



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE CIENCIAS

COMPORTAMIENTO ESTACIONAL
DE LAS AEROSPORAS DE MUSGOS
EN EL SUR DE LA CIUDAD
DE MEXICO

T E S I S
QUE PARA OPTAR AL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A
NORVA AMALIA BAUTISTA MAYEN



MEXICO, D. F.

1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la Sra. Lourdes Mayén Cerón, mi mamá, con todo mi amor y mi admiración, porque ha sabido sacar adelante cada tarea impuesta por la vida; por enseñarme a luchar cada día y por impulsarme para lograr mi realización personal y profesional.

A la memoria de mi abuelita y mi tía.

A Fernando.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá, a mis primos y tíos, especialmente al Sr. Juan Manuel Mayén Cerón, por apoyo.

Expreso mis más sincero agradecimiento a los directores de esta tesis, los Dres. Irma Rosas Pérez y Claudio Delgadillo Moya, por sus sugerencias, apoyo y consejo, así como por las atenciones y enseñanzas para la elaboración del presente trabajo. Así mismo, agradezco la participación de los distinguidos miembros del jurado, los Dres. Irma Rosas Pérez, Claudio Delgadillo Moya, Ernesto Jáuregui Ostos, Ramón Riba Nava y Esparza y el M. en C. Armando Gómez Campos, en la revisión del manuscrito.

Los trabajos de investigación fueron realizados en las instalaciones del Centro de Ciencias de la Atmósfera y del Instituto de Biología de la U.N.A.M.

A Fernando, por sus opiniones y consejos, así como su ayuda en diversos aspectos.

A todas aquellas personas que de alguna manera intervinieron en la realización de este trabajo.

I N D I C E

Introducción	1
Objetivos	4
Antecedentes	5
Area de estudio	8
Material y Metodos	9
Resultados	15
Discusión	32
Conclusiones	38
Bibliografia	40

INTRODUCCION

Desde hace varias décadas se conoce la existencia de propágulos y de otras células vegetativas en la atmósfera de ambientes intra y extramuros (lugares cerrados y abiertos, respectivamente). El estudio del comportamiento de las partículas, los microorganismos y de las diásporas en ambientes cerrados o abiertos es del dominio de la AEROBIOLOGIA; esta disciplina se ocupa del estudio de los mecanismos de transporte en la atmósfera y de los procesos físicos (meteorológicos) o biológicos relacionados con la liberación, depositación y viabilidad de las diásporas (Gregory 1945, 1973; Edmons 1979, Rosas et al. 1989). Algunas de las formas biológicas transportadas por el aire son protozoarios, virus, bacterias, algas, granos de polen y esporas de hongos, musgos y helechos.

Los datos sobre investigaciones aerobiológicas relacionadas con las briofitas son escasos. Por tal razón, es importante contar con información que nos permita determinar los mecanismos de diseminación de estas plantas y establecer su grado de participación en la biota de la atmósfera. A continuación mencionamos algunas de las investigaciones realizadas sobre este grupo de plantas y que son relevantes para la investigación del presente trabajo.

Mogensen (1981) indica que el tamaño de las esporas de musgos es un carácter adaptativo para la dispersión por viento. Las esporas de musgos tienen un diámetro entre 6.0 y 30.0 μm , por lo que se consideran como aeropartículas con un potencial amplio de dispersión. Aunadas a otras partículas como granos de polen, fragmentos o esporas de hongos, bacterias y algas, las esporas pueden modificar la calidad del aire. Las esporas de los musgos se incorporan a la atmósfera por diferentes mecanismos; la mayoría de ellos son pasivos pues dependen de los estímulos del ambiente. En pocos casos existe una participación activa en la diseminación de las diásporas.

Como respuesta a varias presiones ambientales, los musgos han desarrollado diferentes sistemas de diseminación entre los que se encuentran los determinados por algunas características de la cápsula. En Sphagnum la liberación de las esporas ocurre en forma violenta y es debida al aumento de presión en un saco de aire situado por debajo del saco esporífero; la presión es causada por la contracción transversal de la pared de la cápsula que se seca progresivamente. Cuando la presión es excesiva, el opérculo se separa violentamente a través de una línea de dehiscencia definida y se expulsa una nube de esporas hasta una altura de 15 cm o más.

En otros musgos como en Funaria hygrometrica, la liberación de las esporas se efectúa por movimientos higroscópicos del peristoma. Los dientes abren y cierran la boca de la cápsula y controlan la velocidad de salida de las esporas en un ambiente seco. Ingold (1959, 1971, 1974) señala que, además de la participación del peristoma, existen movimientos violentos de la cápsula inducidos por el viento que provocan la descarga activa de esporas; las condiciones meteorológicas tales como humedad, viento y turbulencia atmosférica influyen en la dispersión de las esporas. En ausencia del peristoma, la diseminación de las esporas depende de los estímulos mecánicos y de la respuesta del esporofito; en las cápsulas que no tienen un mecanismo especial de dehiscencia, la pared se descompone antes de permitir la liberación de las esporas.

En el presente trabajo se desea dar a conocer el comportamiento de las esporas que han sido liberadas a la atmósfera por alguno de los mecanismos señalados; también se intentan desarrollar las bases técnicas y aportar información para estudios futuros que incluyan análisis cuantitativos útiles en fitogeografía, en aerobriología y posiblemente en otras disciplinas relacionadas con la interfase salud-ambiente.

OBJETIVOS

Considerando la importancia de estudios de esta índole, el presente trabajo tiene como objetivos principales:

1) conocer la frecuencia de aparición de las esporas de musgos en la atmósfera a lo largo de un año;

2) aislar y determinar las especies de musgos que liberan esporas a la atmósfera en el sur de la ciudad de México;

3) establecer la posible correlación entre la frecuencia de aparición de las esporas de musgos en la atmósfera y algunos factores meteorológicos (temperatura ambiental, presión de vapor, velocidad del viento y precipitación pluvial) registrados durante el periodo de muestreo;

4) relacionar la frecuencia de aparición de las esporas de musgos en la atmósfera con el comportamiento fenológico de los mismos.

ANTECEDENTES

Los estudios de Aerobiología han mostrado que las diásporas de los musgos pueden encontrarse en diferentes ambientes a los que son llevados por las corrientes ascendentes y descendentes del viento. Van Overeen (1936, 1937), Pettersson (1940), Miller y Ambrose (1976), en muestreos de aire, lluvia y nieve, respectivamente, mostraron que el viento es un factor importante para la diseminación de fragmentos de briofitas pues éstos pueden ser llevados a grandes altitudes, como a la parte alta de la tropósfera, a unos 1000 m de altura.

Los trabajos mencionados, sin embargo, han revelado sólo partes del proceso de transporte y no mencionan los mecanismos que operan para liberar a las diásporas de los individuos progenitores. Por razón de su enfoque, esos trabajos no abordan los efectos de las diásporas en la salud del hombre, su acción como inhalantes alergénicos, su epidemiología o la estacionalidad de su aparición. En otros estudios se han investigado los procesos que operan desde la maduración de las esporas hasta su expulsión y transporte en la atmósfera. Por ejemplo, Delgadillo y Pérez-Bandin (1982), During (1979), Hutton (1874), Ingold (1959, 1971, 1974) y Vitt (1981), han estudiado el proceso de liberación de las esporas de musgos. Ellos muestran que la forma y estructura del gametofito y del esporofito son

importantes en la dispersión: la seta eleva a la cápsula hasta la parte de la atmósfera donde existe turbulencia; la forma de la cápsula y el peristoma regulan la salida de las esporas y los dientes de este último son sensibles a cambios en la humedad atmosférica. Al mismo tiempo, los musgos pueden seguir estrategias de vida que afectan el número de esporas producidas, la frecuencia de aparición de los esporofitos o la longitud del ciclo de vida.

