Y5/3	3	4	1	2	1	14
B3	326500	2157500	2788	E	5	5.57	1.46	CA	10YR5/2	3	6	1	0	1	4
B4	326500	2157750	2850	E	1	5.77	1.01	L	10YR6/6	2	2	0	2	0	0
B5	326500	2158000	2821	S	1	6.67	0.79	R	10YR5/4	2	4	0	2	0	0
B5a	326500	2158000	2806	E	5	6.96	0.44	CRL	10YR5/4	2	2	0	2	2	3
B6	326500	2158250	2840	S	5	6.10	2.77	CRL	7.5YR6/2	3	5	1	0	4	42
B6a	326500	2158250	2835	S	6	6.53	6.75	CLf	10YR5/2	1	5	5	0	2	11
B6b	326500	2158250	2790	S	6	6.28	2.97	CRA	10YR5/3	1	3	1	0	4	10
B7	326500	2158500	2740	S	6	7.00	3.77	CRL	2.5Y5/3	1	3	5	1	1	0
B8	326500	2158750	2740	E	1	7.25	2.08	CRL	2.5Y3/3	2	2	0	1	1	2
C1	326750	2157000	3010	E	6	5.23	8.44	CR	10YR5/4	3	4	1	0	1	4
C2	326750	2157250	2950	E	1	5.15	8.08	CRL	2.5Y5/3	3	5	1	0	3	24
C3	326750	2157500	2870	E	5	5.06	7.37	CRL	10YR5/4	3	3	1	0	2	24
C4	326750	2157750	2860	SE	1	6.14	1.24	RL	2.5Y5/3	3	2	0	2	0	0
C5	326750	2158000	2850	SE	5	5.44	4.28	CRL	10YR5/4	3	6	1	0	2	8
C6	326750	2158250	2840	S	5	5.13	7.25	CR	2.5Y6/4	3	4	1	0	2	41
C6a	326750	2158250	2785	NW	5	5.76	5.36	CRL	10YR5/4	1	4	1	0	7	36
C7	326750	2158500	2770	E	1	6.84	5.88	CRA	10YR5/2	1	5	1	0	6	11
C7b	326750	2158500	2752	W	4	7.86	1.70	CR	2.5Y5/3	1	5	1	0	7	38
C8	326750	2158750	2760	E	4	7.07	1.01	CR	10YR2/2	2	1	0	1	1	1
D1	327000	2157000	2938	SE	4	6.26	2.35	CRL	10YR6/3	2	3	0	1	0	0
D2	327000	2157250	2950	W	4	6.36	1.37	CRL	2.5Y6/2	2	4	1	0	5	6
D3	327000	2157500	2923	S	5	4.89	10.64	CRA	2.5Y6/3	3	5	1	0	2	14
D4	327000	2157750	2876	S	6	5.51	3.68	CLf	10YR6/3	3	5	1	0	2	13
D5	327000	2158000	2850	S	6	5.38	5.12	CR	10YR4/2	3	5	1	0	4	77
D7	327000	2158500	2740	N	5	7.18	0.28	CR	10YR6/3	2	3	0	1	1	1
D7a	327000	2158500	2755	S	6	7.24	3.98	CRL	2.5Y5/3	1	5	1	0	3	11
D8	327000	2158750	2770	S	4	7.35	0.59	RA	2.5Y6/4	2	1	0	2	0	0
E1	327250	2157000	3010	W	4	6.23	1.98	CRL	2.5Y6/3	2	6	1	1	0	0
E2	327250	2157250	2922	S	1	5.75	4.64	CRL	10YR5/3	2	6	5	0	2	5
E2a	327250	2157250	2918	-	5	7.72	1.77	R	10YR6/3	1	5	5	0	8	50
E3	327250	2157500	2884	W	1	5.40	4.87	RA	10YR5/4	3	5	1	0	5	16
E4	327250	2157750	2876	S	5	5.14	2.97	CRL	10YR6/3	3	5	1	0	3	26
E5	327250	2158000	2860	E	1	5.28	8.26	CR	2.5Y5/2	3	3	1	2	3	65
E6	327250	2158250	2820	SE	5	5.95	3.79	RA	2.5Y5/3	3	4	1	0	3	9
E7	327250	2158500	2750	S	6	6.35	8.14	CRL	10YR5/2	2	5	1	1	1	3
E8	327250	2158750	2770	N	5	6.11	1.83	AC	10YR5/4	2	2	0	2	1	3
F1	327500	2157000	2925	E	6	6.32	1.14	CRA	2.5Y6/3	3	5	1	0	1	7
F2	327500	2157250	2920	SE	4	6.06	1.23	RA	2.5Y6/4	3	5	6	0	0	0
F3	327500	2157500	2960	SW	4	5.87	2.68	CRL	2.5Y5/3	3	4	3	1	1	1
F4	327500	2157750	2918	S	6	6.02	3.60	CLf	10YR4/2	3	5	1	0	4	66
F5	327500	2158000	2960	S	5	5.02	1.96	CRA	10YR7/6	3	5	1	0	2	32
F6	327500	2158250	2812	S	5	5.62	4.29	C	10YR5/4	3	5	1	0	3	25

