

Helechos invasores y sucesión secundaria post-fuego

La introducción de especies invasoras, junto con la pérdida del hábitat, es una de las mayores amenazas para la biodiversidad. Se establecen fuera de su área de distribución normal y actúan como agentes de cambio, provocando la pérdida irrecuperable de especies y la degradación de los ecosistemas nativos. Normalmente, las invasiones biológicas se producen después de la presencia de disturbios, los cuales son parte de la dinámica de los ecosistemas; sin embargo, las actividades humanas modifican los regímenes de disturbio provocando importantes alteraciones en el sistema —por ejemplo, en la disponibilidad de recursos— y, frecuentemente, incrementando las oportunidades para la invasión por especies exóticas. El cambio de uso del suelo ha exacerbado los efectos negativos de las especies invasoras, al crear hábitats favorables para su establecimiento e invasión temporal o permanentemente en los ecosistemas nativos.

Después de perturbaciones antropogénicas de intensidad moderada, los bosques tropicales pueden recuperarse, pero si los disturbios son severos, como la compactación y pérdida de suelo o los incendios forestales de

gran intensidad, producen condiciones que dificultan la regeneración de la vegetación y detienen los procesos de sucesión. Esos sitios suelen estar dominados por especies invasoras, como pastos y helechos, que compiten con las nativas por la humedad del suelo, los nutrientes y la luz; en ocasiones, pueden excluirlas. El resultado es la formación de extensos tapetes monoespecíficos o comunidades empobrecidas desde el punto de vista florístico, las cuales ofrecen muy pocos recursos y atraen un limitado número de dispersores de semillas, lo que aumenta los obstáculos para el reestablecimiento de la flora nativa.

La península de Yucatán es una zona que desde tiempos prehistóricos está sujeta a todo tipo de disturbios, tanto naturales como humanos. La actual vegetación del área es el resultado de esa larga historia. Habitada desde hace más de 10 000 años, sustentó el desarrollo de la civilización maya y estuvo densamente poblada en el Periodo Clásico —entre los años 300 y 900 de nuestra era. Durante siglos, la península yucateca fue el escenario de diversas actividades económicas que promovieron un cambio sustancial en el uso del suelo. Por ejemplo, el sis-

tema de roza, tumba y quema practicado por los mayas para preparar los suelos destinados a la agricultura, sufrió fuertes modificaciones durante las últimas décadas, principalmente por la reducción de los periodos de descanso de la tierra, los cuales pasaron de entre quince y veinte años a tan sólo de tres a cinco. Esto ocasionó que la recuperación de la fertilidad no fuera completamente adecuada y que disminuyeran las escasas áreas de vegetación en etapas de sucesión avanzada. Al requerirse más superficie incorporada al sistema, se produjo un aumento en los índices de deforestación y en los incendios forestales. Desde 1890 hasta finales de la segunda guerra mundial, la extracción del chicle representó una importante actividad económica para la Península. Con la estrepitosa caída de la demanda de este producto, la industria maderera se convirtió en la principal actividad forestal de la región. Mientras que el cultivo de caña de azúcar, primero, y el de henequén después, propiciaron una gran transformación en el uso del suelo. A mediados de los años setentas, ante el fracaso del cultivo de henequén, se abandonaron extensas áreas que ahora están en diversas etapas de regeneración.



Esta ocupación continua tuvo un fuerte impacto en la vegetación de la península. Sin embargo, la mayor afectación ocurrió en los últimos veinte años, periodo en que el área fue impactada por el huracán Gilberto, en 1988 y por dos grandes incendios forestales, en 1989 y 1995, cuyos orígenes pueden atribuirse a las interacciones sinérgicas de las fluctuaciones climáticas y las actividades humanas.