Las esporas pueden seguir dos caminos al incorporarse a la atmósfera. Pueden caer inmediatamente o pueden elevarse y ser transportadas. Crum (1972) sugiere que las esporas de 8 a 12 μm pueden ser transportadas hasta unos 20,000 km o más en presencia de vientos moderados; las esporas de 20-30 μm pueden ser transportadas hasta más de 3000 km. Persson (1944) y van Zanten (1978) señalan que, en teoría, la dispersión de esporas de musgos a grandes distancias puede llegar a 2000 km o más; Delgadillo (1975) indica que, teóricamente, las esporas de Aloina podrían viajar hasta unos 30,000 km bajo condiciones ideales. Una vez en la atmósfera, la velocidad de caída de las esporas depende de la densidad y viscosidad del aire, de la aceleración debida a la gravedad y de la densidad y del radio de las esporas (Ingold 1939, 1971; Delgadillo 1975). Las esporas se pueden precipitar también por acción de la lluvia o por las corrientes térmicas.

Algunos estudios fenológicos han demostrado la importancia de ciertos factores meteorológicos en el crecimiento de los musgos y en la liberación de sus esporas. Por ejemplo, Forman (1965), Johnsen (1969), Stark (1985, 1986) y Zehr (1979) han mostrado que la temperatura, la presión de vapor y el fotoperiodo determinan el crecimiento vegetativo, la formación de gametangios, la fertilización y el crecimiento del esporofito. Estos factores son importantes para los musgos debido a que los valores de algunos de ellos son críticos durante el ciclo de vida; por ejemplo, es necesaria una época de lluvias para que se lleve a cabo la fecundación y una época seca para la dispersión.

La presente investigación trata de establecer la posible correlación entre la frecuencia de aparición de las aerosporas de musgos con algunos factores meteorológicos. Se analiza el comportamiento estacional de las aerosporas de musgos y se trata de integrar la información de los estudios briológicos y aerobiológicos con la de los factores climáticos que intervienen en el desarrollo y maduración de los gametofitos y esporofitos, el mecanismo de liberación de las esporas y su frecuencia de aparición en la atmósfera.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio, la Ciudad Universitaria, es una zona de 720 ha en la que se ubica el campus de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.), en el Pedregal de San Angel, en el sur de la Ciudad de México, a los $19^{\circ} 20' 01'' N$ y $99^{\circ} 10' 54'' W$; se le considera como una zona suburbana ya que está rodeada de unidades habitacionales y de áreas verdes. Su clima es templado, subhúmedo, con un periodo de lluvias comprendido entre mayo y octubre, y uno de secas de noviembre a abril; con altitud de 2400 msnm, aproximadamente (García 1981).

Una parte del área de estudio, el Jardín Botánico Exterior de la U.N.A.M., es una zona de exhibición de plantas de varias partes de la República Mexicana; en este lugar los muestreos se efectuaron en un sitio abierto, entre los prados, sin interferencia de los árboles. Como parte del Pedregal de San Angel, también está situado sobre su derrame lávico de roca ígnea basáltica de olivino con afinidad alcalina, arena volcánica y material piroclástico. El Pedregal de San Angel es hoy en día una zona urbana, cuando menos en su porción suroriental; la caracterización de las comunidades vegetales que crecen en esta zona fue hecha por Rzedowski (1954) quien mostró la importancia de la cantidad de suelo como factor limitante para el desarrollo de una vegetación conspicua.

MATERIAL Y METODO

Con el fin de conocer la frecuencia de aparición de las aerosporas de musgos se realizaron muestreos de aire para relacionarla con su comportamiento fenológico. Los muestreos de aire y los fenológicos se realizaron en el campus de la Universidad Nacional Autónoma de México; los primeros se efectuaron en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en el Jardín Botánico Exterior y en la azotea del edificio del Centro de Ciencias de la Atmósfera. Para los muestreos fenológicos se sustituyó la Planta de Aguas Residuales por zonas abiertas del Pedregal de San Ángel (fig. 1), pues sólo en estos sitios pueden encontrarse cantidades suficientes de material vegetal para su análisis.

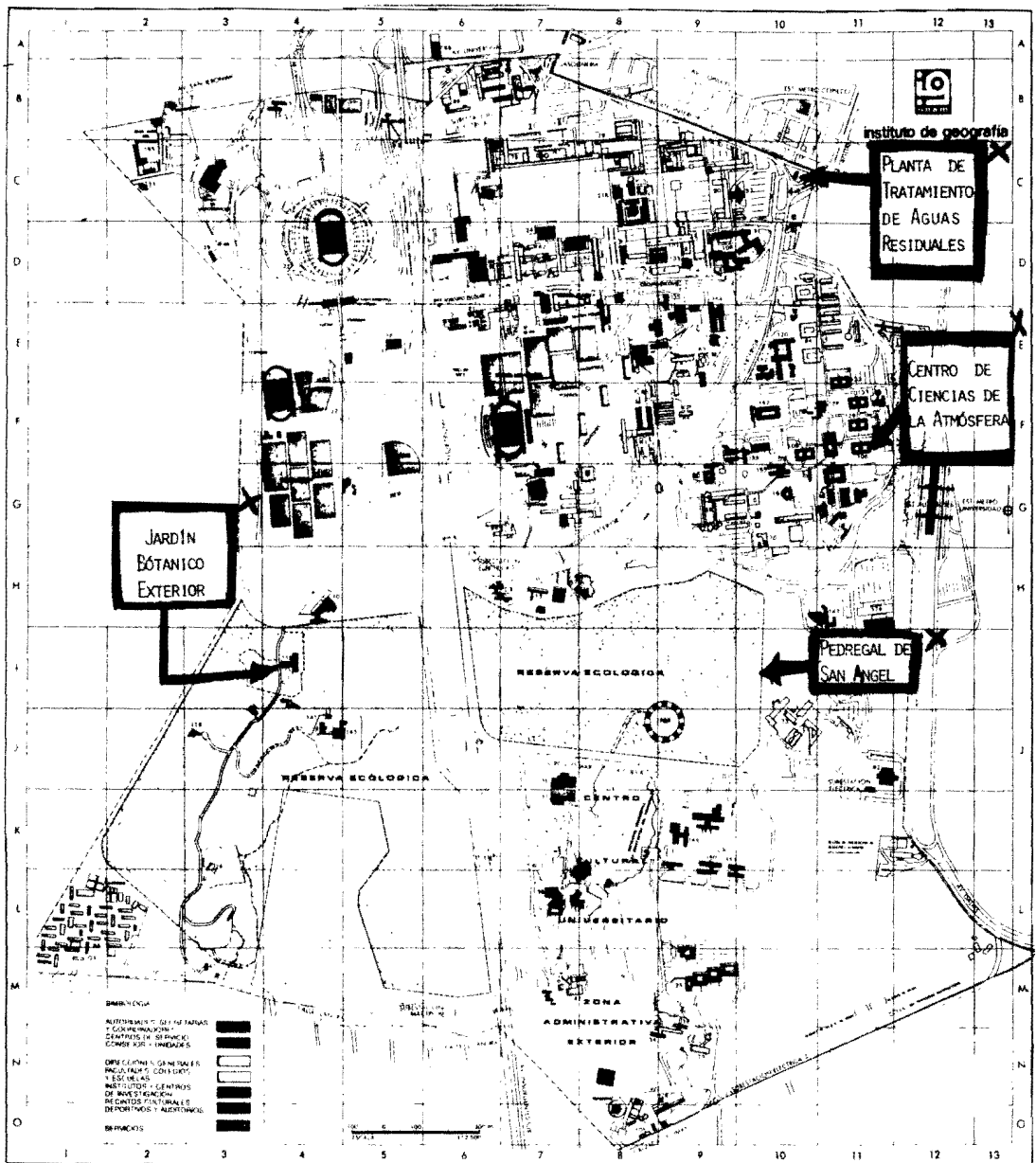


Fig. 1. Localización del área de estudio. *

Plano de la Ciudad Universitaria, editado por el Instituto de Geografía.
 Elaboraron : Carlos García y Cristina Soto

Muestreos del aire

Los muestreos de aerosporas de musgos se realizaron semanalmente en cada sitio durante un año, de abril de 1988 a abril de 1989, excepto durante el mes de noviembre y produjeron un total de 103 muestras. Los muestreos se efectuaron regularmente entre las 12:00 y las 13:00 hr.