Apéndice A. Continuación.

Sitio	Long.E	Lat. N	Alt.	Az.	Pend.	pH	M. O.	Tex	Color	Rel.	Cob.	1a.	2a.	Esp.	Ind.
F7	327500	2158500	2775	W	1	5.82	1.52	CRL	10YR5/2	1	4	0	1	2	2
F8	327500	2158750	2770	E	2	7.84	0.40	CA	10YR5/4	1	4	0	1	0	0
G1	327750	2157000	2920	W	6	6.77	1.14	CRL	10YR6/4	3	4	1	0	0	0
G5	327750	2158000	2806	S	6	4.71	10.79	CLf	10YR4/2	3	4	1	0	4	58
G6	327750	2158250	2750	S	6	4.97	7.83	CLf	10YR5/4	3	6	1	0	2	52
G7	327750	2158500	2750	N	5	7.70	0.70	CRL	10YR6/3	1	3	1	2	3	9
G8	327750	2158750	2780	E	1	7.50	0.31	CR	10YR5/4	2	1	0	2	0	0
H1	328000	2157000	2920	S	5	6.49	2.84	CRL	2.5Y6/3	2	2	0	1	0	0
H2	328000	2157250	2970	W	4	6.14	1.31	CRL	2.5Y6/3	2	3	0	1	0	0
H3	328000	2157500	3030	SW	4	5.21	1.63	CRL	10YR5/3	3	4	0	4	3	15
H4	328000	2157750	3020	S	6	5.26	1.81	CLf	10YR5/4	3	5	1	0	4	45
H5	328000	2158000	2771	S	6	5.15	5.17	CRL	10YR5/4	3	5	1	0	2	29
H6	328000	2158250	2750	S	5	6.04	2.56	CRL	10YR5/4	2	3	0	1	1	1
H7	328000	2158500	2750	NE	1	7.05	0.98	RL	10YR5/3	2	3	0	2	1	1
H8	328000	2158750	2730	NW	1	6.16	1.24	CRL	2.5Y6/2	2	4	0	3	7	26
I1	328250	2157000	2980	E	5	5.81	1.82	CRL	2.5Y6/3	2	6	0	1	1	4
I2	328250	2157250	2905	NE	5	6.24	2.79	CLf	2.5Y5/3	3	6	5	0	2	4
I3	328250	2157500	3040	-	1	5.75	2.76	CLf	2.5Y4/2	3	4	1	4	2	2
I4	328250	2157750	2790	S	1	6.09	2.28	CR	2.5Y5/3	2	3	0	5	4	31
I5	328250	2158000	2785	NW	1	6.10	0.47	C	2.5Y5/3	2	3	0	1	0	0
I6	328250	2158250	2760	NE	5	5.56	0.37	A	5Y7/1	2	2	1	0	1	1
I7	328250	2158500	2755	N	1	6.96	0.44	CRA	2.5Y6/3	1	1	0	2	2	2
I8	328250	2158750	2755	N	4	6.52	0.70	RL	10YR5/2	2	1	0	2	2	5
J1	328500	2157000	2945	NW	4	5.84	3.73	CRL	2.5Y5/3	2	4	0	1	0	0
J2	328500	2157250	2955	NE	4	5.41	2.56	CRL	2.5Y6/3	2	5	2	1	0	0
J2a	328500	2157250	2770	-	6	5.63	6.18	RL	2.5Y5/2	1	5	1	0	18	80
J3	328500	2157500	2797	SW	1	5.56	11.93	CRL	10YR3/2	3	4	2	0	4	29
J3a	328500	2157500	2720	NE	6	5.04	1.96	CRL	2.5Y6/4	1	5	1	0	14	62
J4	328500	2157750	2762	S	1	5.37	7.13	CLf	10YR5/2	2	2	0	1	0	0
J4a	328500	2157750	2770	S	6	6.73	2.65	RL	2.5Y5/3	1	5	1	0	15	64
J5	328500	2158000	2795	NE	6	5.63	6.31	CRL	2.5Y5/3	1	5	1	0	5	18
J6	328500	2158250	2802	E	5	5.48	3.85	CRL	10YR5/4	1	4	1	0	2	11
J7	328500	2158500	2798	S	5	5.98	1.92	CRL	10YR5/4	2	3	2	1	0	0
J8	328500	2158750	2775	N	6	5.95	2.20	CLf	2.5Y4/2	2	1	0	2	1	5
K1	328750	2157000	2805	W	1	5.94	3.28	C	2.5Y6/3	2	3	0	2	0	0
K2	328750	2157250	2803	N	1	5.89	2.41	CRL	2.5Y6/3	2	3	0	1	0	0
K3	328750	2157500	2799	-	1	5.68	4.59	CRL	2.5Y5/2	1	5	4	0	7	17
K4	328750	2157750	2789	N	6	5.76	5.95	CRL	2.5Y5/3	1	6	1	0	0	0
K5	328750	2158000	2830	N	4	6.18	3.35	CR	2.5Y5/3	3	3	0	1	0	0
K6	328750	2158250	2870	SE	5	6.33	1.61	R	2.5Y5/3	3	2	0	1	0	0
K7	328750	2158500	2875	S	5	6.09	1.55	CRL	2.5Y6/3	3	2	2	2	1	1
K8a	328750	2158750	2850	N	6	7.54	0.06	CRL	10YR6/6	2	0	0	2	0	0
K8b	328750	2158750	2850	N	6	7.65	1.12	R	10YR5/4	2	3	0	3	0	0