En las zonas tropicales, los incendios tienen una estrecha relación con la presencia de huracanes, los cuales, cuando pasan, derriban una gran cantidad de árboles y producen la defoliación y el resquebrajamiento de las copas. Con el tiempo, eso convierte en material combustible y al combinarse, por un lado, con la presencia de condiciones meteorológicas adversas, como sequía y fuertes vientos, y por el otro, con el amplio uso del fuego para actividades agropecuarias durante la temporada seca, se incrementa la probabilidad de que ocurran incen-

dios forestales de considerable magnitud. En 2002, según el informe sobre la Situación del Medio Ambiente en México de SEMARNAT, las actividades agropecuarias fueron responsables de 46% de los incendios forestales en México.

En las últimas décadas, la frecuencia, escala e intensidad de los incendios han aumentado. Esta espiral ascendente de mayor biomasa quemándose en el trópico puede tener múltiples y severos impactos sobre la diversidad y las funciones ecológicas de los bosques. Entre los más preocupantes, la invasión de una flora oportunista, conformada principalmente por especies secundarias resistentes al fuego como las del género *Pteridium*, que además de crecer abundantemente después de quemas recurrentes, favorecen la ocurrencia de incendios por la gran cantidad de hojarasca que generan y por su alta flamabilidad, originando un círculo vicioso que podría continuar indefinidamente si se si-

gue utilizando el fuego de manera incontrolada.

El género *Pteridium*

Las especies de este género están consideradas entre las plantas invasoras más exitosas del mundo, se encuentran en los cinco continentes, tanto en zonas templadas como tropicales y desde el nivel del mar hasta altitudes que superan 3 000 metros. Afectan profundamente los ecosistemas intervenidos por la actividad humana y son especialmente propensas a invadir sitios talados, campos de cultivo, pastizales inducidos, parcelas abandonadas y, sobre todo, áreas afectadas por incendios.

En México crecen tres especies de *Pteridium*, todas ampliamente distribuidas en el país: *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, con tres variedades, var. *latiusculum* (Desv.) Underw. ex Heller; var. *pubescens* Underw. y var. *feei* (W. Shaffn. ex Fée) Maxon ex Yunck.; *P. arachnoi-*

deum (Kaulf.) Maxon y *P. caudatum* (L.) Maxon, la última se encuentra en la península de Yucatán.

La invasión de *Pteridium* representa un serio problema para la conservación y para los productores y administradores de recursos, pues retrasa la recuperación de la estructura y composición de los bosques y obstaculiza o, en el peor de los casos, imposibilita las labores agrícolas y forestales al obligar a los campesinos a abandonar sus tierras por la fuerte inversión inicial en mano de obra que requiere el abatimiento de la población de helechos, cuyos rizomas —tallos subterráneos— forman una densa red bajo el suelo que es extremadamente difícil de remover en su totalidad y prácticamente inmune a los herbicidas.

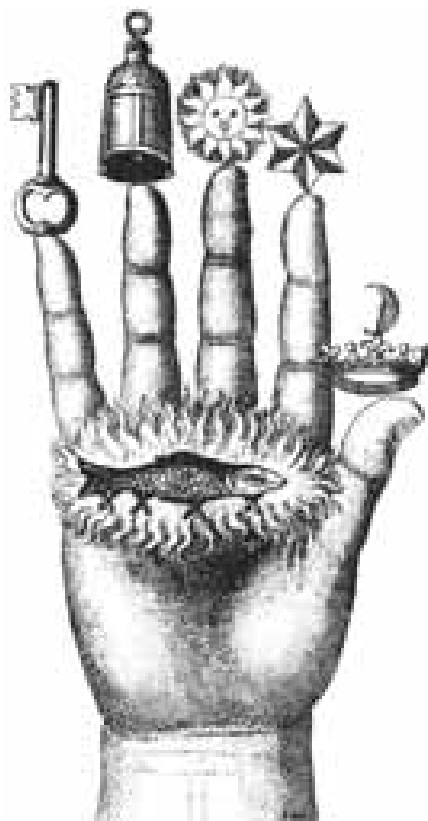
Desafortunadamente, no se trata sólo de una maleza que crece profusamente, ahogando pastos y cultivos, también es una amenaza para los humanos, en la medida en que afecta su salud y la sus animales de cría. Al ser ingerido por el ganado produce afec-