Para obtener las muestras se utiliza una torre portátil de aluminio que, por medio de una polea, eleva una canastilla a una altura de 3.5 m sobre el nivel del suelo (fig. 2). En la canastilla se encuentran dos matraces burbujeadores conectados a una bomba de succión; uno de ellos contiene 50 ml de medio basal de Bold (Stein 1973) y el otro 50 ml de medio de macronutrientes. El muestreo de 1 m^3 de aire se realizó con un flujo de 19.5 l/min, durante 51 min (Schlichting 1961); durante el muestreo se tomaron lecturas de algunos factores meteorológicos prevaletientes en cada lugar.

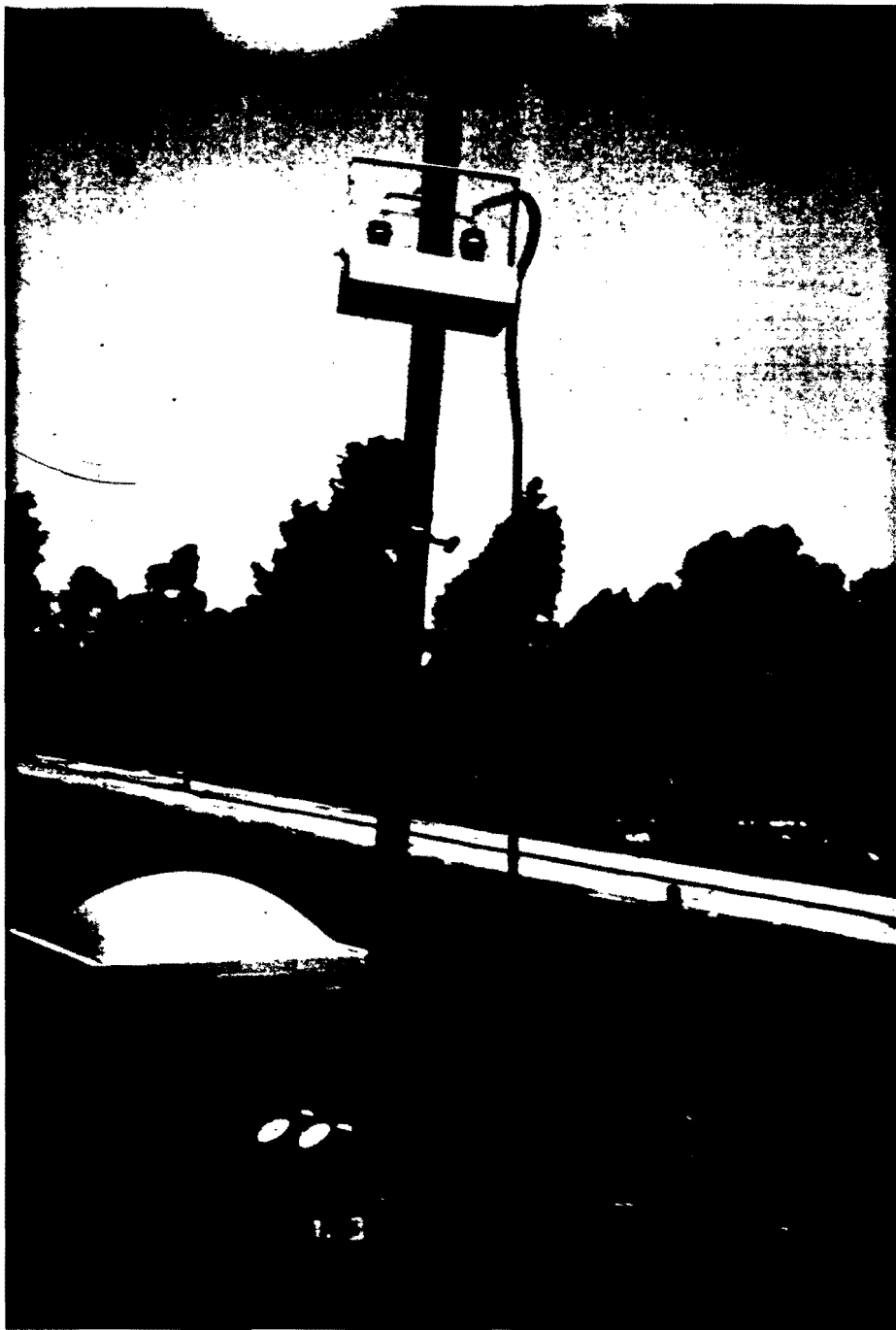


Fig. 2. Aparato que se utilizó para muestrear.

Cultivo

Las esporas captadas fueron colocadas en los siguientes medios nutritivos:

Medio basal de Bold, con pH de 6.6, está constituido por cinco soluciones según las especificaciones de Stein (1973).

Medio de macronutrientes, con pH de 7 (Basile 1973, 1975), del que se excluyeron dos sustancias, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Na}_3\text{VO}_4 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$.

También se utilizó el medio de macronutrientes solidificado con agar bacteriológico.

Aislamiento y determinación de musgos

En el laboratorio se filtraron las muestras de aire empleando un equipo Millipore de filtración con membrana de celulosa (poro de $0.45 \mu\text{m}$); las membranas se colocaron individualmente en cajas Petri con medio de agar nutritivo y se cultivaron durante 15 días con un fotoperiodo de 12 h de luz (regulado mediante un controlador automático de tiempo) y a $25\text{-}30^\circ\text{C}$ de temperatura (no controlada), de manera similar a como se han cultivado las aeroalgas (Rosas *et al.* 1987). Después de este tiempo las cajas de Petri se

examinaron al microscopio estereoscópico para verificar la formación de protonema; éste fue reseñado en frascos de vidrio con tapa que contenían un soporte de algodón y medio de macronutrientes. Los cultivos así preparados, si no eran invadidos por hongos, se incubaban hasta obtener el desarrollo de gametóforos de tamaño conveniente para intentar su identificación.

Los cultivos que no formaron gametóforos en los frascos se reseñaron sobre vermiculita (sustrato sólido rico en nutrimentos) con la adición de medio de macronutrientes (Basile, 1973, 1975) y se incubaron hasta obtener gametóforos del tamaño deseado. Una vez identificados, los musgos fueron depositados en el Herbario Nacional (MEXU).

Muestreos fenológicos

Los muestreos fenológicos de Bryum argenteum Hedw. se efectuaron durante nueve meses -de junio de 1988 a febrero de 1989- en tres sitios de la Ciudad Universitaria; de junio a octubre se hicieron muestreos cada quince días en cada sitio y de diciembre a febrero se recolectó una muestra mensual consistente en 1 cm² por sitio se obtuvieron al azar en una área de 5 m².

Los datos de fenología se complementaron con los de ejemplares de herbario. Además de Bryum argenteum, se estudió el comportamiento fenológico de Funaria hygrometrica Hedw. y Fissidens repandus Wils.

RESULTADOS

A partir de los cultivos se identificaron tres especies de musgos: Bryum argenteum, Funaria hygrometrica y Fissidens repandus que se distribuyen según se muestra en la Tabla 1 en la cual también se presenta el número total de muestras que desarrollaron colonias de musgos, es decir, las llamadas positivas. La Tabla 1 incluye el número de ejemplares identificados por especie.

Tabla 1. Aislamiento e identificación de las aerosporas de musgos por m³ de aire en tres sitios de muestreo a través de un ciclo anual.