14	1	1	0	0	0	0	0	2	3	18	80
0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	4	29
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	14	62

Sitio	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	sp7	sp8	sp9	sp10	sp11	sp12	sp13	sp14	sp15	sp16	sp17	sp18
J4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J4a	3	19	1	0	6	0	0	2	0	2	1	2	1	19	2	0	2	0
J5	0	0	0	0	4	0	0	0	3	8	0	0	1	0	0	0	0	0
J6	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0
J7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J8	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K3	1	5	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
K4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K8a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K8b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total																		
Sitio	7	11	1	1	18	1	20	4	45	43	3	2	6	18	3	1	10	9
Indiv.	11	22	1	2	94	2	63	8	244	655	3	3	8	161	7	2	17	13

Apéndice B. Continuación.

sp19	sp20	sp21	sp22	sp23	sp24	sp25	sp26	sp27	No. especies	No. individuos
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	2	1	15	64
0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	7	17
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	12	1	5	1	1	3	5		
17	3	31	1	25	2	2	6	9		1494

Apéndice C. Banco de esporas.

Muestra	Número de Gametofitos	Número de Esporofitos	Germinación 35 días	Gametofitos 155 días	Apogamia 65 días	Esporofito 155 días	Esporofito 300 días	Propagación vegetativa	Gametofito neutro
A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	8	3	4	8	0	3	0	0	0
A3	9	0	3	9	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A5	4	0	0	4	0	0	0	0	0
A6	37	24	41	37	0	24	0	0	0
A6a	27	2	5	27	0	2	0	0	0
A7	2	1	3	2	1	1	1	0	0
A8	206	56	79	206	0	56	0	0	0
B1	1	1	5	1	0	1	0	0	0
B2	30	6	33	30	0	6	0	0	0
B3	11	7	7	11	0	7	0	0	0
B4	1	0	1	1	0	0	0	0	0
B5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B5a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B6	50	21	0	50	1	21	1	0	0
B6a	112	45	60	112	0	45	1	0	0
B6b	2	2	7	2	0	2	1	0	0
B7	13	6	15	13	0	6	1	0	0
B8	221	29	218	221	0	29	0	0	0
C1	19	7	11	19	0	7	0	0	0
C2	16	4	8	16	0	4	0	0	0
C3	13	4	12	13	0	4	0	0	0
C4	2	0	0	2	0	0	0	0	0
C5	17	6	17	17	0	6	0	0	0
C6	60	12	12	60	0	12	1	0	0
C6a	17	6	9	17	0	6	0	0	0
C7	6	1	11	6	0	1	1	0	0
C7b	1	0	0	1	0	0	0	0	0
C8	20	12	11	20	0	12	0	0	0