ciones graves como avitaminosis, parálisis mecánica, padecimientos hematológicos, ceguera permanente, hemorragias internas y cáncer. Existen crecientes evidencias de que algunos de sus efectos pueden transmitirse al ser humano por medio de la leche de animales expuestos al helecho. Se ha demostrado que la leche contiene un carcinógeno denominado ptaquilósido en cantidad suficiente para ser el causante o coadyuvante del muy alto índice de cáncer gástrico observado en algunas regiones de Venezuela y de Costa Rica, donde este helecho invade los potreros de producción láctea. En Gales, al oeste de Inglaterra, donde abundan las poblaciones de *Pteridium*, se ha observado una inusual incidencia de cáncer entre la población humana. Se han adelantado varias hipótesis, incluyendo la contaminación del agua de pozos por exudados de las raíces y rizomas del helecho, y la invasión de sus esporas en los acueductos de superficie, pero no se ha demostrado claramente ninguna relación. También

en Japón, país en donde no sólo abundan los *Pteridium* sino que se comen los brotes tiernos como una delicadeza en ensaladas, se observa un índice muy elevado de cáncer gástrico y esofágico en relación con otros tipos de cáncer humano.

¿Qué los hace tan exitosos?

El gran potencial competitivo de este helecho resulta de su amplia tolerancia al estrés y las perturbaciones ambientales, aspectos que responden, en gran medida, al producto de una exitosa combinación de características morfológicas y fisiológicas, entre las que destacan: 1) un sistema de rizomas o tallos subterráneos muy largo y longevo que se ramifica indefinidamente, confiriéndole una gran capacidad de invasión. Adicionalmente, estos órganos almacenan carbohidratos que pueden moverse rápidamente hacia las hojas y son los responsables de la abundante propagación vegetativa, por el gran número de yemas en estado latente que portan. Cada una, potencialmente puede formar nuevas hojas, especialmente después de quemas recurrentes; 2) una efectiva actividad alelopática y antidepredadora, resultante de la posesión de un amplio y poderoso arsenal químico de metabolitos secundarios, entre los que destacan las ecdisonas —un tipo de hormonas que promueven la muda o ecdisis en los insectos—, los sesquiterpenos, taninos, glucósidos cianogénicos, flavonoides y tiaminasa —una enzima que descompone la tiamina o vitamina B₁; 3) un alto potencial reproductivo, cada planta produce cientos de millones de esporas microscópicas, transportadas grandes distancias por el viento, las cuales permanecen viables, es decir, capaces de germinar



en la siguiente etapa favorable, después de la dispersión; y 4) un fenotipo —estructura o arquitectura— que le confiere ventajas sobre otras plantas, como por ejemplo su tamaño, que en ocasiones supera tres metros de altura, además de que poseen tallos rígidos y hojas muy grandes —de entre 1.5 y 3 metros—, amplias y sobrepuestas que privan de luz solar a las plantas subyacentes, debilitándolas o matándolas, al tiempo que impiden el establecimiento de otras especies colonizadoras.

Todo ello hace de *Pteridium* una planta extremadamente competitiva, muy hábil para sobrevivir, sumamente prolífica y con una amplia plasticidad morfológica y fisiológica en su rango de distribución, características que la convierten en una de las malezas más difíciles de combatir por métodos mecánicos, biológicos e incluso químicos.

