



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Colonización por musgos en los monumentos de la
Zona Arqueológica de Palenque, Chiapas**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA

ALEJANDRO ANGELES CHÁVEZ



DIRECTOR
Dr. Claudio Delgadillo Moya

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

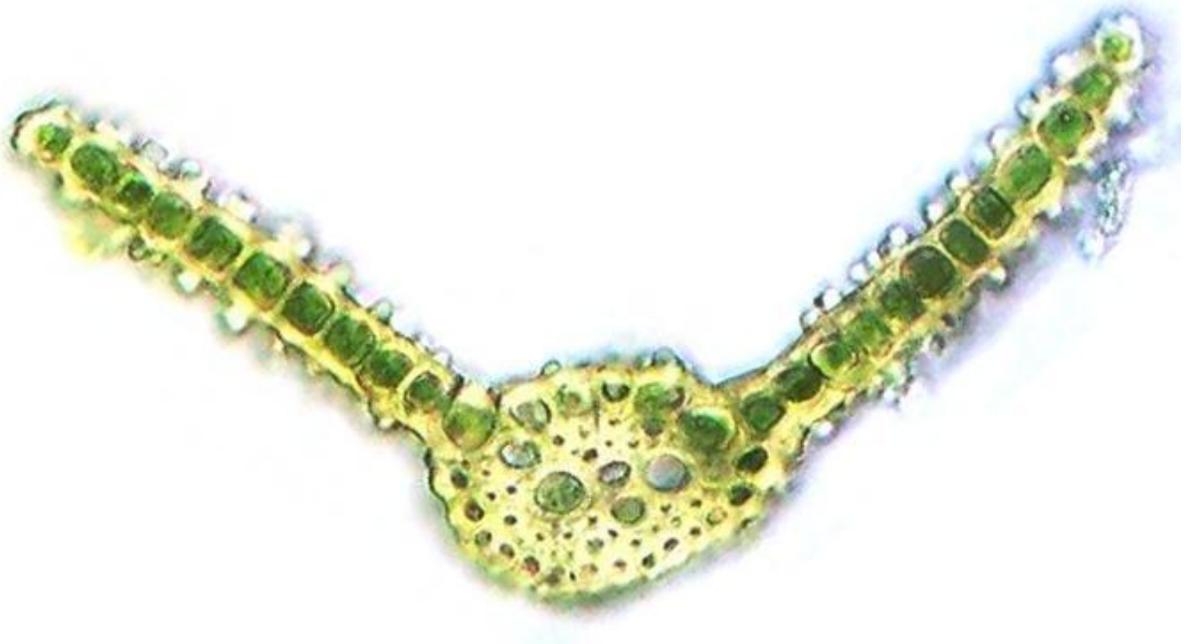
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno
Angeles
Chávez
Alejandro
27 33 01 28
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
406008532
2. Datos del tutor
Dr.
Claudio
Delgadillo
Moya
3. Datos del sinodal 1
Dr.
Eberto
Novelo
Maldonado
4. Datos del sinodal 2
M. en C.
Rosa María
Fonseca
Juárez
5. Datos del sinodal 3
M. en B.
María Eugenia
Muñiz
Díaz de León
6. Datos del sinodal 4
M. en C.
María del Socorro
Galicia
Palacios
7. Datos del trabajo escrito
Colonización por musgos en los monumentos de la Zona Arqueológica de Palenque, Chiapas.
41 p
2010

“Man is placed in the middle between two infinities - the infinitely great and the infinitely little - both of which are incomprehensible to him.”
(Pascal, en Crum 1976)



Sección transversal de hoja de *Molendoa sendtneriana*

Para ti Mamá...

Por ser mi inspiración. Gracias por mostrarme el camino y apoyarme en todas las facetas de mi vida. Porque contigo me basta para ser quien soy y sentirme orgulloso y feliz de ser tu hijo.

Para ti Papá...

Porque nuestro cariño y respeto han vencido cualquier diferencia. Gracias por todo tu apoyo.

A mi Mamá Ernestina...

Tu alegría y amor siguen vivos en mi ser. Gracias por haber creído en mí y por regalarme la fe y el espíritu que me permitieron llegar hasta aquí.

A Melissa, Paola y Fernanda...

Dios me regaló tres ángeles para hacerme compañía. Gracias por estar siempre conmigo y ser mis cómplices.

A Glade...

Por ser mi alma gemela... Contigo he descubierto los matices de una amistad verdadera. Gracias por tu apoyo, confianza y amor.

Son lo mejor de mi vida...

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por hacer de mí un hombre comprometido por su país e inculcarme los valores que rigen mi vida profesional.

Al Instituto de Biología (UNAM), por el apoyo intelectual y económico que hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Claudio Delgadillo por ser mi maestro, mi guía y un modelo de disciplina, conocimientos y responsabilidad que honran mi formación profesional. Mil gracias por confiar en mí.

A la Maestra Ángeles Cárdenas por su apoyo, sus conocimientos y su paciencia. Por todo el cariño y la ternura en sus asesorías. Gracias de corazón.

Al laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología (UNAM), y muy en especial a la Dra. Lucy Mora por todo el apoyo intelectual y material que de forma incondicional y desinteresada me brindaron. Gracias por ser parte de mi motivación profesional.

Al Dr. Eberto Novelo por sembrar en mí la inquietud científica y sus valiosas enseñanzas de vida.

A la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (INAH-CONACULTA) por autorizar el permiso de colecta y las facilidades otorgadas en el trabajo de campo.

A la Maestra María Eugenia Muñiz por ser la responsable de mi pasión por las briofitas. Gracias por mostrarme que una buena clase impartida por una excelente profesora pueden cambiarte la vida.

A la Maestra María del Socorro Galicia por su generoso apoyo y su disposición permanente a las asesorías.

A la Maestra Rosa María Fonseca por aceptar ser parte de mi jurado y por sus valiosos comentarios para la versión final de esta tesis.

A Román Membrillo, porque a pesar del tiempo y la distancia estas siempre conmigo. Gracias por apoyar el inicio de esta aventura. Te adoro.

A Paulina Guerrero por los buenos momentos y por el inconmensurable apoyo. Gracias.

A Claudia Abad por ser mi “mamá académica”. Mil gracias por todo el apoyo, los consejos, los regaños y el cariño que me ofreciste desde que inicié la carrera. Te quiero.

A Catalina Juárez (Katy Perry) por todos los momentos agradables y las risas que alimentaron nuestra amistad e hicieron de la Sala *Aloina* un lugar feliz. Gracias por escucharme y por tu apoyo. Te quiero mucho.

A Javier Castrejón por el apoyo constante en el herbario y por tu amistad. Gracias de corazón amigo.

A Paola Retes, Clementina Equihua e Israel Ramírez con quienes comparto el gusto por las briofitas y por su amistad.

A mis grandes amigos: Adriana, Diego, Yolanda (Yolixtli), Fernanda (Fershis), Vicky, Cyntia, Jessy (Tabasco), Susana y Helga. Gracias por formar parte de mi vida y confirmarme su amistad en todo momento.

Y al final, pero siempre al principio, gracias a Dios por darme la fuerza y la sabiduría para culminar esta etapa importante en mi vida.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
III. OBJETIVOS	6
IV. ÁREA DE ESTUDIO	7
V. MATERIAL Y MÉTODO	11
Trabajo de campo y herbario	11
Laboratorio	11
Distribución de especies	12
VI. RESULTADOS	17
Musgos de la Zona Arqueológica de Palenque	17
Análisis de las muestras de suelos acumulados	19
pH	19
Conductividad eléctrica	19
Materia orgánica	19
Nitrógeno total y relación C/N	20
VII. DISCUSIÓN	22
VIII. CONCLUSIONES	29
IX. BIBLIOGRAFÍA	31
X. APÉNDICES	37

I. INTRODUCCIÓN

Las briofitas (*s.l.*) comprenden tres grupos de plantas: hepáticas, antocerotes y musgos; es un grupo antiguo que ocupa ambientes diversos y tiene una amplia distribución mundial. Crecen en múltiples sustratos: rocas, suelo, troncos, estiércol, entre otros; sin embargo, pueden tener cierta especificidad por alguno de ellos (Delgadillo y Cárdenas, 1990; Bates, 2000). Tal es el caso de las briofitas epilíticas o saxícolas, que crecen sólo en la superficie de rocas y entre las que se distinguen las calcícolas, que están restringidas a rocas y a suelos con carbonato de calcio; y las calcífugas, que crecen en sustratos ácidos. Algunas briofitas son aparentemente indiferentes a la acidez de su sustrato y algunas otras necesitan condiciones cercanas a la neutralidad (Smith, 1982; Bates, 2000).