Sitios de muestreo	*Muestras positivas	Musgos identificados	No. de ejemplares identificados
Planta de Tratamiento de aguas residuales	8/34	<u>Bryum argenteum</u>	2
		<u>Funaria hygrometrica</u>	4
		<u>Fissidens repandus</u>	1
Jardín Botánico Exterior	8/32	<u>Bryum argenteum</u>	2
		<u>Funaria hygrometrica</u>	2
Centro de Ciencias de la Atmósfera	10/32	<u>Bryum argenteum</u>	14
		<u>Funaria hygrometrica</u>	2

* No. de muestras positivas/total de muestras.

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, ocho de las 34 muestras cultivadas desarrollaron colonias de musgo; a partir de ellas se identificaron tres especies: Bryum argenteum, Funaria hygrometrica y Fissidens repandus. En el Jardín Botánico Exterior aparecieron ocho muestras positivas de las 32 recuperadas, mientras que en el Centro de Ciencias de la Atmósfera se obtuvieron 10 muestras positivas de 32; en los últimos dos sitios las especies determinadas fueron Bryum argenteum y Funaria hygrometrica.

La Tabla 2 muestra la comparación entre los dos tipos de medio de cultivo empleados para la recolección y para el cultivo de las aerosporas de musgos; los datos indican que en el medio de macronutrientes más de la mitad de las muestras fueron positivas. En contraste, en el medio basal de Bold menos de la cuarta parte de las muestras fueron positivas.

Tabla 2. Número de muestras positivas de musgos, en dos medios de cultivo. Véase el texto para definición.

Sitios de muestreo	No. de muestras positivas en los medios de cultivo	
	Macronutrientes	Bold
Planta de tratamiento de Aguas Residuales	5	2
Jardin Botánico Exterior	5	0
Centro de Ciencias de la Atmósfera	5	1

La figura 3 presenta la frecuencia de aparición de los musgos, su cuenta total por m^3 de aire y datos de los factores meteorológicos como temperatura del aire, presión de vapor, velocidad del viento y precipitación pluvial que se registraron en los sitios de muestreo, así como la turbulencia atmosférica. Durante abril, mayo y junio se obtuvieron registros más altos de colonias de musgos (fig. 3a), particularmente en abril y en mayo; en abril se obtuvieron 17 colonias y en mayo 19 colonias por m^3 de aire. Los eventos se caracterizaron por una temperatura ambiente mayor de $24^{\circ}C$, con presión de vapor entre 12 y 20 mb y con una velocidad del viento entre 2.5 y 3 m/s. Las temperaturas más altas registradas durante los muestreos se presentaron en abril y mayo con 31 y $30^{\circ}C$, respectivamente (fig. 3b). La máxima presión de vapor alcanzada fue de 20 mb a finales de mayo (fig. 3c) coincidiendo con el mes de altas temperaturas. La velocidad del viento fluctuó entre 1.5 y 3 m /s (fig. 3d), en tanto que la precipitación pluvial diaria registrada de mayo a octubre fue de 0.5 a 50 mm (fig. 3e). El índice de estabilidad atmosférica (Turner, 1964), presentó una variabilidad entre 1 y 4, señalando que los muestreos se realizaron en condiciones de inestabilidad atmosférica (fig. 3f).

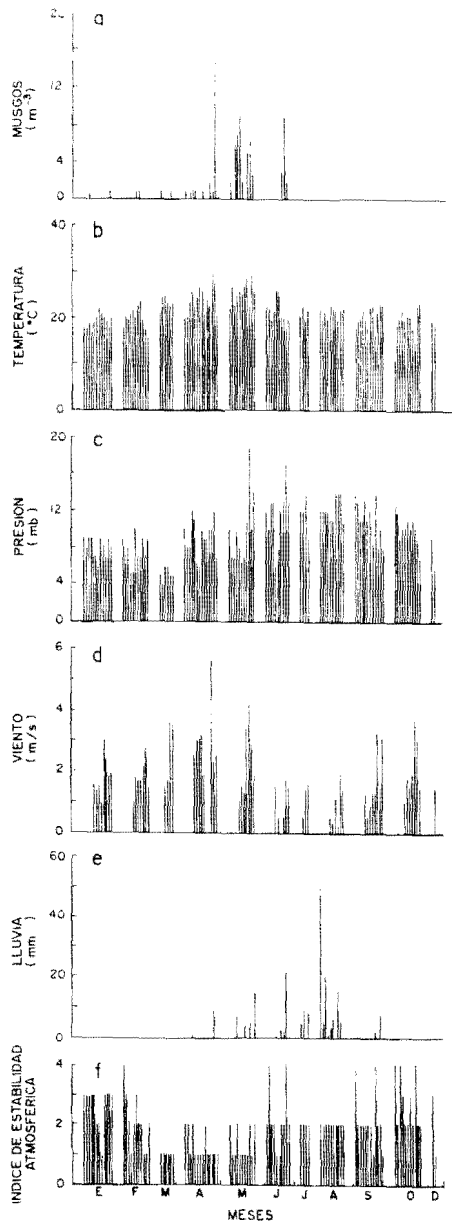


Fig. 3. Frecuencia de aparición de las aerosporas de musgos por m³ de aire y algunos factores meteorológicos prevaecientes durante los muestreos.

En la Tabla 3, al relacionar la concentración de aerosporas de musgos por m^3 de aire y los factores meteorológicos de la figura 3, se observa una correlación positiva significativa ($p < 0.05$) entre el número de aerosporas y la temperatura ambiente y la presión de vapor, como lo señalan los valores del coeficiente de correlación lineal, $r = 0.25$ y $r = 0.27$, respectivamente.

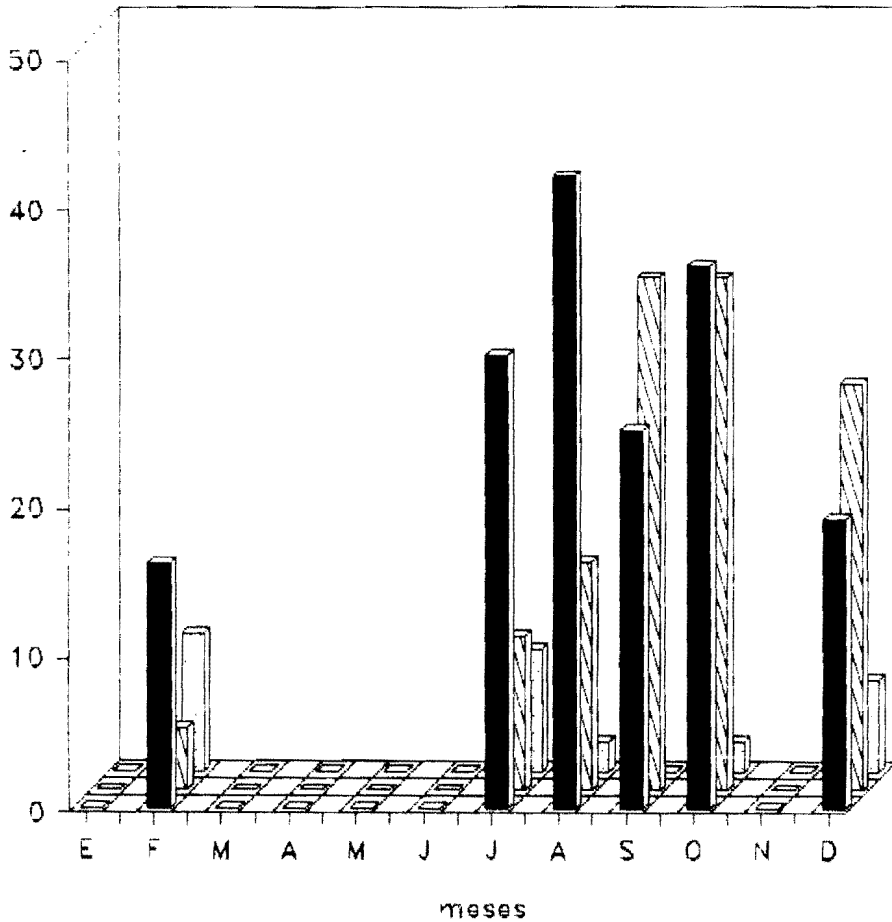
Tabla 3. Coeficiente de correlación entre la concentración de aerosporas de musgos y algunos factores meteorológicos en cada muestreo.