Invasión de *Pteridium* en Yucatán

Se desconoce si *Pteridium* constituyó un obstáculo para la agricultura y los

sistemas de producción de los antiguos mayas y, más aún, si éstos realizaron algún tipo de control o manejo de dicha maleza. El registro fósil muestra una relación inversa entre la cantidad de esporas del helecho y los granos de polen de maíz en las tierras bajas de la región, lo cual probablemente indica que la abundancia de *Pteridium* estuvo restringida por la práctica de una agricultura intensiva. Sin embargo, esta misma línea de evidencia pone de manifiesto un incremento de las esporas de *Pteridium* hacia finales del Clásico Tardío, período en el que sobrevino el colapso de la civilización maya y la subsecuente desocupación masiva de esa zona.

Existen varias interpretaciones de las causas de la invasión de este helecho en la península de Yucatán. Una teoría propone que este fenómeno está relacionado con el uso, en el largo plazo, de técnicas tradicionales de cultivo —por ejemplo, la agricultura itinerante de roza, tumba y quema combinada con reducidos ciclos de reposo—; otro punto de vista considera que las quemaduras que se escapan del control

de los campesinos, y que se propagan en extensas áreas del paisaje, son las responsables de la existencia de manchones continuos de *Pteridium*. Una tercera teoría incorpora ambos aspectos y sugiere que la invasión de este helecho es un proceso complejo, donde están involucrados degradación ambiental, estrategias de uso del suelo y regímenes de fuego.

Independientemente de las causas que originan o facilitan la expansión de esta pteridofita en el sureste mexicano, es un hecho que el problema va en aumento. Un estudio realizado en la región de Calakmul, al sur de la península, mostró que entre 1987 y 2001 se incrementó significativamente la densidad de *Pteridium*, tanto en el área protegida de la Reserva de la Biósfera, como en las tierras ejidales y privadas. Entre 1987 y 1997, el área invadida se cuadruplicó pasando de 19 a 92 kilómetros cuadrados. En esta zona, la distribución de *Pteridium* se caracteriza por una baja densidad poblacional en ejidos donde se realiza el cultivo intensivo de la milpa combinado con la producción comercial de chile en baja escala, mientras que las densidades más altas del helecho están asociadas con los ejidos de mayor antigüedad y extensión, donde predominan los proyectos agrícolas o ganaderos de gran escala.

El mecanismo de invasión de *Pteridium* en comunidades sucesionales tempranas puede desarrollarse por dos vías: partiendo de esporas provenientes de la lluvia de propágulos —parte de una planta capaz de originar otro individuo—, siguiendo la vía sexual, también llamada gametofítica, o mediante la expansión lateral de rizomas de individuos localizados en áreas adyacentes previamente invadidas. Se asume que la mayor parte de las in-



vasiones ocurren, principalmente, por el último mecanismo.

¿Por qué lo beneficia el fuego?

Pteridium se considera bien adaptado al fuego en su rango de distribución. En los trópicos, muchos bosques son aclareados, usando el sistema de roza, tumba y quema. El material vegetal acumulado se deja secar y se quema justo antes del advenimiento de las primeras lluvias de verano. Consecuentemente, cuando la estación lluviosa comienza las condiciones existentes después del fuego son muy próximas a las ideales para la germinación de las esporas y el establecimiento de los jóvenes esporofitos o plántulas. El fuego crea un sustrato estéril, rico en nutrientes y alcalino, lo cual favorece el desarrollo de los gametofitos —fase del ciclo vital de las plantas en la que se producen los gametos—, remueve temporalmente a los competidores y reduce la diversidad microbótica; *Pteridium* rápidamente toma ventaja de estas condiciones y sus esporofitos pueden establecerse en un periodo muy corto, incluso en áreas donde no existía previamente. Por otro lado, la remoción y quema de la cobertura vegetal altera significativamente el microclima del suelo del bosque e incrementa la mineralización de la materia orgánica, resultando en una mayor disponibilidad de nutrientes para *Pteridium* y otras especies herbáceas.