La colonización por briofitas está determinada en gran parte por la naturaleza química del sustrato, donde la materia orgánica y el pH juegan un papel esencial. La materia orgánica influye en múltiples propiedades del suelo tales como el movimiento y la capacidad de retención de agua, la porosidad, la aireación y la reserva de nutrientes orgánicos, entre otros. Por su parte, el pH determina el crecimiento de las plantas y afecta propiedades del suelo como la disponibilidad de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, la población bacteriana, la humificación y la fijación del nitrógeno (Porta *et al.*, 2003).

Las briofitas (junto con los líquenes y las algas) son organismos pioneros en la colonización de rocas. Durante la sucesión primaria, modifican el sustrato y el microclima local; favorecen la formación de suelo al acelerar la degradación física y química; atrapan material orgánico e inorgánico arrastrado por el viento y agregan materia orgánica al sustrato (Longton, 1992). Por este comportamiento, las briofitas crecen bien en las rocas de construcción de los monumentos arqueológicos y son un buen ejemplo de la sucesión primaria. Sin embargo, su proliferación en tales sustratos puede causar el deterioro gradual e indeseable de las construcciones (Videla *et al.*, 2000). El biodeterioro de los monumentos es el cambio en las propiedades originales de los materiales de construcción producto de las actividades vitales de los organismos que los colonizan. Por otro lado, se ha demostrado que en algunos lugares las briofitas pueden retardar el desgaste de la rocas al protegerlas de la erosión, al aislarlas de los ciclos de congelamiento-descongelamiento, o al absorber la precipitación (Longton, 1992). Estudios recientes han notado que la principal fuente de nutrimentos de las briofitas saxícolas no proviene de la roca sobre la que crecen, sino de la deposición atmosférica (polvo y precipitación) (Glime, 2007). A la luz de este hecho, su participación principal en el deterioro de

los monumentos es más bien indirecta. Al acumular suelo y retener agua, las briofitas pueden favorecer la colonización por plantas vasculares, las cuales son una causa importante del deterioro mecánico de las rocas.

La colonización en los monumentos arqueológicos ha sido una preocupación de los que se interesan por conocer, conservar y recuperar su significado histórico. Su biodeterioro es un problema de gran relevancia por lo que es importante contar con el conocimiento de la diversidad de las especies que colonizan tales sustratos.

El presente estudio pretende colaborar en las tareas de conservación y restauración de los monumentos mayas al identificar las especies de musgos que crecen sobre los monumentos de la Zona Arqueológica de Palenque, Chiapas. Se intenta comparar algunas propiedades fisicoquímicas del material de construcción y de algunos depósitos de suelo acumulados entre el monumento y el musgo y, con ello, se busca determinar si su papel en la colonización de dichos monumentos es causa de deterioro.

II. ANTECEDENTES

La colonización biológica de monumentos con valor histórico y cultural ha sido ampliamente estudiada en todo el mundo. Dentro de estos estudios destacan las revisiones referentes a las algas, los hongos (Tomaselli *et al.*, 2000; Warscheid y Braams, 2000), y los líquenes (Lisci *et al.*, 2003). Con respecto al crecimiento de briofitas en monumentos históricos, Casas-Sicart y Saiz-Jiménez (1982) publicaron un listado de 25 especies de la catedral de Sevilla, España. En el mismo año, Hughes (1982) describió un mecanismo por medio del cual los rizoides de *Tortula muralis* Hedw. penetran las calizas oolíticas (caliza constituida por gránulos rocosos redondeados e inmersos en una matriz cristalina). García-Rowe y Saiz-Jiménez (1991), detallaron cómo colonizan los líquenes y las briofitas los materiales de construcción de algunas catedrales españolas. En este estudio mencionan que la penetración de los rizoides de los musgos causa efectos desintegradores sobre ciertos materiales, sin embargo, dichos efectos no los consideran significativos comparados con el deterioro atmosférico y la contaminación.

Los estudios brioflorísticos detallados en sitios arqueológicos de Roma caracterizan las comunidades en relación con el tipo de sustrato (natural y artificial) y algunos parámetros microclimáticos (temperatura, humedad relativa y exposición a la luz) (Altieri *et al.*, 1993; Altieri y Ricci, 1994). Altieri y Ricci (1994) identificaron 26 musgos saxícolas y terrícolas la mayoría de los cuales fueron xerófilos, fotófilos e indiferentes al pH del sustrato. Además, relacionaron de manera directa el contenido de calcio intercelular y de la fracción intercambiable (utilizable por la planta) con la capacidad de biodeterioro de los musgos. Bech-Anderson (1986) realizó una comparación entre las cantidades de calcio en rocas desgastadas y en las plantas que crecen sobre ellas y concluyó que los musgos tienen la capacidad de tomar el calcio del sustrato. Esta conclusión se verificó en un estudio posterior con *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm., el cual demostró la capacidad que pueden tener algunos musgos para intercambiar iones con el sustrato (Altieri y Ricci, 1997).

En trabajos recientes se menciona el desarrollo indeseable de briofitas (*Tortula muralis* Hedw.) en monumentos como la Fuente de Leones del Palacio de Alhambra, en Granada, España (Sarro *et al.*, 2006). Esos autores consideran que la previa colonización de microorganismos fotosintéticos (algas y cianoprocariontes) inducen condiciones microambientales (alta humedad, acumulación de materia orgánica y de sales solubles y cambios en el pH del sustrato) que favorecen la proliferación de los musgos sobre el monumento.

De los Ríos *et al.* (2004) realizaron un diagnóstico microscópico *in situ* en el convento de Santa Cruz la Real, Segovia, España, observando que los rizoides de los musgos epilíticos penetran el sustrato (granodiorita) vía fisuras causando daño mecánico. Se identificaron colonias de cianoprocariontes estrechamente asociadas con los musgos y concluyeron que las comunidades de microorganismos endolíticos son más agresivas que las epilíticas en el desgaste de la roca.

En muchos casos, los musgos que colonizan los monumentos arqueológicos se han encontrado estrechamente relacionados con otros organismos como cianoprocariontes (García de Miguel *et al.*, 1995; de los Ríos *et al.*, 2004), hongos (Hughes, 1982), líquenes y algas (García-Rowe y Saiz-Jiménez, 1991), lo cual sugiere que la sucesión y la simbiosis en estos sitios son procesos muy complejos. Estos organismos pioneros, a través de la secreción de metabolitos secundarios, ácidos orgánicos (oxálico, cítrico y urónico) y el aporte de materia orgánica, promueven el desarrollo de comunidades complejas que actúan de forma sinérgica en el desgaste de la roca.

Con respecto a los estudios de biodeterioro en monumentos mayas, destacan los realizados en Tulum y Uxmal, en la Península de Yucatán, México, donde se analizaron los mecanismos de ataque bioquímico por parte de bacterias, hongos y algas sobre la roca caliza. Se ha supuesto que la secreción de metabolitos ácidos por estos organismos está relacionada con los procesos de solubilización que provocan el desgaste de la roca. La colonización por briofitas y líquenes se sugirió como una de las causas más importantes del biodeterioro de sitios arqueológicos en selvas tropicales como las de Palenque, Tikal o Copan (Videla *et al.*, 2000; Ortega y Hernández, 1998).

García de Miguel *et al.* (1995), investigaron el deterioro químico y biológico en los materiales de construcción de la Gran Pirámide del Jaguar en Tikal, Guatemala. Se reportaron varias especies de cianoprocariontes y cuatro especies de musgos de la familia Pottiaceae cuyos rizoides penetraban los materiales del monumento: *Oxystegus tenuirostris* (Hook. & Tayl.) A. Smith, *Gymnostomum aeruginosum* Sm., *Weissia controversa* Hedw. y *Barbula unguiculata* Hedw.

En un informe presentado por el Instituto de Conservación Getty y el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (2006), se reporta el listado de briofitas más extenso llevado a cabo en monumentos mayas y corresponde al efectuado por Hale en la década de los setentas en la Escalinata Jeroglífica de Copán, Honduras. Este autor registró ocho especies de briofitas de las cuales cinco son musgos: *Calymperes richardii* Müll. Hal., *Neohyophila sprengelii* (Schwaegr.)

Crum, *Papillaria nigrescens* (Hedw.) Jaeg., *Racomium tomentosum* (Hedw.) Brid. y *Stereophyllum cultelliforme* (Sull.) Mitt.