Variable		
Dependiente		
No. de aerosporas de musgos por m ³	r	P
Independientes		
Temperatura ambiente (°C)	0.25	< .05*
Presión de vapor (mb)	0.27	< .05*
Velocidad del viento (m /seg)	0.19	> .05
Indice de estabilidad atmosférica	0.16	> .05
Precipitación pluvial (mm)	0.08	> .05

r: Coeficiente de correlación de Pearson; * = valores significativos.

Para determinar el estado de madurez de los esporofitos de los musgos recolectados, se definieron tres etapas, a saber, juvenil, indehiscente (cápsula operculada) y dehiscente (cápsula sin opérculo). En la figura 4 se muestran las etapas de maduración esporofítica de Bryum argenteum utilizando los datos de los ejemplares recolectados por la autora; en los meses de julio a octubre la mayoría de los ejemplares presentaron el esporofito en la etapa juvenil; a partir de julio empieza a aparecer la etapa indehiscente cuya mayor incidencia se presenta de septiembre a diciembre. Debe recordarse que en el mes de noviembre no hubo recolección de muestras para los análisis fenológicos y que en febrero se observó un incremento en el número de esporofitos dehiscentes.

No. de esporofitos



■ Etapa 1 ▨ Etapa 2 □ Etapa 3

ETAPAS DE MADURACIÓN
DE ESPOROFITOS

ETAPA 1 JUVENIL

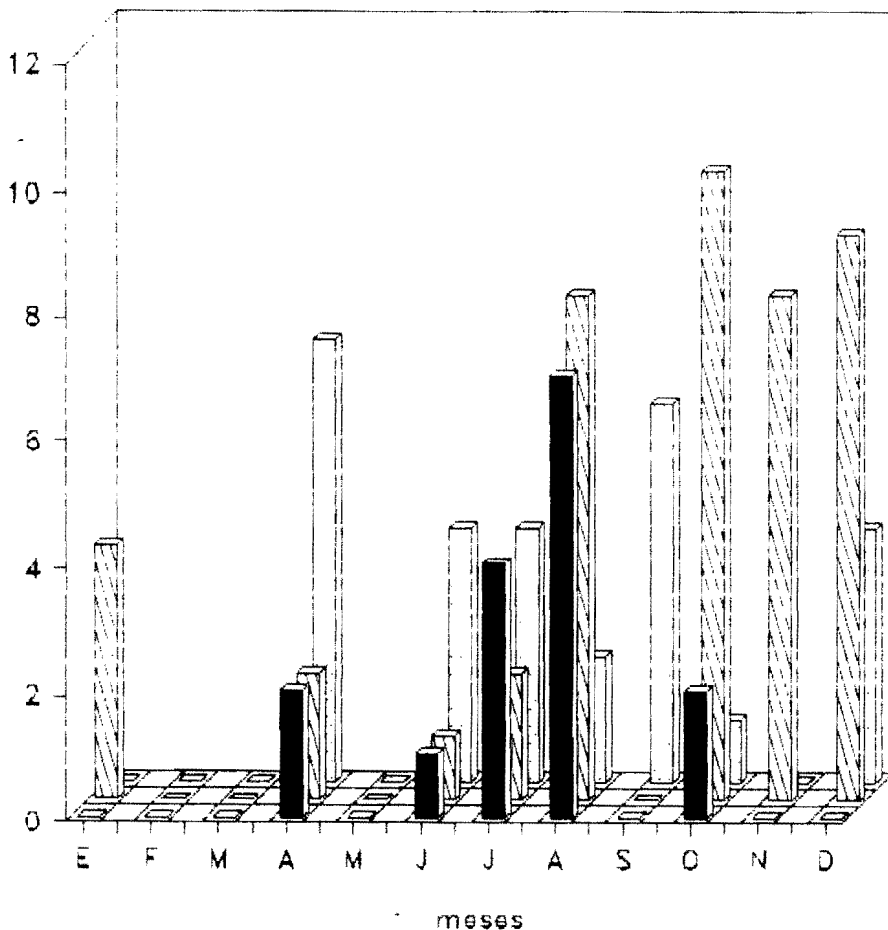
ETAPA 2 INDEHISCENTE

ETAPA 3 DEHISCENTE

Fig. 4. Etapas de maduración de esporofitos en Bryum argenteum colectados durante nueve meses -de junio de 1988 a febrero de 1989.

En el herbario se analizaron ejemplares de Bryum argenteum, Funaria hygrometrica y Fissidens repandus. La etapa juvenil de los esporofitos de Bryum argenteum (fig. 5) se presentó en abril, junio, julio, agosto y octubre; el número mayor de esporofitos en la etapa indehiscente se registró de agosto a diciembre y la etapa dehiscente se observó desde abril hasta octubre con un máximo en agosto. En la figura 6 se presentan los datos de las etapas de maduración del esporofito de Funaria hygrometrica obtenidos a partir del material de herbario; las tres etapas de maduración se encontraron a lo largo de todo el año, con excepción de febrero y abril cuando no se observó la etapa dehiscente; la etapa juvenil registró un incremento en mayo y junio, mientras que en diciembre se registró el mayor número de muestras en la etapa indehiscente. Para Fissidens repandus (fig. 7), la etapa juvenil se registró en junio, julio, agosto y septiembre; la indehiscente en febrero, abril, junio, octubre y diciembre; y la etapa dehiscente -con excepción de junio, julio y agosto- se presentó todo el año; no hubo registros de esta especie en el Herbario Nacional (MEXU) para enero y noviembre.