Estrategias reproductivas observadas en cada muestra de suelo. El número de gametofitos y número de esporofitos se refiere al número registrado a los 170 días después de la siembra. El

número de gametofitos incluye: neutros, con gametangios y con las primeras hojas del esporofito. El número de eporofitos incluye: los que aun están unidos al gametofito, los de origen sexual, y los apogámicos. Los esporofitos de 300 días son de talla mayor a 20 cm.

Muestra	Número de Gametofitos	Número de Esporofitos	Germinación 35 días	Gametofitos 155días	Apogamia 65 días	Esporofito 155 días	Esporofito 300 días	Propagación vegetativa	Gametofito neutro
D1	12	2	4	12	0	2	1	0	0
D2	13	4	8	13	0	4	0	0	0
D3	15	4	8	15	0	4	0	2	2
D4	7	1	3	7	0	1	0	0	0
D5	43	4	32	43	0	4	0	0	0
D6	42	19	69	42	0	19	1	0	0
D7	50	25	34	50	0	25	1	0	0
D7a	11	1	0	11	0	1	0	0	0
D8	3	0	1	3	0	0	0	0	1
E1	6	1	8	6	0	1	0	0	0
E2	16	8	12	12	0	0	1	0	0
E2a	1	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	20	6	11	20	0	6	1	0	0
E4	55	9	38	55	0	9	0	0	0
E5	72	19	126	72	0	19	0	0	0
E6	39	20	42	39	0	20	0	0	0
E7	14	6	18	14	0	6	0	0	0
E8	111	65	74	111	0	65	1	0	0
F1	3	1	4	3	0	1	0	0	0
F2	16	1	15	16	0	1	0	0	0
F3	9	2	0	9	0	2	0	0	0
F4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F6	48	26	65	48	0	26	0	0	0
F7	19	5	10	19	0	5	0	2	1
F8	4	2	5	4	0	2	0	0	0
G1	2	0	0	2	0	0	0	0	0
G2	26	10	14	26	0	10	1	0	0
G3	8	4	12	8	0	4	0	0	0
G4	7	3	17	7	0	3	0	0	4
G5	34	6	45	34	0	6	0	0	0
G6	98	8	45	98	0	8	1	0	0
G7	100	90	103	100	2	90	0	0	0
G8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H1	8	2	9	8	0	2	0	0	0
H2	6	3	18	6	0	3	0	0	0
H3	1	0	0	1	0	0	0	0	5

H4	61	4	10	61	0	4	0	0	0
H5	13	5	14	13	0	5	0	0	0
H6	57	28	49	57	0	28	1	0	0

Apéndice C. Continuación.

Muestra	Número de	Número de	Germinación	Gametofitos	Apogamia	Esporofito	Esporofito	Propagación	Gametofito
	Gametofitos	Esporofitos	35 días	155días	65 días	155 días	300 días	vegetativa	neutro
H7	32	1	10	32	0	1	0	0	0
H8	100	95	83	100	2	95	0	0	0
I1	7	0	7	7	0	0	0	0	0
I2	13	8	11	13	0	8	1	0	0
I3	1	0	0	1	0	0	0	1	0
I4	105	70	114	105	0	70	0	0	0
I5	71	53	94	71	5	53	0	0	0
I6	14	12	6	14	0	12	1	0	0
I7	46	5	15	46	0	5	0	0	0
I8	20	7	4	20	0	7	0	0	0
J1	11	2	16	11	1	2	0	0	0
J2	4	4	3	4	0	4	1	0	0
J2a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J3	40	15	7	40	5	15	1	0	0
J3a	30	28	30	30	0	18	0	0	0
J4	2	2	7	2	0	2	1	0	0
J4a	6	0	9	6	0	0	0	0	0
J5	240	130	144	240	0	130	0	0	0
J6	22	4	20	22	0	4	0	0	0
J7	11	7	11	11	1	7	0	0	0
J8	167	155	214	167	0	155	0	0	0
K1	7	2	13	7	0	2	1	0	0
K2	7	4	4	7	0	4	0	0	0
K3	5	3	27	5	0	3	0	0	0
K4	23	5	9	23	0	5	0	0	0
K5	13	6	17	13	0	6	0	0	5
K6	4	3	2	4	0	3	0	0	0
K7	20	7	14	20	0	7	0	0	0
K8a	51	10	9	51	0	10	1	0	0
K8b	14	5	5	14	0	5	0	0	0
Total individuos		1494	2400	3043	18	1282	23	5	18