A pesar de todo lo anterior, aparentemente el daño ocasionado por las briofitas sobre los monumentos, es mínimo e indirecto en comparación con el ocasionado por microorganismos fotosintéticos (cianoprocariontes y algas), hongos, líquenes y plantas vasculares (García de Miguel *et al.*, 1995; Lisci *et al.*, 2003). Lisci *et al.* (2003) concluyeron que el deterioro ocasionado por briofitas pioneras es pequeño y observó que éstas crecen principalmente sobre superficies horizontales (con un mejor suministro de agua). En estos casos, los musgos atrapan polvo atmosférico, acumulando suficiente sustrato para la germinación de plantas más grandes y destructivas.

Aunque los líquenes y los musgos pertenecen a grupos de organismos muy distintos, es frecuente que se equiparen sus efectos sobre las rocas en la mayoría de los estudios de biodeterioro. Sin embargo, se ha demostrado que el efecto de los líquenes sobre sustratos rocosos es más agresivo y evidente debido a su capacidad de secretar ácidos liquénicos, cuyos efectos van desde la disolución de la roca hasta la precipitación de sales insolubles que forman costras no consolidadas y de fácil desprendimiento (Lisci *et al.*, 2003). Aunque ambos grupos de organismos forman parte de la comunidad pionera de un sustrato poseen diferentes formas de colonización y de actividad fisiológica que se reflejan en sus distintos efectos sobre el sustrato.

En la Zona Arqueológica de Palenque, Chiapas destaca el trabajo de Ramírez (2006), quien caracterizó detalladamente los crecimientos algales (Cyanoprocaryota y Chlorophyta) que causan biodeterioro en el Conjunto Palacio. Relaciona directamente la exposición solar con el régimen de humedad y de temperatura que aunado al tipo de sustrato determinan el tipo de especies algales predominantes en diferentes áreas del Conjunto.

En México, no existen trabajos acerca de la diversidad de briofitas epilíticas en los monumentos arqueológicos. Más aún, la mayoría de los estudios sobre comunidades epilíticas de tales sitios en el mundo, abordan a las briofitas de manera superficial o les restan importancia como organismos pioneros (Miller *et al.*, 2006).

Es necesario identificar la diversidad de organismos que crece en las construcciones arqueológicas. El análisis de la relación planta-sustrato es una tarea que puede dilucidar el papel y la magnitud de los organismos como causa de deterioro. Con lo anterior, se pueden diseñar propuestas efectivas de control y de manejo que identifiquen la diversidad biológica y que hagan posible la conservación de nuestro patrimonio histórico.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar las especies de musgos presentes en los monumentos de la Zona Arqueológica de Palenque, Chiapas.

Objetivos particulares

- Determinar el tipo de sustrato (suelo acumulado o roca) sobre el cual crecen los musgos en los monumentos arqueológicos.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de algunos depósitos de suelo acumulados entre el musgo y la roca, que pueden influir en la colonización de los musgos sobre los monumentos.
- Determinar la especificidad de las especies de musgos por sustratos particulares.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

La Zona Arqueológica de Palenque se ubica al norte del estado de Chiapas, alrededor de las coordenadas 17°30' N y 92°03' O, y ocupa una extensión de 16 km² entre 60 y 200 m snm (Fig. 1; INEGI, 2008a, Ochoa-Gaona *et al.*, 2007).

El clima es cálido húmedo con lluvias todo el año y la temperatura media anual oscila entre 22 y 30 °C. Es una de las zonas más lluviosas del país: la precipitación anual varía de 3000 a más de 4500 mm. Tal cantidad de lluvia, y su distribución a lo largo del año, se debe a los vientos húmedos del Golfo de México que corren de verano a invierno (INEGI, 2009a).

La vegetación circundante es selva alta perennifolia, alternada con acahuales en diferentes etapas sucesionales y con pastizales inducidos para la ganadería (INEGI, 2008b; Ochoa-Gaona *et al.*, 2007). La selva alta perennifolia de Palenque se caracteriza por la dominancia de árboles altos (de más de 30 metros en el estrato superior) como “canshán” (*Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell), “chakté” (*Acosmium panamense* (Benth.) Yakovlev), “chicozapote” (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen), “caoba” (*Swietenia macrophylla* King), “guapaque” (*Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith), “zopo” (*Guatteria anomala* R.E. Fr.), “ramón” (*Brosimum alicastrum* Sw.), “amates” (*Ficus* spp.), etc. (Miranda y Hernández, 1963; Mendoza, 1980; Pennington y Sarukhán, 2005). Los acahuales están representados por “corcho colorado” (*Trichospermum mexicanum* (DC.) Baill.), “chaca” (*Bursera simaruba* (L.) Sarg.), “guarumbo” (*Cecropia obtusifolia* Bertol.), “iquilté” (*Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng.), “bojón” (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken), “sangre de drago” (*Croton draco* Schlttdl. & Cham.), “roble” (*Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyerl. & Frodin), “patashté” (*Luehea speciosa* Willd.), “jopi” (*Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.), “guanacaste” (*Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake), “jobo” (*Spondias mombin* L.) y “capulín” (*Trema micrantha* (L.) Blume) (Pennington y Sarukhán, 2005). Las principales especies que caracterizan los pastizales inducidos son *Paspalum conjugatum* P.J. Bergius, *P. notatum* Alain ex Flügge y *Axonopus compressus* (Sw.) P. Beauv. (Miranda y Hernández, 1963).

Desde el punto de vista geológico, en la zona de estudio existen rocas calizas sedimentarias del mesozoico a las que se le han superpuesto capas de origen marino del Terciario inferior; el paisaje en general es cárstico (Müllerried, 1957). Los suelos predominantes son los rojos lateríticos de origen aluvial reciente y los derivados de margas calizas; ambos suelos son arcillosos y con buenos contenidos de materia orgánica (Pennington y Sarukhán, 2005).

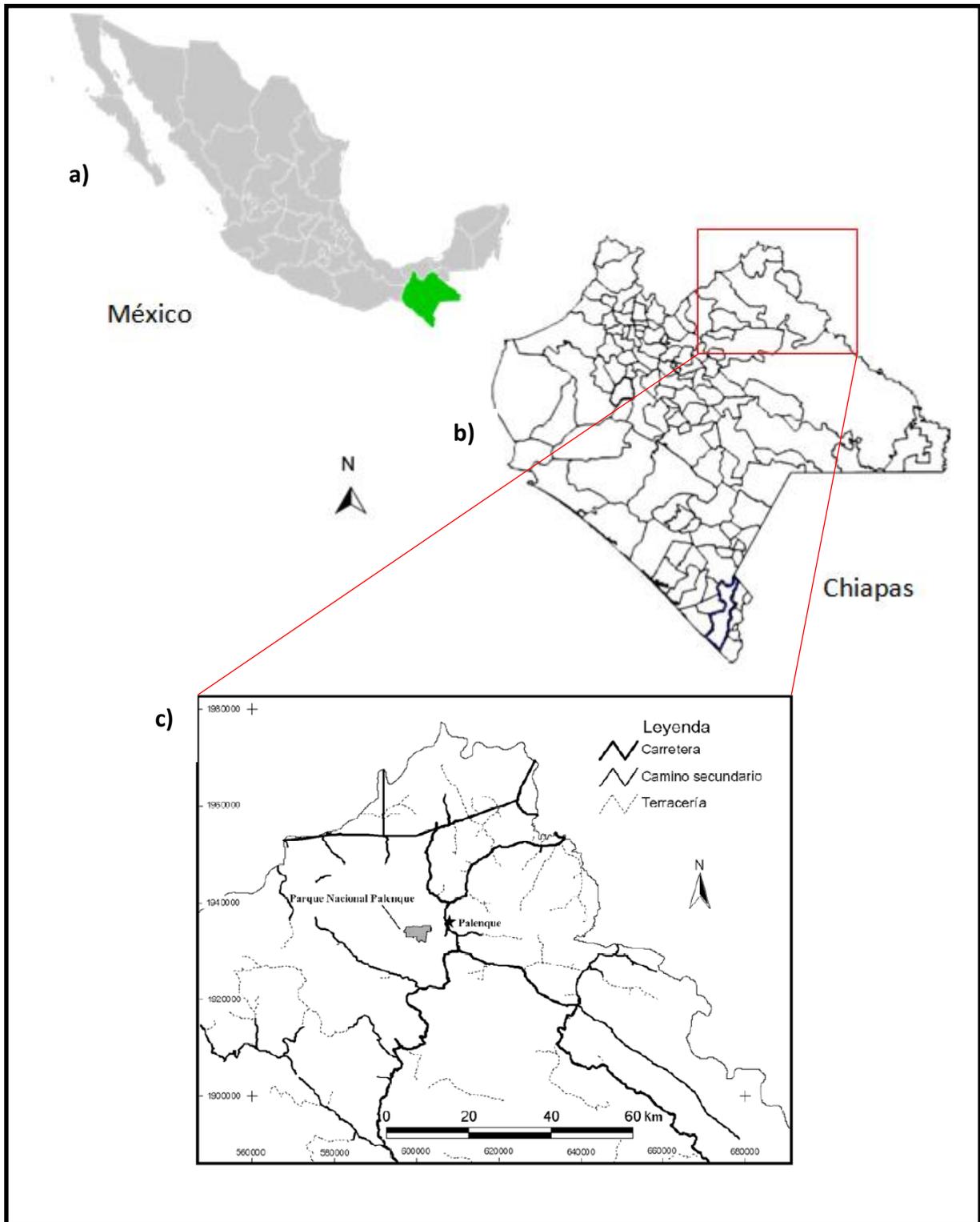


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. **(a)** Estado de Chiapas en la República Mexicana. **(b)** Zona norte del estado de Chiapas. **(c)** Parque Nacional Palenque en la zona norte del estado. (Modificado de Ochoa-Gaona *et al.*, 2007).