No. de muestras



Etapa 1 Etapa 2 Etapa 3

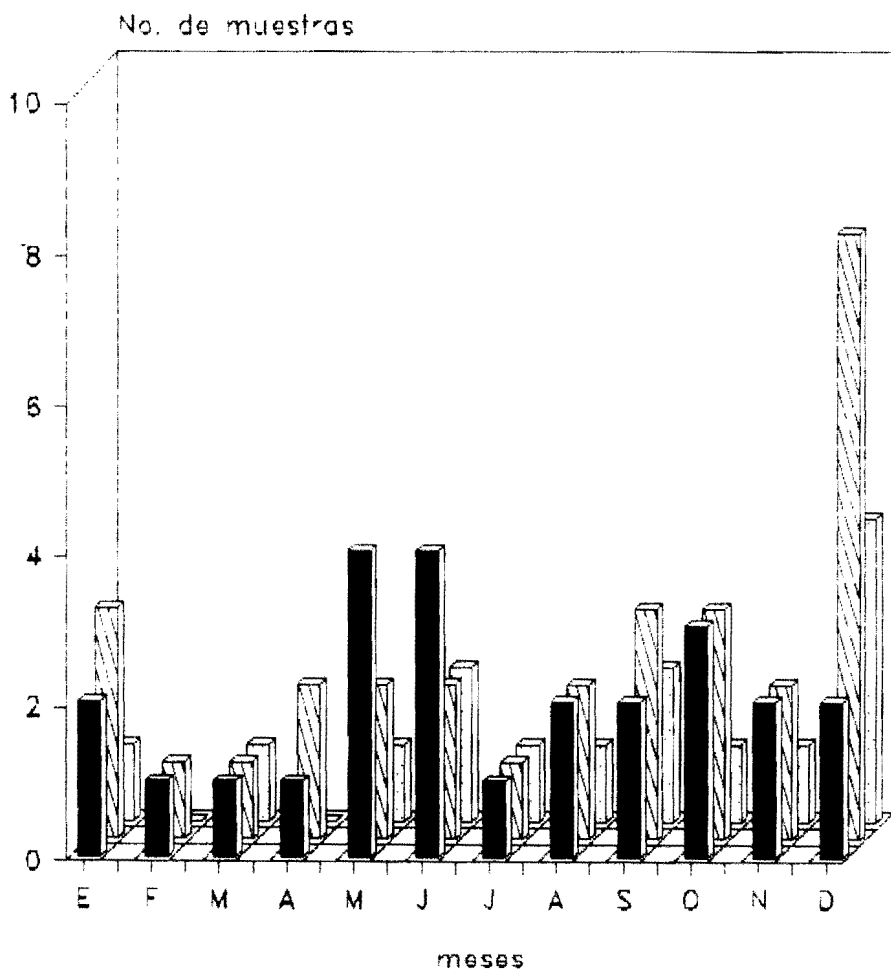
ETAPAS DE MADURACIÓN
DE ESPOROFITOS

ETAPA 1 JUVENIL

ETAPA 2 INDEHISCENTE

ETAPA 3 DEHISCENTE

Fig. 5. Etapas de maduración de esporofitos en Bryum argenteum basadas en los ejemplares de herbario de MEXU colectados entre 1960 y 1985.



Etapa 1
 Etapa 2
 Etapa 3

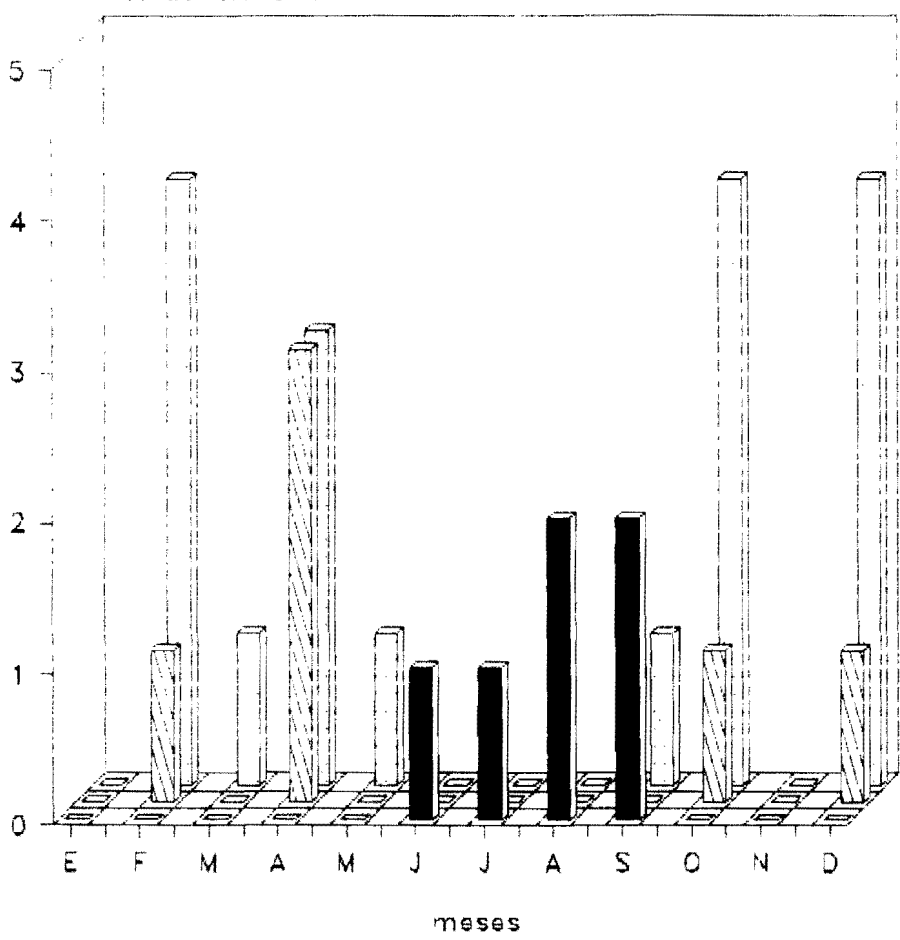
ETAPAS DE MADURACIÓN
DE ESPOROFITOS

ETAPA 1 JUVENIL

ETAPA 2 INDEHISCENTE

ETAPA 3 DEHISCENTE

Fig. 6. Etapas de maduración de esporofitos en Funaria hygrometrica basadas en los ejemplares de herbario de MEXU colectados entre 1960 y 1985.



Etapa 1
 Etapa 2
 Etapa 3

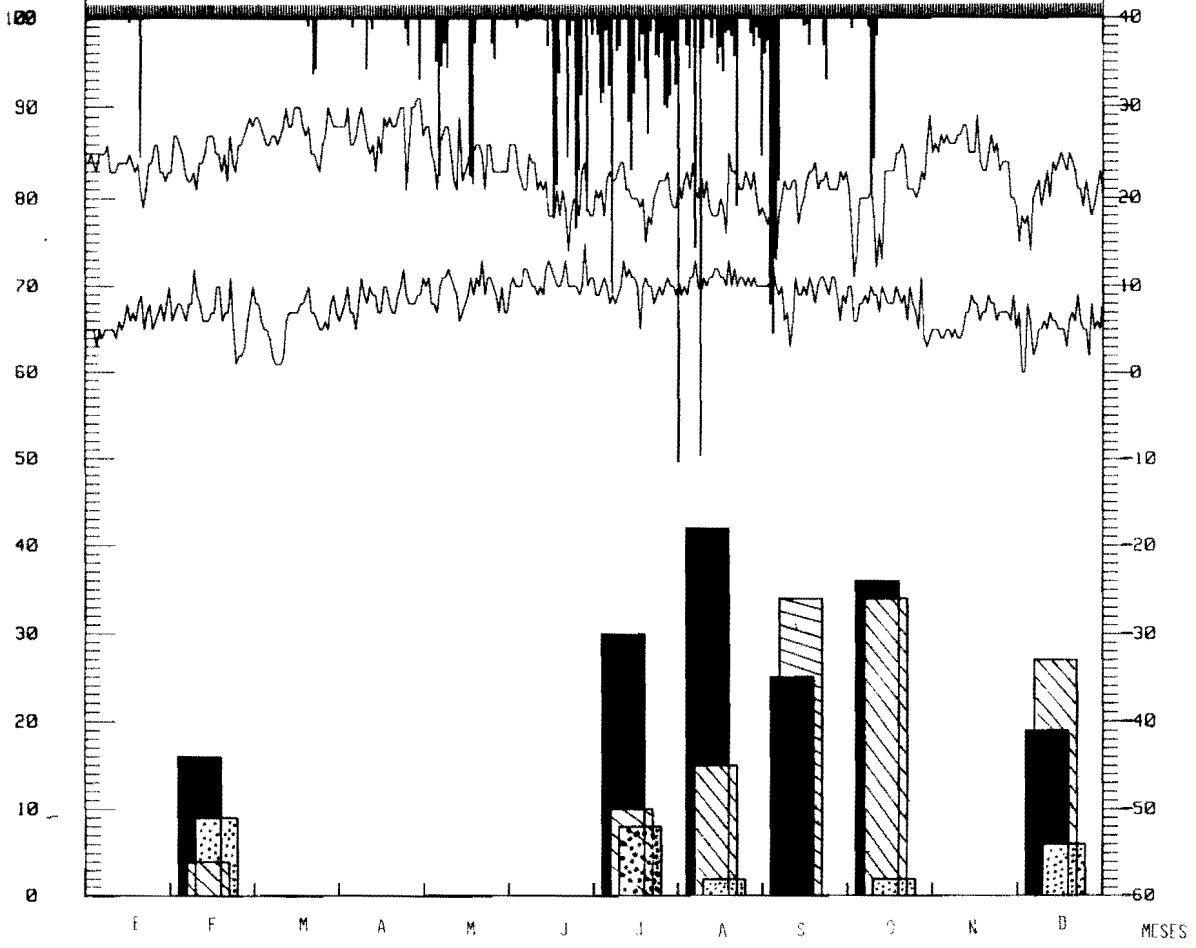
ETAPAS DE MADURACIÓN
DE ESPOROFITOS

- ETAPA 1 JUVENIL
- ETAPA 2 INDEHISCENTE
- ETAPA 3 DEHISCENTE

Fig. 7. Etapas de maduración de esporofitos en Fissidens repandus basadas en los ejemplares de herbario de MEXU colectados entre 1960 y 1985.