Apéndice C. Continuación.

Apéndice D. Dimensiones de esporas.

Taxa	Colector y Número de colecta	Tipo de espora	Promedio largo x ancho	Mínimo largo x ancho	Máximo largo x ancho	Desviación Estandar largo x ancho
<i>Adiantum poiretii</i>	LRR-86	Trilete	42.9x40.5	37.5x37.5	50.0x45	3.6x2.7
<i>Argyrosma incana</i>	LRR-94	Trilete cristado	55.5x52.5	50.0x45.0	62.5x57.5	3.3x3.1
<i>Asplenium commutatum</i>	LRR-100	Monolete con perina	54.7x41.1	50.0x37.5	60x47.5	3.3x3.1
<i>Asplenium monanthes</i>	LRR-88, 102, 103, 104, 106	monolete con perina	48x37.1	37.5x27.5	60.0x50.0	5.5x4.6
<i>Cheilanthes bonariensis</i>	LRR-91	Trilete	66.3x62.5	52.5x50.0	75.0x75.0	6.4x5.7
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	LRR-97, 109	Trilete irregular en forma y tamaño	67.9x65.1	50.0x50.0	100.0x95.0	10.1x9.8
<i>Cheilanthes lendigera</i>	LRR-85, 87, 89	Trilete	63.2x61.8	52.5x52.5	75.0x72.5	4.2x4.3
<i>Cheilanthes lerstenii</i>	LRR-90	Trilete con super- ficie cristada	75.4x73.8	65.0x65.0	85.0x85.0	5.6x5.6
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	LRR-92	Trilete	64.8x62	62.5x57.5	75.0x67.5	3.0x2.4
<i>Cystopteris fragilis</i>	LRR-105, 108	Monolete rugoso algunas hialinas	49.6x35.2	37.5x27.5	65.0x47.5	6.6x3.9
<i>Pellaea cordifolia</i>	LRR-93, 95	Trilete con super- ficie rugosa	48.3x45.2	40.0x37.5	57.5x50.0	3.5x3.7
<i>Pellaea ternifolia</i>	LRR-98	Trilete baja densidad	66.0x66.0	62.5x62.5	77.5x72.5	6.5x3.8
<i>Phanerophlebia nobilis</i>	LRR-101	Monolete con perina	34.7x28.2	22.5x22.5	50.0x22.5	7.9x4.7
<i>Pleopeltis mexicana</i>	LRR-111	Monolete, algunas hialinas	48.2x31.8	35.0x25.0	60.0x35.0	6.9x3.5
<i>Pteris cretica</i>	LRR- 110	Trilete rugoso algunas deformes	47.2x40	37.5x35.0	57.5x45.0	5.7x2.7
<i>Thelypteris linkiana</i>	LRR-99	Monolete equinado	36.9x24.4	30.0x20.0	42.5x27.5	4.3x2.4
<i>Woodsia mollis</i>	LRR-96	Monolete	53.2x39.6	42.5x32.5	62.5x45.0	5.3x3.6

Características y dimensiones en micras de esporas colectadas en el área de estudio.

Nota: LRR, Lucía Rodríguez Romero. Las mediciones se hicieron en 25 esporas a excepción de *A. monanthes* (24), *C. fragilis* (24), *P. Ternifolia* (5) y *T. linkiana* (12) por baja densidad.

Apéndice E. Cultivo de esporas de taxa colectados en el área de estudio.