Figura 2. Vista general de la Zona Arqueológica de Palenque



Figura 3. Vista del Conjunto Palacio



Figura 4. Vista del Conjunto Murciélagos (muro sureste)

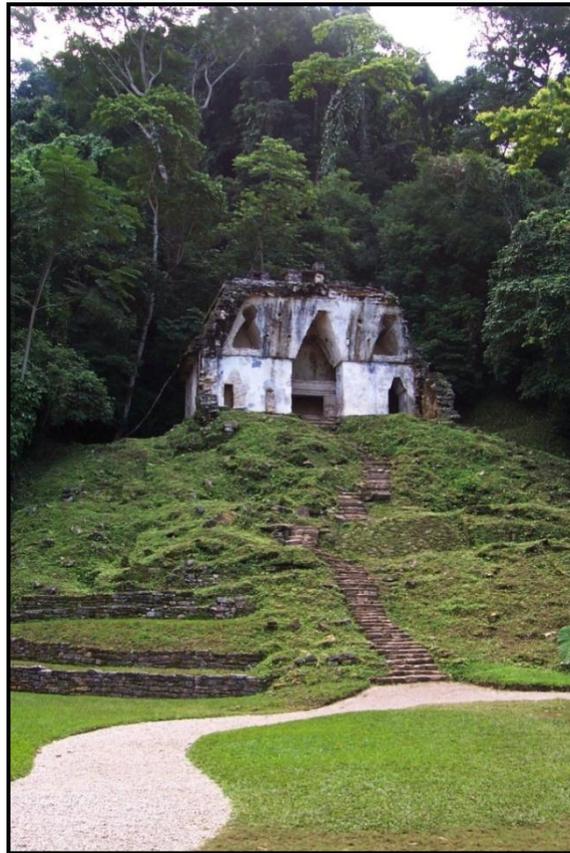


Figura 5. Vista del Templo de la Cruz Foliada

V. MATERIAL Y MÉTODO

▪ Trabajo de Campo y Herbario

Se efectuaron dos colectas de musgos en tres conjuntos monumentales representativos de la Zona Arqueológica de Palenque (Fig. 2): a) monumentos abiertos: expuestos y libres de cobertura vegetal de la selva circundante (Conjunto Palacio, Fig. 3); b) monumentos parcialmente cubiertos por la selva en alguno de sus muros (Templo de la Cruz Foliada, Fig. 5) y, c) monumentos inmersos en la selva (Conjunto Murciélagos, Fig. 4) (Fig. 6). Las colectas se realizaron en agosto y en octubre de 2008, según las técnicas convencionales señaladas por Delgadillo y Cárdenas (1990). Se tomaron 113 muestras de acuerdo a los criterios de tamaño y abundancia en cada uno de los monumentos (Figs. 7-9). Los ejemplares se determinaron principalmente con las claves en Sharp *et al.* (1994) y fueron depositados en la Colección de Briofitas del Herbario Nacional de México (MEXU).

En 16 puntos de la segunda visita (octubre de 2008), además de los musgos, se muestrearon depósitos de suelo acumulado entre el monumento y el musgo. Las muestras se almacenaron en bolsas de polietileno para su análisis posterior.

▪ Laboratorio

Para cada muestra de suelo, se determinaron las características fisicoquímicas de pH, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total, siguiendo los procedimientos estandarizados de operación del Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM.

El valor de pH se determinó en extracto acuoso y con solución de KCl 1 M en relación sustrato: solución de 1:2.5, con un potenciómetro Beckman Φ 34 a 25°C. La determinación se efectuó después de someter las muestras de suelo a 18 horas de agitación constante (a 120 rpm) en un agitador Shaker SK-71 e incubadas a 25°C.

La conductividad eléctrica se midió en un extracto acuoso 1:5 con un conductímetro Cd 19 (Senso Direct Aqua Lytic, resolución de 0.01dS/m) calibrado con KCl 0.05 M a 25°C. La determinación se efectuó después de que los suelos fueron sometidos a 18 horas de agitación constante (120 rpm) en un agitador Shaker SK-71 e incubados a 25°.

Para el cálculo del porcentaje de materia orgánica y de nitrógeno total, los suelos fueron previamente sometidos a un tratamiento de eliminación de carbono inorgánico (presente en la

forma de carbonatos). Para llevar a cabo lo anterior, se siguió la metodología propuesta por Midwood y Boutton (1998) tamizando las muestras a 150 μm ; adicionando HCl 0.5M durante 24 horas y, posteriormente, lavando 4 veces (cada 24 horas) con agua destilada para eliminar los residuos de cloruro de calcio. Posteriormente, las muestras se secaron a 60°C durante 24 horas y se tamizaron nuevamente a 150 μm . La cuantificación de carbono y nitrógeno se realizó por duplicado en un determinador elemental Perkin-Elmer 2400 oxidando 20 μg de cada muestra a 900°C.

Una vez medidas las concentraciones de C y N total para cada una de las muestras, se realizó el ajuste al peso seco inicial antes del tratamiento con ácido. Con lo anterior, se obtuvo el porcentaje real de carbono orgánico y de nitrógeno total.

El porcentaje de materia orgánica se calculó multiplicando el valor real de carbono orgánico por el factor 1.724, que es un valor aceptado desde hace tiempo bajo el supuesto de que la materia orgánica posee un 58% de carbono orgánico (Thompson y Troeh, 1988).

- **Distribución de especies**

Se realizó un análisis de similitud con datos cualitativos (presencia/ausencia de especies en cada monumento muestreado) utilizando NTSYSpc® (Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System) versión 2.0.