Con el propósito de contar con mayor información sobre el comportamiento fenológico de Bryum argenteum se integraron los datos del Herbario Nacional (MEXU) con los obtenidos en las recolecciones de la autora. La etapa juvenil se presentó en febrero, abril y de junio a diciembre con excepción de noviembre con una mayor incidencia en agosto; el número mayor de esporofitos en la etapa indehiscente se registró de agosto a diciembre y en febrero se observó un incremento en el número de esporofitos dehiscentes con un máximo en abril.

La figura 8 presenta el registro de las temperaturas máximas y mínimas (líneas continuas), la precipitación pluvial (clima tropical de altura) y las tres etapas de maduración del esporofito (barras) de los muestreos fenológicos de Bryum argenteum, realizados en el año.



Etapa 1
 Etapa 2
 Etapa 3

ETAPAS DE MADURACIÓN
DE ESPOROFITOS

- ETAPA 1 JUVENIL
- ETAPA 2 INDEHISCENTE
- ETAPA 3 DEHISCENTE

Fig. 8. Variación anual de la precipitación y temperatura y las etapas de maduración de esporofitos de *Bryum argenteum* colectados durante nueve meses -de junio de 1988 a febrero de 1989- .

DISCUSION

La dispersión de las esporas de musgos en la atmósfera depende de características propias y de factores meteorológicos que al mismo tiempo repercuten en otros aspectos de la biología de los musgos. Experimentalmente, la medición de la dispersión es función de la confiabilidad de los métodos de trabajo; las variaciones cuantitativas y cualitativas observadas en la presente investigación dependieron también de otros factores, entre ellos el tipo de muestreo y la hora del día y la noche.

La metodología utilizada en este estudio cumplió con el propósito de recuperar diásporas de la atmósfera para cultivarlas en el laboratorio. Los muestreos realizados fueron de tipo puntual, con un burbujeador que facilita la recuperación y el manejo de las diásporas atrapadas en un momento determinado; los muestreos de tipo secuencial con las trampas de Burkard, de Hirst o con el Rotorod, entre otros, no permiten recuperar las esporas para su cultivo y el taxon al cual pertenecen difícilmente puede ser determinado a través del análisis microscópico de las esporas. El muestreo de tipo puntual tiene la desventaja de ser de efectividad limitada pues impide recolectar todos los tipos de diásporas suspendidas en la atmósfera a través del día. Por ello, se recomienda que en las investigaciones subsiguientes se incluyan muestreos simultáneos de tipo

secuencial y puntual para observar las variaciones cuantitativas y cualitativas de las aerosporas de briofitas. Las aerosporas de musgos son importantes porque forman parte de la biota atmosférica y porque pueden modificar -aunadas a otras partículas- la calidad del aire y ser relevantes en la interrelación salud-ambiente.

En este estudio, los muestreos se efectuaron en las horas de máximo calentamiento en las cuales predominó una alta inestabilidad atmosférica caracterizada por movimientos ascendentes y descendentes de aire. Bajo estas condiciones, las esporas, al ser liberadas, se elevan rápidamente y pueden quedar suspendidas en la parte alta de la tropósfera haciendo su captura improbable. Esta es probablemente una de las razones por las que el número de especies de musgos representadas en las muestras es muy bajo. Por la noche, cuando se encuentra una atmósfera estable, las esporas descienden (Rich & Waggoner 1962) y pueden ser capturadas; los muestreos en el futuro deberán efectuarse a diferentes horas del día y de la noche.

Otros factores importantes para la identificación de los musgos de la atmósfera son las características de los medios de cultivo; los utilizados en el presente estudio tienen un pH adecuado para el desarrollo de las briofitas y contienen sustancias nutritivas como sulfato de zinc, sulfato de magnesio, sulfato de cobre, entre otras. Sin

embargo, las condiciones de cultivo no pueden ser homogéneas para todas las esporas capturadas por lo que se esperaría que muchas de ellas no germinaran. Por otra parte, algunas de las aerosporas capturadas estaban asociadas con hifas de hongos y que impidieron su desarrollo. Muchas de las muestras así recolectadas no pudieron ser identificadas o cuantificadas.

La zona de estudio parece presentar condiciones adecuadas para el desarrollo de los musgos. Sin embargo, el número de especies recuperadas en los muestreos y cultivos es muy bajo, comparado con las especies representadas en las colecciones del Herbario Nacional (MEXU) recolectados en el Pedregal de San Angel. De esta zona se conocen cuando menos 16 especies de musgos; entre ellas se encuentran Barbula spiralis, Trichostomun brachydontium, Timmiella anomala y Braunia secunda, ninguna de las cuales apareció en los cultivos. En estos sólo se observaron Bryum argenteum, Fissidens repandus y Funaria hygrometrica.

Una característica importante de Bryum argenteum y Funaria hygrometrica es su carácter cosmopolita, mas no la de otras especies del Pedregal de San Angel. Los taxa cosmopolitas poseen tolerancia ecológica amplia y por lo mismo, se pueden encontrar en muchos ambientes, aun en aquellos que han sido fuertemente perturbados por el hombre. En la zona de estudio las dos especies se

encuentran ampliamente distribuidas y su recuperación en las muestras y en los cultivos no es motivo de sorpresa. En el caso de Fissidens repandus, las plantas ocupan lugares húmedos y sombreados, pero también están bien distribuidas en zonas adyacentes al área de estudio. Debido a que durante los muestreos predominaron vientos superficiales ligeros (0.1 a 4 m/s) (fig. 3) que son insuficientes para transportar esporas desde sitios lejanos, se presupone que las aerosporas capturadas son de origen local. En algunas ocasiones la turbulencia térmica producida por el calentamiento del suelo produjo un flujo vertical que pudo ser el responsable del transporte de cierto número de partículas viables a la atmósfera. Esto significa que en pocas ocasiones llegaron esporas de otros lugares incluyendo al Pedregal de San Angel.

Existe una correlación positiva significativa entre la concentración de aerosporas de musgos por m^3 de aire, la temperatura ambiente y la presión de vapor (Tabla 3). Al incrementarse la temperatura ambiente y la presión de vapor, aumenta el número de aerosporas de musgos lo cual significa que cuando hay menor humedad en el ambiente existe mayor probabilidad de que las esporas de musgos sean liberadas e introducidas a la atmósfera mediante fenómenos mecánicos o térmicos; sólo en condiciones secas se presenta la liberación de esporas en muchos musgos.

La frecuencia de aparición de las aerosporas en las muestras también es función de otros factores meteorológicos y de la fenología de los organismos. La zona de estudio se caracteriza por presentar un clima tropical de altura que consiste de tres etapas; la primera se manifiesta en la época seca cuando existen temperaturas ambientales muy altas y baja humedad atmosférica; durante febrero y hasta finales de mayo se observa una diferencia marcada entre las temperaturas máximas y mínimas. La segunda etapa, de junio a septiembre, se caracteriza por ser la época de lluvias. La tercera etapa se manifiesta a fines de octubre y principios de febrero con una menor diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas lo cual hace que se mantenga húmeda la atmósfera (fig. 9).