La principal adaptación de las especies de *Pteridium* al fuego es el sistema de rizomas subterráneos que se encuentran usualmente a una profundidad de entre 10 y 50 centímetros; así permanecen aislados de las temperaturas letales producidas por un incendio en el horizonte mineral del suelo.



Algunos estudios indican que en sitios incendiados *Pteridium* crece abundantemente partiendo de las yemas vegetativas del rizoma, las cuales producen hojas rápidamente, incluso antes de que los competidores se establezcan, confiriéndole ventaja en la subsecuente competencia ecológica.

Por otro lado, las evidencias disponibles parecen indicar consistentemente que el establecimiento de *Pteridium*, partiendo de esporas, es un evento muy raro en situaciones naturales, pero en una gran variedad de hábitats intervenidos por los humanos, especialmente aquellos creados por la remoción y quema de la cobertura vegetal, la colonización vía esporas puede ser rápida y efectiva. Se sospecha que incluso la presencia de fuego podría ser un requerimiento para la germinación de las esporas. Una vez removida la competencia natural, estas plantas pueden completar su ciclo

de vida exitosamente. Bajo esas condiciones cada espora que germine podría producir una invasión rápida en dos años.

En los trópicos, donde las condiciones de temperatura y humedad son bastante estables, es probable que la liberación de esporas ocurra durante gran parte del año, por lo que una fuente constante de esporas estaría disponible para cualquier área potencialmente habitable. Las oportunidades para el establecimiento de *Pteridium* podrían incrementarse considerablemente si el suelo contuviera un reservorio de esporas viables con el potencial para germinar en cualquier época del año. La probabilidad de que *Pteridium* colonice nuevas áreas vía esporas tiene implicaciones importantes para el control de su establecimiento en sitios nuevos y para su reestablecimiento en áreas donde existía previamente. Más aún, la amplia existencia de ban-

cos de esporas de *Pteridium* podría significar que las actividades diseñadas para erradicar este helecho promueven la colonización por nuevos individuos, al crear numerosas oportunidades para la germinación de las esporas y el establecimiento de los gametofitos después de cualquier forma de disturbio en el suelo, lo que promueve la renovación de la población y de su acervo genético.

¿Que se hace en México?

Evidentemente la expansión de este helecho no es un problema exclusivo del sureste mexicano; su presencia en casi todo el planeta lo convierte en un problema de carácter global y en un tópico de investigación fundamental para muchos países.

Si bien es cierto que se ha estudiado intensamente la ecología de este helecho en las zonas templadas, las investigaciones en los trópicos son escasas y algunos aspectos importantes, como la respuesta ecológica al fuego

y su dinámica en áreas incendiadas, se han explorado poco en los trópicos americanos y prácticamente nada en México.

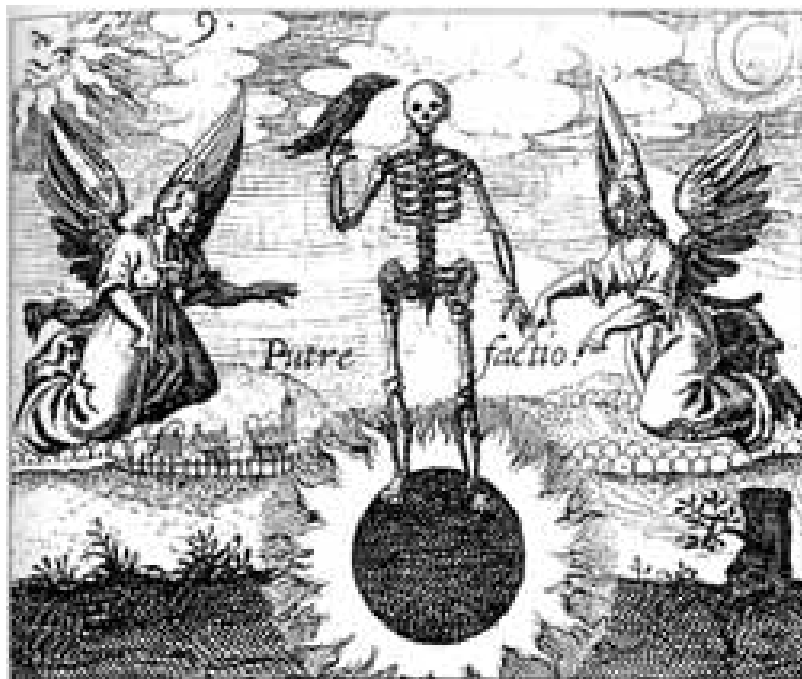
En el país, recientemente se están realizando importantes esfuerzos para entender la biología de este helecho. Por ejemplo, en 1988 Suazo publicó un estudio sobre aspectos ecológicos de esta invasora en una selva húmeda de la región de Chajul, Chiapas. En Calakmul, al sur de la península de Yucatana, Schneider evaluó en 2004 la distribución de *Pteridium* en relación con el uso del suelo. Desde ese año, en la región de la Chinantla, Edouard y sus colaboradores dirigen un programa experimental de restauración de áreas invadidas por *P. aquilinum*.