Taxa	14 días	23 días	60 días	100 días
<i>Adiantum poiretii</i>	50% de germinación Filamento de 3 células	Inicia fase bidimensional prótalo de 10-14 células	Fase laminar contaminado	Contaminado
<i>Argyrosma incana</i>	70% de germinación Filamento de 3-6 células	Inicia fase bidimensional prótalo de 8-20 células	Fase laminar contaminado	Contaminado
<i>Asplenium commutatum</i>	No germinó	No germinó	No germinó	Contaminado
<i>Asplenium monanthes</i>	20% germinación prótalo hialino (una célula)	Filamento hialino prótalo de 3 células	Filamento hialino	Contaminado
<i>Cheilanthes bonariensis</i>	90% germinación Filamento de 35-40 células	2-3 ramificaciones inicia fase bidimensional	Gametofito adulto neutro	Primera hoja del esporofito apogámico
<i>Cheilanthes hirsuta</i>	40% germinación Filamento de 10-14 células	Fase laminar vegetativa	Gametofito adulto neutro	Contaminado
<i>Cheilanthes lendigera</i>	60% germinación Filamento de 60-70 células	Las ramificaciones se unen formando la fase laminar	Fase laminar contaminado	anteridios y esporofitos apogámicos
<i>Cheilanthes lerstenii</i>	90% germinación Fase bidimensional	Fase laminar vegetativa	Gametofito adulto neutro	Arquegonios y anteridios, esporofitos
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	70% germinación Fase bidimensional muy ramificada (70-80 células)	Fase laminar vegetativa	Gametofito adulto neutro	Anteridios y esporofitos apogámicos
<i>Cystopteris fragilis</i>	No germinó	50% germinación 1-3 células protálicas hialinas	1-3 células hialinas contaminado	Contaminado
<i>Pellaea cordifolia</i>	55% germinación Filamento de 6-8 células	Muy ramificada Inicia fase bidimensional	Fase laminar contaminado	Contaminado
<i>Pellaea ternifolia</i>	10% germinación Filamento de 6-10 células	Muy ramificada Inicia fase bidimensional	Fase laminar contaminado	Contaminado
<i>Phanerophlebia nobilis</i>	No germinó	10% de germinación Filamentos de 2-4 células	Filamentos contaminado	Contaminado
<i>Pleopeltis mexicana</i>	10% germinación 2-3 células protálicas	Filamento de 3-7 células	Filamentos contaminado	Contaminado
<i>Pteris cretica</i>	50% germinación Filamento 7-10 células hialinas	Inicia fase bidimensional 12-24 células hialinas	Filamento contaminado	Contaminado

<i>Thelypteris linkiana</i>	No germinó	20% de germinación Filamento de 8-13 células	Filamentos contaminada	Contaminado
<i>Woodsia mollis</i>	No germinó	5% de germinación 1-2 células protálicas hialinas	1-2 células hialinas contaminado	Contaminado

Apéndice F. Índice de diversidad con base en la abundancia de especies de pteridofitas.

Muestra	Grupo	Índice de Simpson	Equidad	Número de especies
A1	1	0.000	0.000	1
A6	2	0.000	0.000	1
A6a	1	0.444	0.889	2
A8	2	0.722	0.843	7
B1	3	0.707	0.884	5
B2	1	0.000	0.000	1
B3	2	0.000	0.000	1
B5a	2	0.444	0.889	2
B6	4	0.295	0.393	4
B6a	1	0.298	0.595	2
B6b	2	0.700	0.933	4
B7	2	0.000	0.000	1
B8	2	0.000	0.000	1
C1	2	0.000	0.000	1
C2	1	0.486	0.729	3
C3	1	0.469	0.938	2
C5	2	0.375	0.750	2
C6	4	0.343	0.685	2
C6a	5	0.731	0.853	7
C7	2	0.777	0.932	6
C7b	5	0.634	0.740	7
C8	2	0.000	0.000	1
D2	2	0.778	0.972	5
D3	1	0.408	0.816	2
D4	1	0.497	0.994	2
D5	4	0.547	0.730	4
D6	4	0.456	0.547	6
D7	2	0.000	0.000	1
D7a	2	0.430	0.645	3
E2	2	0.480	0.960	2
E2a	5	0.439	0.502	8
E3	1	0.742	0.928	5

Se señala el índice de diversidad así como la equidad y número de especies de pteridofitas presentes en cada unidad de muestreo. De igual manera se indica el grupo que corresponde a cada sitio, de acuerdo al arreglo de cinco grupos obtenidos con base en la abundancia.