El clima tropical de altura afecta directamente el comportamiento de los musgos y, en consecuencia, la frecuencia de aparición de sus diásporas en la atmósfera. La época de lluvias puede promover y favorecer la fecundación dando como resultado la formación del cigoto y del esporofito de los musgos. Durante la tercera etapa, el ambiente semihúmedo permite el pleno desarrollo y la maduración del esporofito y las esporas se liberan en la subsiguiente época seca. Los estudios de Delgadillo y Pérez-Bandin (1982), Gregory (1976) e Ingold (1959, 1971), muestran la importancia de un ambiente seco para la

liberación de las esporas; ellos establecen que para que se lleve a cabo la liberación de las esporas es indispensable la intervención reguladora del peristoma el cual en condiciones secas se abre liberando las esporas y en condiciones húmedas se cierra impidiendo su salida. Por estas razones, podemos decir que los factores meteorológicos y la fenología de los musgos determinan la frecuencia de aparición de las esporas de musgos en la atmósfera.

Los estudios fenológicos y las revisiones de herbario de Bryum argenteum muestran que las primeras etapas de desarrollo del esporofito se llevan a cabo de julio a octubre (fig. 4 y 5); en este último mes la cápsula se expande y para diciembre su desarrollo es completo. La liberación empieza hacia el final de febrero, pero alcanza su valor óptimo de marzo a junio, es decir, con una marcada estacionalidad. En contraste, la revisión de ejemplares de herbario de Funaria hygrometrica (fig. 7) y Fissidens repandus (fig. 8) mostró que en estas especies no existe una estacionalidad marcada, aunque todavía es necesario hacer estudios fenológicos minuciosos para cada especie. Es pertinente mencionar, sin embargo, que las aerosporas de Funaria hygrometrica y Fissidens repandus fueron encontradas en la misma época de aparición de las de Bryum argenteum.

CONCLUSIONES

En los musgos, la forma y estructura del esporofito así como algunos factores meteorológicos influyen en la diseminación de las esporas, las cuales, una vez liberadas son introducidas a la atmósfera mediante fenómenos mecánicos o térmicos.

El clima tropical de altura afecta directamente el comportamiento de los musgos y la frecuencia de aparición de las diásporas de musgos en la atmósfera.

Cuando hay menor humedad en el ambiente existe mayor probabilidad de que las esporas de musgos sean liberadas e introducidas a la atmósfera.

Ya que durante los muestreos predominaron vientos ligeros, se intuye que las aerosporas capturadas son de origen local.

Existe una marcada estacionalidad en la presencia de las esporas de musgos en la atmósfera condicionada por la época de maduración de esporas y esporofitos y por factores meteorológicos como precipitación y temperatura.

Considerando el número de esporas que se producen por cápsula y el número de especies registradas en los muestreos, los musgos locales no se dispersan eficientemente o la distancia de disseminación es muy corta.

BIBLIOGRAFIA

- Basile, D. V. 1973. Hydroxy-L-proline and 2:2-dipyridyl-induced phenovariation in the liverwort Jungermannia lanceolata. Bull. Torrey Bot. Club 100: 350-352.
- 1975. A comparison of some macronutrient media used to culture bryophytes. Bryologist 78: 403-413.
- Crum, H. 1972. The geographic origins of the mosses of North America's eastern deciduous forest. J. Hattori Bot. Lab. 35: 269-298.
- Delgadillo M., C. 1975. Taxonomic revision of Aloina, Aloinella and Crossidium (Musci). Bryologist 78: 245-303.
- & Pérez-Bandín, E. 1982. Spore liberation in mosses. I. Problems and perspectives of wind tunnel experiments. Cryptogamie, Bryol. Lichénol 3: 39-49.
- During, H. J. 1979. Life strategies of bryophytes: a preliminary review. Lindbergia 5: 2-18.

- Edmonds, R. 1979. Aerobiology, the ecological system approach, Dowden, Hutchinson and Ross, Pennsylvania. 386 pp.
- Forman, R. T. T. 1965. A system for studying moss phenology. *Bryologist* 68: 289-300.
- Garcia, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México, D.F. 252 pp.
- Gregory, P. H. 1945. The dispersion of air-borne spores. *Trans. Brit. Myc. Soc.* 28: 26-72.
- 1973. *The microbiology of the atmosphere.* Leonard Hill, London. 377 pp.
- 1976. *Outdoor Aerobiology.* Oxford Biology Readers. Oxford Univ. Press. 16 pp.
- Hutton, F. W. 1874. Observations on the different modifications in the capsules of mosses with reference to the dispersion of their spores. *Trans. & Proc. New Zealand Inst.* 7: 342-347.

- Ingold, C. T. 1939. Spore Discharge in Land Plants. Oxford, Clarendon Press 178 pp.
- 1959. Peristome teeth and spore discharge in mosses. Trans. Bot. Soc. Edinburgh 38: 76-88.
- 1971. Fungal spores. Their liberation and dispersal. Clarendon Press. Oxford 302 pp.
- 1974. Spore Liberation in Cryptogams. Oxford Biology Readers. Oxford Univ. Press. London.
- Johnsen, A. B. 1969. Phenological and environmental observations on stands of Orthotrichum anomalum. Bryologist 72: 397-403.
- Miller, N. G. & Ambrose, H. L. J. 1976. Growths in culture of wind-blown bryophyte gametophyte fragments from Artic Canada. Bryologist 79: 55-63.
- Mogensen, G. S. 1981. The biological significance of morphological characters in bryophytes: the spores. Bryologist 84: 187-207.

- Overeem, M. A. van. 1936. A sampling-apparatus for aeroplankton. Proc. Acad. Sci. Amst. 39: 981-90.
- 1937. On green organisms occurring in the lower troposphere. Rec. Trav. Bot. Néerl. 34: 388-442.
- Persson, H. 1944. On some species of Aloina, with special reference to their dispersal by wind. Svensk. Bot. Tidskr. 38: 260-268.
- Pettersson, B. 1940. Experimentelle Untersuchungen über die euanemochore Verbreitung der Sporenpflanzen. Acta Bot. Fenn. 25: 1-103.
- Rich, S. & Waggoner, P. E. 1962. Atmospheric concentration of Cladosporium spores. Science 137: 962-965.
- Rosas, I., Roy-Ocotla, G., Mosiño, P., Baez, A. & Rivera, L. 1987. Abundance and heterogeneity of algae in the México City atmosphere. Geofis. Intern. 26: 359-373.
- Rosas, I., Roy-Ocotla, G. & Mosiño, P. 1989. Meteorological effects on variation of airborne algae in Mexico. Intern. J. Biometeorol. 33: 173-179.

- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Angel (Distrito Federal, México). An. Esc. Nac. Cienc. Biol. 8: 59-129.
- Schlichting, H. E. 1961. Viable species of algae and protozoa in the atmosphere. Lloydia 24: 81-82.
- Stark, L. R. 1985. Phenology and species concepts: a case study. Bryologist 88: 190-198.
- 1986. The life history of Forsstroemia trichomitria (Hedw.) Linbd, an epiphytic moss. Lindbergia 12: 20-32.
- Stein, J. R. 1973. Handbook of phycological methods. University Press, Cambridge 448 pp.
- Turner, D. B. 1964. A diffusion model for an urban area. J. Appl. Met. 3: 83-91.
- Vitt, D. H. 1981. Adaptive modes of the moss sporophyte. Bryologist 84: 166-186.
- Zanten, B. O. van. 1978. Experimental studies on trans-oceanic long-range dispersal of moss spores in the southern hemisphere. J. Hattori Bot. Lab.

44: 455-482.

Zehr, D. R. 1979. Phenology of selected bryophytes in southern Illinois. Bryologist 82: 29-36.