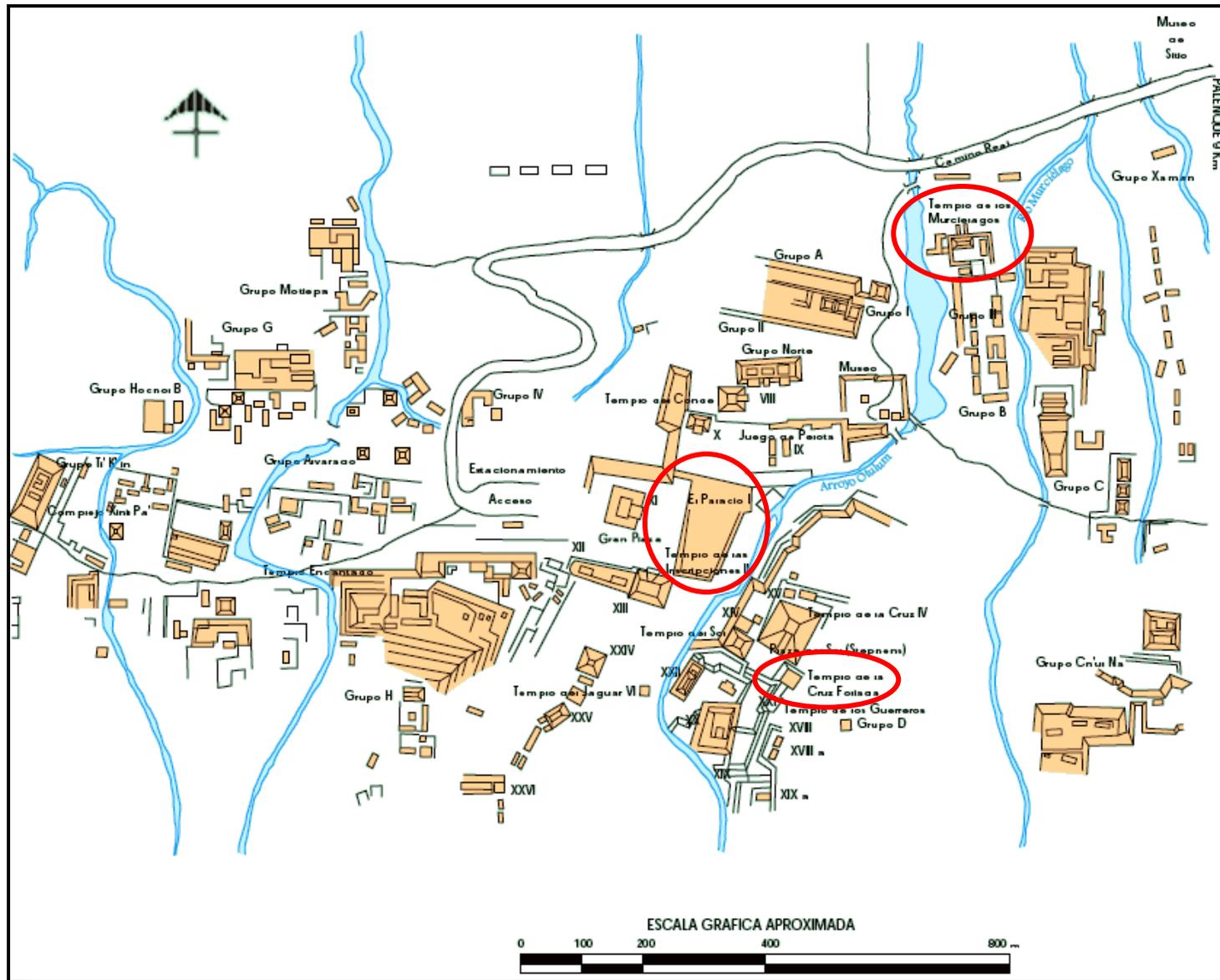


Figura 6. Mapa de la Zona Arqueológica de Palenque señalando los sitios de colecta. (Modificado de INEGI, 2009 b).



Figura 7. Puntos de colecta: 36 a 45 (agosto 2008) y 46 a 71 (octubre 2008) en el Conjunto Murciélagos (Tomado de Loyo, 2009).

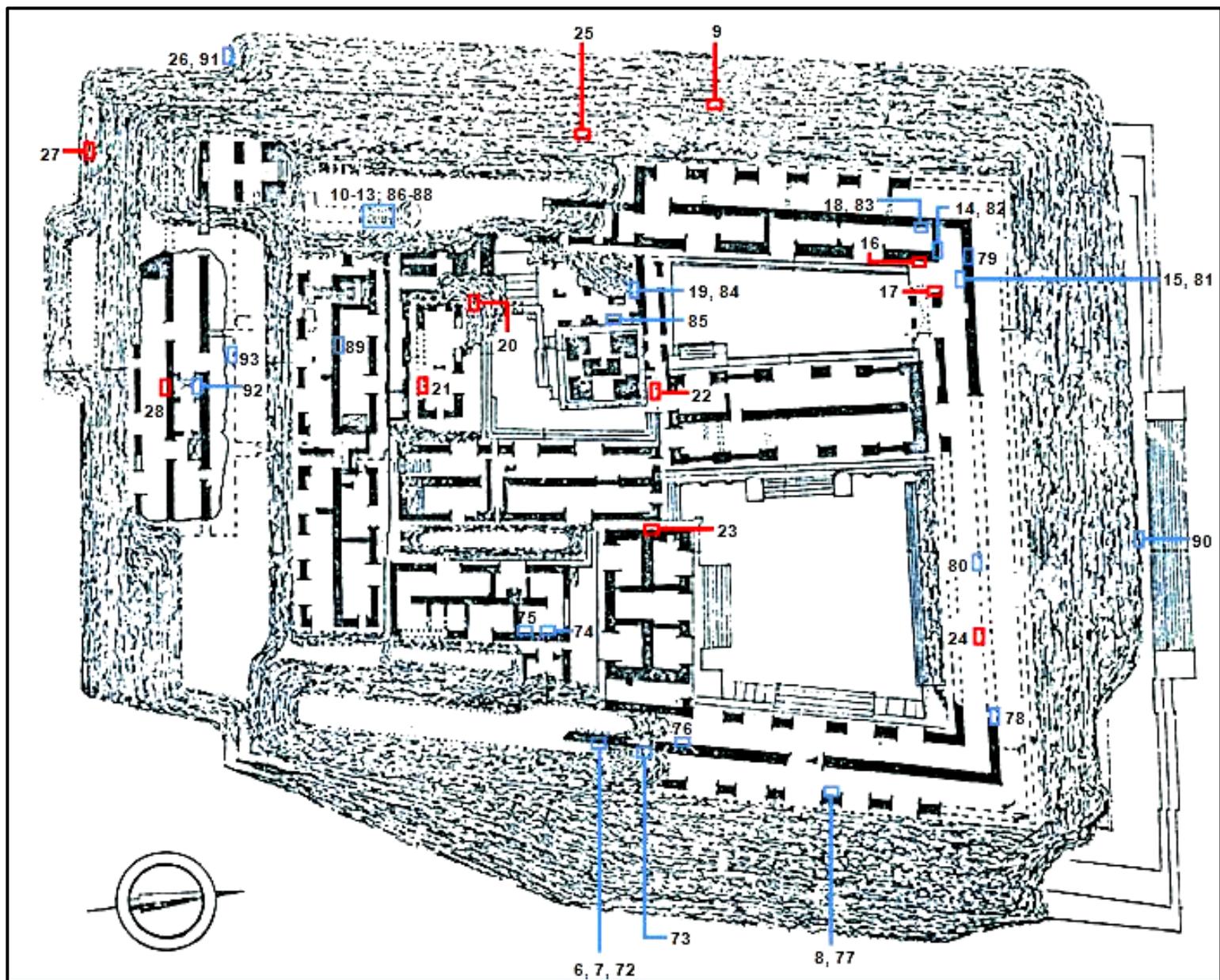


Figura 8. Puntos de colecta: 6 a 28 (agosto 208) y 72 a 93 (octubre 2008) en el Conjunto Palacio (Modificado de Arqueología Mexicana).

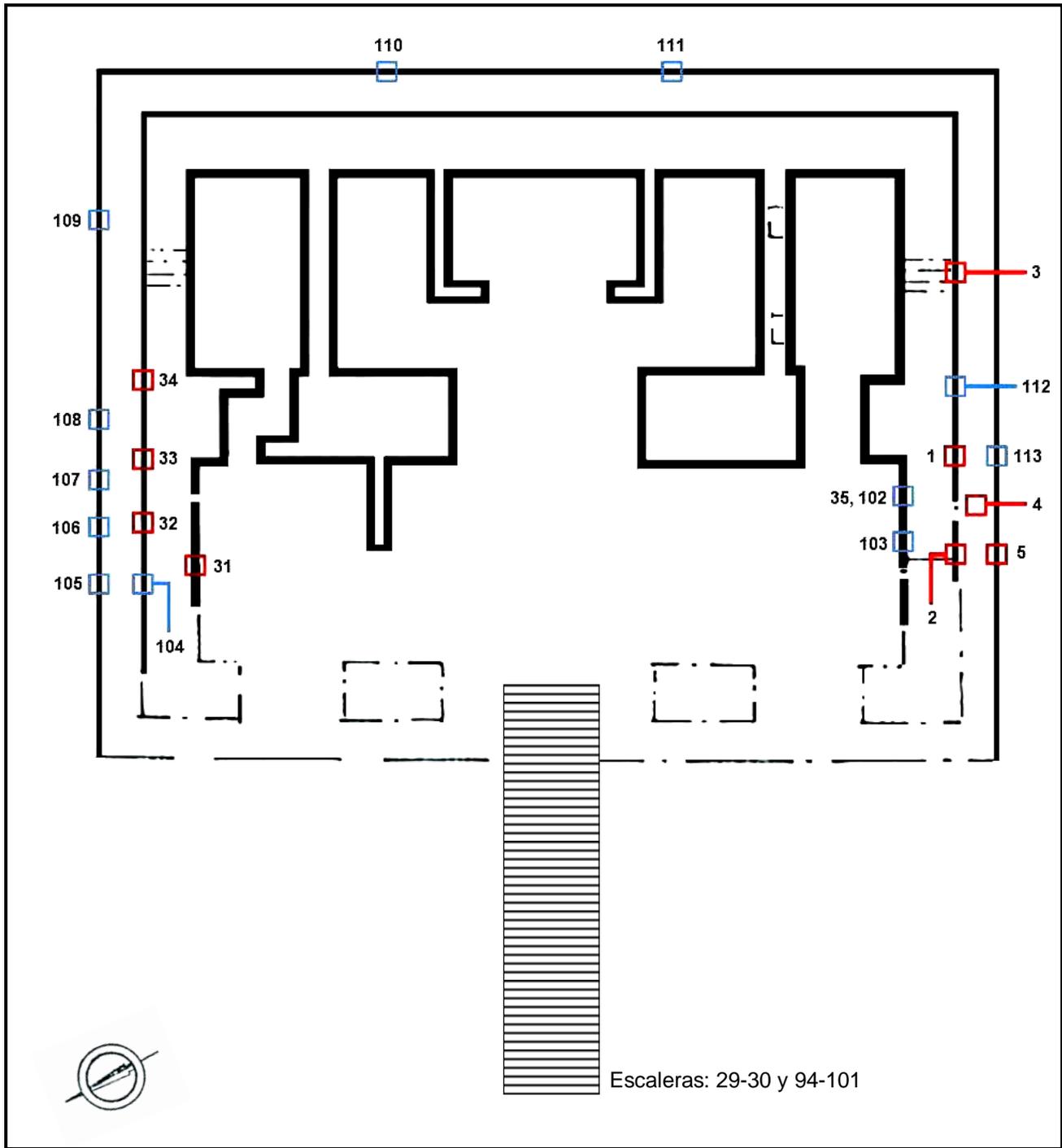


Figura 9. Puntos de colecta: 1 a 5 y 29 a 35 (agosto 2008), y 94 a 113 (octubre 2008) en el Templo de la Cruz Foliada (Esquema original, sin escala).