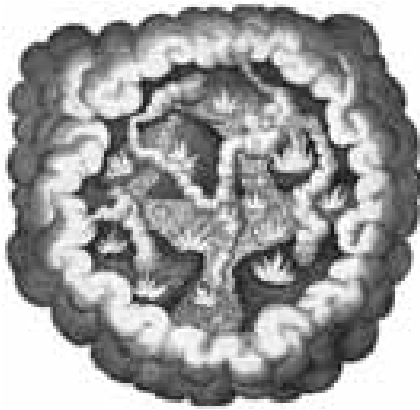
Motivados por la fascinante biología de este helecho, y por la necesidad impostergable de lograr una mejor comprensión de los factores que promueven su establecimiento, persistencia y distribución en el trópico mexicano, el grupo de Biología de pteridofitas de la Universidad Autónoma Metropol-

itana Iztapalapa inició un proyecto de investigación en la Reserva Ecológica El Edén, ubicada al noreste de Quintana Roo, cuyo principal objetivo es evaluar las estrategias de regeneración post-fuego de esta pteridofita y el papel que juegan las esporas y las estructuras vegetativas en la sucesión secundaria. Esto permitirá generar información básica sobre el proceso de invasión y desarrollar, en el mediano y largo plazo, adecuadas estrategias de control encaminadas hacia la restauración funcional de las áreas invadidas por *Pteridium* en el norte de Quintana Roo y en el resto de la península de Yucatán.

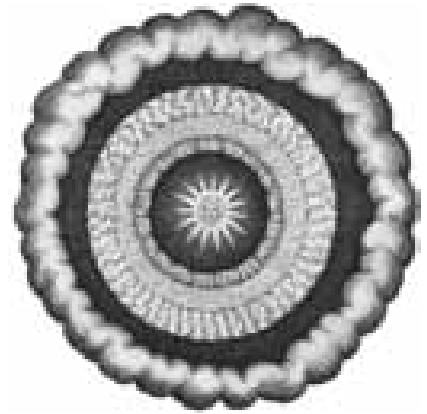
Consideramos que un programa efectivo de control o combate de especies invasoras como *Pteridium* amerita el desarrollo de esquemas específicos de manejo acordes con las características físicas, biológicas y sociales de cada zona, así como al grado de intervención antrópica.