Muestra	Grupo	Índice de Simpson	Equidad	Número de especies
E4	3	0.521	0.781	3
E5	4	0.314	0.471	3
E6	2	0.593	0.889	3
E7	2	0.000	0.000	1
E8	2	0.000	0.000	1
F7	2	0.500	1	2
G3	1	0.133	0.265	2
G4	3	0.412	0.824	2
G5	4	0.470	0.627	4
G6	4	0.440	0.880	2
G7	2	0.642	0.963	3
H3	1	0.551	0.827	3
H4	4	0.305	0.407	4
H5	3	0.366	0.732	2
H6	2	0.000	0.000	1
H7	2	0.000	0.000	1
H8	2	0.630	0.735	7
I1	2	0.000	0.000	1
I2	2	0.375	0.750	2
I3	2	0.500	1	2
I4	3	0.541	0.721	4
I6	2	0.000	0.000	1
I7	2	0.500	1	2
I8	2	0.480	0.960	2
J2a	5	0.874	0.925	18
J3	3	0.492	0.656	4
J3a	5	0.863	0.929	14
J4a	5	0.806	0.863	15
J5	1	0.710	0.887	5
J6	1	0.496	0.992	2
J8	2	0.000	0.000	1
K3	2	0.761	0.888	7
K7	2	0.000	0.000	1

Apéndice F. Continuación.

Apéndice G. Índice de diversidad con base en la presencia de especies de pteridofitas.

Muestra	Grupo	Índice de Simpson	Equidad	Número de especies
A1	1	0.000	0	1
A6	1	0.000	0	1
A6a	2	0.500	1	2
A8	2	0.857	1	7
B1	3	0.800	1	5
B2	1	0.000	0	1
B3	1	0.000	0	1
B5a	2	0.500	1	2
B6	2	0.750	1	4
B6a	1	0.500	1	2
B6b	2	0.750	1	4
B7	1	0.000	0	1
B8	1	0.000	0	1
C1	1	0.000	0	1
C2	2	0.667	1	3
C3	2	0.500	1	2
C5	2	0.500	1	2
C6	2	0.500	1	2
C6a	3	0.857	1	7
C7	1	0.833	1	6
C7b	3	0.857	1	7
C8	1	0.000	0	1
D2	2	0.800	1	5
D3	2	0.500	1	2
D4	2	0.500	1	2
D5	3	0.750	1	4
D6	2	0.833	1	6
D7	1	0.000	0	1
D7a	3	0.667	1	3
E2	2	0.500	1	2
E2a	3	0.875	1	8
E3	2	0.800	1	5

Se señala el índice de diversidad así como la equidad y número de especies de pteridofitas presentes en cada unidad de muestreo. De igual manera se indica el grupo que corresponde a cada sitio, de acuerdo al arreglo de cuatro grupos obtenidos con base en la presencia- ausencia.

Muestra	Grupo	Índice de Simpson	Equidad	Número de especies
E5	2	0.667	1	3
E6	2	0.667	1	3
E7	1	0.000	0	1
E8	1	0.000	0	1
F1	3	0.000	0	1
F3	1	0.000	0	1
F4	3	0.750	1	4
F5	2	0.500	1	2
F6	2	0.667	1	3
F7	2	0.500	1	2
G3	2	0.500	1	2
G4	2	0.500	1	2
G5	2	0.750	1	4
G6	2	0.500	1	2
G7	2	0.667	1	3
H3	2	0.667	1	3
H4	2	0.750	1	4
H5	2	0.500	1	2
H6	2	0.000	0	1
H7	1	0.000	0	1
H8	2	0.857	1	7
I1	3	0.000	0	1
I2	3	0.500	1	2
I3	1	0.500	1	2
I4	2	0.750	1	4
I6	1	0.000	0	1
I7	1	0.500	1	2
I8	1	0.500	1	2
J2a	4	0.944	1	18
J3	2	0.750	1	4
J3a	4	0.929	1	14
J4a	4	0.933	1	15
J5	2	0.800	1	5
J6	2	0.500	1	2
J8	1	0.000	0	1
K3	3	0.857	1	7
K7	1	0.000	0	1