VI. RESULTADOS

Musgos de la Zona Arqueológica de Palenque

Como resultado del estudio florístico se identificaron 26 especies y una variedad de musgos, distribuidas en 22 géneros y 13 familias (Apéndice I). La familia Pottiaceae fue la más diversa, con siete especies y una variedad. El resto de las familias están representadas por una a tres especies. Lo anterior representa cerca del 20% de los musgos reportados para la zona (Delgadillo y Cárdenas, 2002; Equihua *et al.*, 2001).

Con respecto al número de especies, el monumento que presentó la mayor diversidad fue el Conjunto Murciélagos al contar con 17 de los 27 taxa (12 pleurocárpicos y 5 acrocárpicos). Este edificio se encuentra alejado del centro de la zona arqueológica y, por estar inmerso en la selva, conserva mayor humedad. Aunado a esto, es una de las construcciones que desde su descubrimiento no ha sido sometida a ningún proceso de limpieza y restauración (Loyo, 2009). El Templo de la Cruz Foliada comparte 6 y 7 especies con el Conjunto Palacio y el Conjunto Murciélagos, respectivamente. Es un edificio con dirección NE que presenta muros con exposición permanente a la radiación solar, pero también muros siempre sombreados por la vegetación contigua. Debido a estas características contrastantes, dicho edificio aloja una diversidad de especies intermedia entre los monumentos muestreados (7 acrocárpicos y 5 pleurocárpicos). El Conjunto Palacio, localizado en la parte media central de la zona arqueológica, es un complejo de edificios expuestos; todas las especies de musgos encontradas son acrocárpicas y la mayoría de éstas pertenecen a la familia Pottiaceae (8 de 11 taxa identificados en este Conjunto).

El análisis de similitud de Jacquard, muestra que el Conjunto Palacio y el Templo de la Cruz Foliada (próximos entre sí) son más parecidos respecto al Conjunto Murciélagos (Fig. 10).

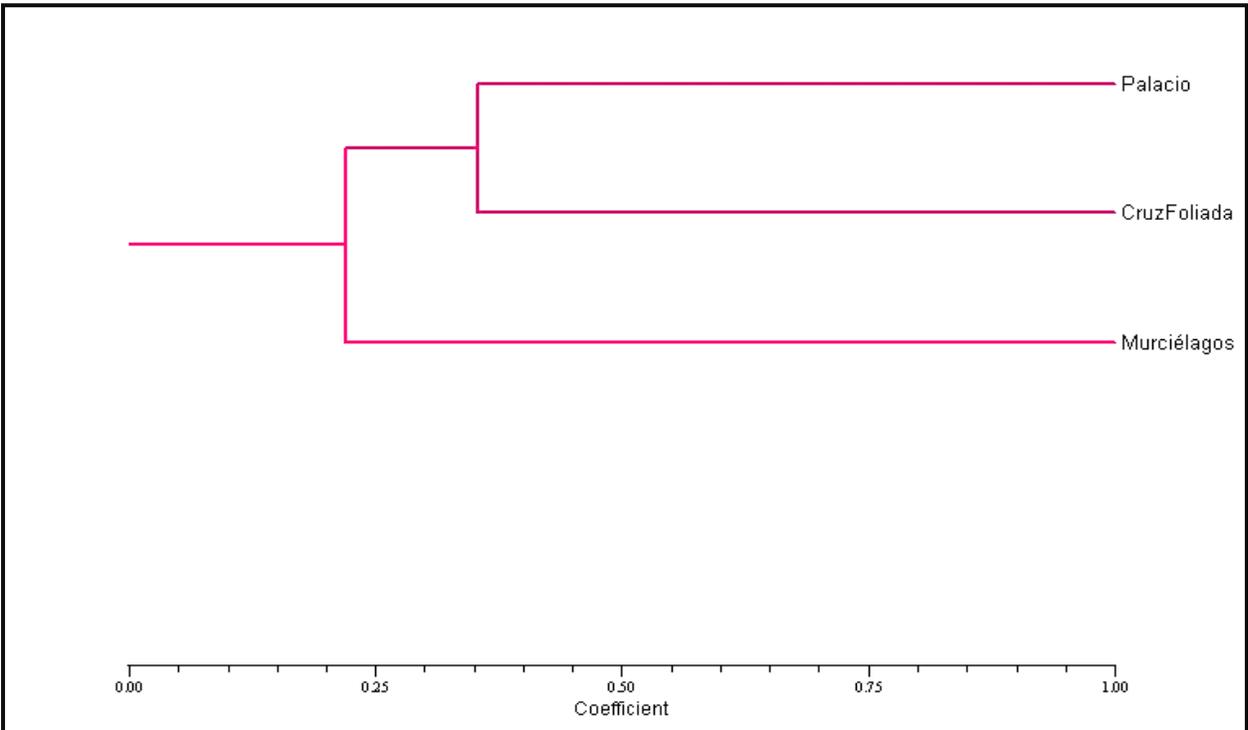


Figura 10. Fenograma de similitud florística de los musgos en los tres edificios muestreados.

Cuatro especies parecen ser nuevos registros para el estado de Chiapas: *Bryum apiculatum* Schwaegr., *Fissidens reticulosus* (C. Müll.) Mitt., *Hyophiladelphus agrarius* (Hedw.) R.H. Zander y *Luisierella barbula* (Schwaegr.) Steere. Las dos primeras se encontraron sólo en el Conjunto Palacio, la tercera sólo en el Conjunto Murciélagos y la última en el Conjunto Palacio y en el Templo de la Cruz Foliada. *Bryum apiculatum* es un musgo pantropical que se puede encontrar en suelos húmedos a relativamente secos o sobre rocas en ambientes semisombreados a abiertos; *Fissidens reticulosus* se encuentra en suelos húmedos, sombreados y sobre roca caliza en bosques de bajas a moderadas altitudes (30-1500 m snm). *Hyophiladelphus agrarius* se encuentra sobre suelo, paredes o roca caliza y *Luisierella barbula* se puede localizar sobre calizas húmedas en bajas altitudes (Sharp *et al.*, 1994).

Cuatro de las cinco especies de musgos identificadas por Hale y reportadas en el Informe Getty (2006) para la Escalinata Jeroglífica de Copán, Honduras también se encontraron en el área de estudio: *Eulacophyllum cultelliforme* (Sull.) Buck & Irel. (= *Stereophyllum cultelliforme* (Sull.) Mitt.), *Neohyophila sprengelii* (Schwaegr.) Crum, *Papillaria nigrescens* (Hedw.) Jaeg. y *Racopilum tomentosum* (Hedw.) Brid.

Análisis de las muestras de suelos acumulados

Alrededor del 45% de los ejemplares colectados se encontraron directamente sobre el material de construcción (roca caliza y/o estuco), sin acumulación de suelo. En el resto de las muestras, se observó cierta acumulación de algún tipo de suelo entre el monumento y el musgo. Los suelos más abundantes contenían algas, humus y barro.

pH

Los valores del análisis de pH con extracto acuoso y con KCl 1M no variaron significativamente entre un procedimiento y otro. Como valor de referencia se tomó el pH de una muestra pulverizada de roca caliza (muestra 83), que fue de 9.4 (fuertemente alcalino) y sobre la cual se encontraba *Molendoa sendtneriana* (B.S.G.) Limpr. Excepto por la muestra no. 79, cuyo valor de pH fue igual al de referencia y sobre la cual también crece dicha especie, las trece muestras restantes presentaron un pH menor (hasta 6.6). Once de estas se clasificaron como neutras y sólo dos como medianamente alcalinas (según los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000; Tabla 1).