Por ello, es preciso entender que la expansión de especies vegetales in-





vasoras como las pertenecientes al género *Pteridium* amenazan la integridad de algunos de los ecosistemas más diversos del planeta, como los bosques tropicales del sureste mexicano; por esa razón, debería asumirse como un tema de prioridad que exige acciones urgentes, así como una mayor participación y compromiso de las partes interesadas. Por otro lado, constituye un reto para los científicos dedicados al estudio de malezas e interesados en la conservación, así como una tarea imposterable para los gobiernos y administradores de recursos. r



María del Rosario Ramírez Trejo y
Blanca Pérez García
Departamento de Biología,
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

Alma D. Orozco Segovia
Instituto de Ecología,
Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, V. 2005. "Especies invasoras, una amenaza para la biodiversidad y el hombre", en *Biodiversitas*, núm. 60, pp. 7-10.
Edouard, F., J. Jiménez y M. Cid. 2004. "Restauración de áreas invadidas por copetate en la región de la Chinantla, Oaxaca, México", en *Revista de Agroecología LEISA*, núm. 30, pp. 34-37.

Gómez Pompa, A., M. F. Allen, S. L. Fedick y J. J. Jiménez Osornio. 2003. *The Lowland Maya Area. Three millenia at the human-wildland interface*. The Haworth Press, Inc., Nueva York.

Mickel, J. T. y A. R. Smith. 2004. "The pteridophytes of Mexico", en *Memoirs of The New York Botanical Garden*, núm. 88, pp. 529-533.

Rué, D. J. 1987. "Early agriculture and postclassic occupation in western Honduras", en *Nature*, núm. 326, pp. 285-286.

Schneider, L. C. 2004. *Understanding Bracken Fern Invasion in the Southern Yucatán Peninsular Region through Integrated Land Change Science*. Doctoral Dissertation, Graduate School of Geography. Clark University.

Suazo, I. 1988. Aspectos ecológicos de la especie invasora *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn en una selva húmeda de la región de Chajul, Chiapas, México. Uni-

versidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán.

Turner, B., W. C. Clarck, W. Kates, J. F. Richards, J. T. Mathews, W. B. Meyer (eds.). 1990. *The earth as transformed by human action: global and regional changes in the biosphere over the past 300 years*. Cambridge University Press, Reino Unido.

IMÁGENES

P. 19: W. J. Stokoe. *Pteridium aquilinum*. Pp. 20 y 22: Johann Daniel Mylius. *Philosophia reformata*, 1622. P. 21: J. J. Hollandus. *Chymische Schriften*, 1773. P. 23: A. Bocchi. *Symbolicarum quoesitionum Libri v*, 1555. P. 24: D. Stolcius von Stolzenberg. *Viridarium chymicum*, 1624. P. 25: Michael Maier. *Tripus aureus*, 1618.

Palabras clave: *Pteridium*, helechos invasores, sucesión post-fuego.

Key words: *Pteridium*, invading ferns, post-fire succession.

Resumen: Se analiza el problema de la invasión de *Pteridium* en la Península de Yucatán como resultado de una larga historia de disturbios, entre los que destacan el cambio de uso de suelo y la amplia utilización del fuego como herramienta agrícola. Se discuten algunos aspectos de la biología de este helecho, enfatizando su adaptación al fuego.

Abstract: We analyzed the bracken fern invasion in the Yucatan Peninsular Region as a consequence of a long history of disturbances principally the land-use change and the extensive use of fire as agricultural tool. We argued some aspects of the biology of this fern, standing out its adaptation to fire.

Ma. del Rosario Ramírez Trejo es bióloga por la Universidad Autónoma Metropolitana y Maestra en Ciencias por la UNAM. Actualmente es becaria del CONACYT y candidata a Doctora en Ciencias Biológicas por la UAM. Ha publicado varios artículos científicos y de divulgación sobre pteridofitas.

Blanca Pérez-García es profesora-investigadora del Departamento de Biología en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Doctora en Ciencias por la Facultad de Ciencias de la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

Alma Orozco-Segovia es Investigadora del Instituto de Ecología de la UNAM. Doctora en Ciencias por la Facultad de Ciencias de la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores y de la Academia de la Investigación Científica.

Recibido: 8 de mayo de 2006, aceptado el 15 de octubre de 2006