El pH de los suelos colectados en el Templo de la Cruz Foliada y en el Conjunto Murciélagos fue clasificado como neutro en todos los casos. Se tomaron de lugares húmedos, tanto expuestos como sombreados. Sin embargo, para el Conjunto Palacio los valores van desde neutros hasta fuertemente alcalinos y no se observa relación alguna con respecto a la humedad y a la exposición solar del lugar de colecta.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de todos los suelos (excepto en la muestra 83), fue menor a 1 dS/m; este valor indica efectos despreciables de salinidad. La muestra 83 (roca caliza pulverizada) se clasificó como muy ligeramente salina (NOM-021-RECNAT-2000; Tabla 1).

Materia orgánica

Nueve de las catorce muestras de suelo a las que se les determinó el porcentaje de materia orgánica, presentaron valores muy altos (desde 7.5 hasta 36.1%). Del resto, sólo uno de ellos se clasificó como muy bajo (muestra 80, asociada a *Neohyophila sprengelii* (Schwaegr.) Crum var. *sprengelii*). (NOM-021-RECNAT-2000; Tabla 2).

Todas las muestras de suelo colectadas en el Conjunto Murciélagos y en el Templo de la Cruz Foliada presentaron valores altos y muy altos de materia orgánica. En el caso del Conjunto Palacio los valores van desde muy bajos hasta muy altos no mostrando relación aparente con la humedad relativa, o con la exposición al sol del lugar de colecta.

Nitrógeno total y relación C/N

Todas las muestras (excepto la 80), presentaron valores altos y muy altos de nitrógeno total. La muestra 80, colectada en el Conjunto Palacio, se clasificó como muy bajo (de acuerdo con los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000; Tabla 2).

La relación C/N es un índice de la fertilidad de los suelos; indica la capacidad de descomposición de la materia orgánica por los microorganismos del suelo. La intensidad de mineralización del humus depende, entre otras variables, del contenido de nitrógeno de la materia orgánica. Los suelos ricos en compuestos nitrogenados de elevado peso molecular poseen una relación C/N muy baja (<20/1), que es óptima para los procesos de descomposición microbiana (Steubing *et al*, 2002). Todos los suelos analizados exhibieron una relación C/N muy baja (desde 8.1 hasta 11.6) (NOM-021-RECNAT-2000; Tabla 2).

Tabla 1. Valores de pH (KCl 1M, 1:2.5) y de conductividad eléctrica (C.E. 1:5, dS/m) de los suelos colectados, clasificación, y nombre(s) de la(s) especie(s) asociada(s).

Muestra	pH	Clasificación	C.E.	Especie
83	9.4	F. alcalino	1.13	<i>Molendoa sendtneriana</i>
46	7.1	Neutro	0.46	<i>Fissidens elegans</i>
48	6.9	Neutro	0.57	<i>Fissidens reticulosus</i> con <i>Philonotis cernua</i>
52	6.8	Neutro	--	<i>Weissia jamaicensis</i>
55	7.0	Neutro	0.46	<i>Weissia jamaicensis</i>
59	6.7	Neutro	0.85	<i>Weissia jamaicensis</i>
60	6.6	Neutro	--	a) <i>Vesicularia vesicularis</i> var. <i>rutilans</i> con <i>Philonotis cernua</i> b) <i>Taxiphyllum taxirameum</i>
61	6.7	Neutro	1.02	<i>Philonotis cernua</i>
78	7.0	Neutro	--	<i>Weissia jamaicensis</i>
79	9.4	F. alcalino	0.58	<i>Molendoa sendtneriana</i>
80	7.8	M. alcalino	0.30	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i>
86	7.9	M. alcalino	0.31	<i>Philonotis cernua</i> con <i>Fissidens dissitifolius</i>
98	6.9	Neutro	--	<i>Philonotis sphaericarpa</i>
101	7.3	Neutro	0.47	<i>Weissia jamaicensis</i>
106	7.1	Neutro	0.78	<i>Vesicularia vesicularis</i> var. <i>rutilans</i> con <i>Philonotis cernua</i>

F.= Fuertemente; M.= Medianamente; -- = No determinado

Tabla 2. Valores del porcentaje de materia orgánica (% M.O.), de Nitrógeno total (N total) y de la relación Carbono: Nitrógeno (C/N) de los suelos colectados, clasificación, y nombre(s) de la(s) especie(s) asociada(s).

Muestra	% M.O.	Clasificación	N total	Clasificación	Relación C/N	Especie
46	5.3	Alto	0.31	Muy alto	10.0	<i>Fissidens elegans</i>
48	8.6	Muy alto	0.53	Muy alto	9.4	<i>Fissidens reticulosus</i> con <i>Philonotis cernua</i>
52	12.5	Muy alto	0.74	Muy alto	9.7	<i>Weissia jamaicensis</i>
56	36.1	Muy alto	1.89	Muy alto	11.1	<i>Papillaria nigrescens</i>
59	9.7	Muy alto	0.56	Muy alto	10.1	<i>Weissia jamaicensis</i>
60	20.9	Muy alto	1.42	Muy alto	8.5	a) <i>Vesicularia vesicularis</i> var. <i>rutilans</i> con <i>Philonotis cernua</i> b) <i>Taxiphyllum taxirameum</i>
61	7.5	Muy alto	0.49	Muy alto	8.8	<i>Philonotis cernua</i>
78	9.9	Muy alto	0.59	Muy alto	9.7	<i>Weissia jamaicensis</i>
79	3.0	Medio	0.21	Alto	8.2	<i>Molendoa sendtneriana</i>
80	0.4	Muy bajo	0.03	Muy bajo	8.1	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>Sprengelii</i>
86	2.8	Medio	0.19	Alto	8.6	<i>Philonotis cernua</i> con <i>Fissidens dissitifolius</i>
98	20.0	Muy alto	1.00	Muy alto	11.6	<i>Philonotis sphaericarpa</i>
101	5.7	Alto	0.39	Muy alto	8.4	<i>Weissia jamaicensis</i>
106	13.9	Muy alto	0.73	Muy alto	11.1	<i>Vesicularia vesicularis</i> var. <i>rutilans</i> con <i>Philonotis cernua</i>

VII. DISCUSIÓN

Los monumentos arqueológicos mayas están localizados en zonas tropicales cuyos altos niveles de humedad y de temperatura facilitan el intemperismo químico de sus materiales constructivos. Estas condiciones promueven además la colonización biológica en estos sustratos.

Los climas tropicales presentan altos valores de biodiversidad en los que intervienen organismos de las primeras etapas de sucesión (algas, musgos y líquenes) hasta las etapas maduras (plantas vasculares); en consecuencia, los procesos de biodeterioro en estos climas son igualmente diversos.

Los monumentos de la Zona Arqueológica de Palenque, Chiapas están sujetos a diferentes regímenes de exposición solar, humedad relativa, temperatura, cobertura vegetal y procesos de restauración y conservación. Por ello hay diferencias cualitativas y cuantitativas en la colonización biológica de cada edificio.

Los musgos son uno de los grupos pioneros encontrados en los monumentos del área de estudio. Como era de esperarse, la mayoría de los musgos colectados habían sido registrados para la Selva Lacandona (Delgadillo y Cárdenas, 2002). Es probable que todavía se encuentren otras especies como pioneras en esta zona; algunas especies sólo se encontraron de manera fragmentaria o en etapas juveniles inadecuadas para su determinación. Los de la familia Pottiaceae son los mejor representados con ocho de los 27 taxa colectados. Esta familia se caracteriza por crecer en ambientes variables o rigurosos y en sitios sujetos a desecación frecuente, como son las condiciones prevalecientes en el Conjunto Palacio, edificio en el cual se encontró principalmente dicha familia. Las características morfológicas de algunas de estas especies tales como la posición de las hojas sobre el tallo; hojas torcidas, dobladas, crispadas o enrolladas en condición seca que disminuyen la superficie de exposición solar; su naturaleza poiquilohídrica; y las abundantes papilas que forman canales capilares estrechos por donde circula el agua, son evidencia de su adaptación a la sequía, resistencia al calor y a la radiación intensa (Fig. 11; Zander, 1993).

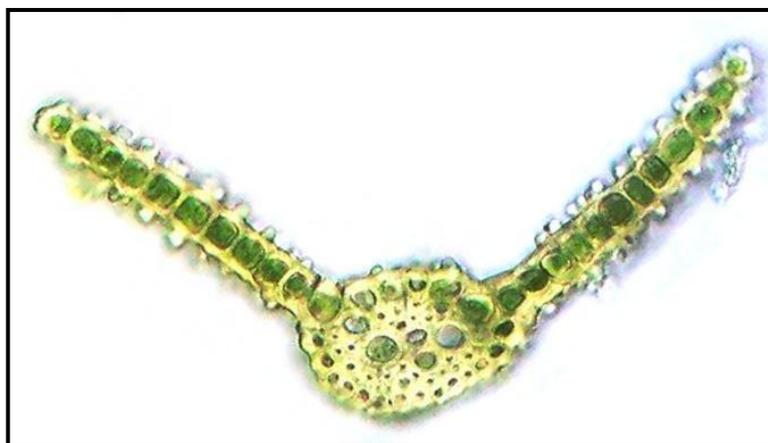


Figura 11. Sección transversal de hoja de *Molendoa sendtneriana* mostrando las células papilosas.

El Conjunto Murciélagos está ubicado dentro de la selva circundante a la zona arqueológica; la mayor humedad relativa y la menor radiación solar directa explican su mayor diversidad florística: presenta 17 de los 27 taxa identificados agrupados en 11 familias de musgos. En contraste, el Templo de la Cruz Foliada tiene características de humedad y de radiación solar intermedias entre el Conjunto Palacio y el Conjunto Murciélagos. Sólo dos del total de especies se encontraron exclusivamente en este edificio: *Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth y *Philonotis sphaericarpa* (Hedw.). Estas especies se colectaron en lugares sombreados y húmedos y corresponden a los hábitats señalados por Sharp *et al.* (1994).

Sólo tres de los 27 taxa se encontraron ampliamente distribuidas en los tres monumentos estudiados: *Hyophila involuta* (Hook.) Jaeg., *Weissia jamaicensis* (Mitt.) Grout y *Philonotis cernua* (Wils.) Griffin & Buck. Las dos primeras pertenecen a la familia Pottiaceae, cuyos hábitats están ampliamente representados y crecen en un amplio espectro de condiciones ambientales (Cárdenas, 1995).

De acuerdo al análisis de similitud de especies, el Conjunto Palacio y el Templo de la Cruz Foliada tienen mayor parecido. Lo anterior podría ser consecuencia de que estos edificios están más cerca entre sí que con respecto al Conjunto Murciélagos y que se localizan en una de las zonas más despejadas y expuestas a la radiación solar directa. Además, han sido sometidos a tratamientos de restauración y limpieza que han alterado los materiales originales y posiblemente la cobertura vegetal al proveer elementos diferentes a las calizas que potencialmente pudieran favorecer la proliferación y el desarrollo de algunas especies (Ramírez, 2006).

Los materiales constructivos de las ruinas mayas son calizas de origen sedimentario y su valor de pH es fuertemente alcalino (> 8.5). Sin embargo, más de la mitad de los musgos colectados no se encontraron directamente sobre la roca desnuda. Entre el monumento y la planta se hallaron diversos tipos y cantidades variables de suelo acumulado tanto en superficies horizontales como en muros verticales (figura 12). Las algas, el barro y el humus fueron los depósitos de suelo más comunes. En la mayoría de los casos, el pH de estos depósitos fue neutro, y el porcentaje de materia orgánica muy alto. Estos resultados podrían indicar que no todos los musgos colectados sobre los monumentos son calcícolas y/o epilíticos estrictos. En muchos casos, ejemplares de la misma especie se colectaron de sustratos con diferentes valores de pH, lo cual sugiere una baja especificidad a la acidez del sustrato (Tabla 1).

Los musgos son organismos pioneros, pueden crecer sobre superficies desnudas y estar entre los principales contribuyentes de materia orgánica no descompuesta (Longton, 1992). La acumulación de suelo promueve el crecimiento de helechos y de plantas superiores y señala a los musgos como factor importante en la sucesión primaria.



Figura 12. Acumulación de suelo en muros verticales del Conjunto Murciélagos (Punto 51 de colecta).

La mayoría de los suelos colectados presentaron valores de materia orgánica muy altos y pH neutros como en los suelos de los trópicos húmedos. Mendoza-Vega y Messing (2005) reportaron porcentajes de materia orgánica de 5.9 y 7.8 y pH de 7.3 (neutro) para el horizonte A de dos suelos calcáreos (phaeozem calcárico y rendzina, respectivamente) de la región de Lacanjá-Chanzayab en la Selva Lacandona. Los suelos con altos contenidos de carbonato de calcio frecuentemente acumulan más materia orgánica que otros suelos debido a que el calcio produce complejos húmicos resistentes a la descomposición, y la reprecipitación del CaCO_3 puede proteger a la materia orgánica de la biodegradación (Mendoza-Vega y Messing, 2005).

A diferencia de la mayoría de las muestras, tres depósitos de suelo colectados para este estudio presentaron valores bajos de materia orgánica (0.4, 2.8 y 3). Su pH corresponde a los únicos valores alcalinos (7.8, 7.9 y 9.4 respectivamente), lo cual confirma la relación directa entre el contenido de materia orgánica y la acidez del medio. A su vez, estos porcentajes coinciden con los señalados por Ortega-Morales *et al.* (1999), para las rocas calizas de los edificios de la Zona Arqueológica de Uxmal, Yucatán.

Aunque las briofitas carecen de tejidos lignificados, cuando menos en las zonas templadas, con frecuencia poseen tasas de descomposición más lentas que las de las plantas vasculares. En ellas se han identificado metabolitos secundarios de tipo fenólico que inhiben el crecimiento de los microorganismos descomponedores. Además, se han relacionado las bajas concentraciones de nitrógeno de muchos taxa con las altas tasas de C:N (Bates, 2000, Glime, 2007). La relación C:N indica la capacidad de descomposición de la materia orgánica por los microorganismos del suelo (Steubing *et al.*, 2002). A menor tasa C:N mayor es la mineralización del nitrógeno, es decir, mayor es la disponibilidad de este elemento en el suelo. En el presente estudio, los valores de C:N de todos los sustratos son muy bajos (<11.6), lo cual indica que el suelo acumulado no necesariamente deriva de gametofitos senescentes de briofitas. Debido a que gran parte de los musgos colectados se encontraron sobre películas biológicas (biofilms) de algas y cianoprocariontes creciendo directamente sobre las construcciones, es posible atribuir a estas últimas la principal aportación de materia orgánica y de nitrógeno a través de su actividad fototrófica, la producción de detrito y la acumulación de polvo atmosférico y partículas depositadas sobre dichos crecimientos (Ortega-Morales *et al.*, 1999).

La mineralización de la materia orgánica permite a las plantas absorber el nitrógeno en forma de iones (Steubing *et al.*, 2002). La mayoría de los suelos analizados presentan valores altos y muy altos del contenido de nitrógeno total, que aunados a las bajas tasas de C:N representan una fuente importante de este recurso para las comunidades vegetales

encontradas en el área de estudio. Otras fuentes de nutrientes minerales se obtienen de iones en solución acuosa provenientes de la deposición atmosférica del viento y de la lluvia (Longton, 1992). El régimen de lluvias constante de la zona de estudio junto con la alta capacidad de intercambio catiónico de las briofitas facilita el aprovechamiento de los solutos solubles. Los musgos contribuyen a la formación de humus y éste ayuda a mantener la fertilidad del sustrato al reducir el drenaje y a través de las asociaciones químicas que se forman con los iones minerales, principalmente calcio presente en las calizas (Longton, 1992).

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la concentración total de iones de la solución del suelo. Los valores obtenidos revelan efectos despreciables de la salinidad y una reserva importante de sales disponibles para las plantas.

En los bosques tropicales, la influencia de los musgos en retener nutrientes esenciales provenientes de la deposición atmosférica es muy significativa ya que enriquecen el sustrato y esto favorece el desarrollo posterior de plantas vasculares. Sin embargo, una proporción es retenida indefinidamente como materia orgánica no descompuesta. En muchos de estos casos, las briofitas compiten con las plantas vasculares de manera muy efectiva por los nutrientes disponibles (Longton, 1992). Las observaciones en campo reflejan comunidades compuestas por musgos, hepáticas, helechos y plantas superiores en áreas relativamente estrechas, lo cual representa una evidencia de la competencia por recursos que a su vez hace patente los múltiples efectos que pueden tener sobre el sustrato.

Dos taxa presentan asociaciones muy particulares con su sustrato que difieren marcadamente del resto: *Molendoa sendtneriana* y *Neohyophila sprengelii* var. *sprengelii*. Ambas pertenecen a la familia Pottiaceae y fueron colectadas en el Conjunto Palacio y en los muros expuestos del Templo de la Cruz Foliada. La mayoría de los ejemplares se encontraron directamente sobre el material constructivo (roca caliza y estuco) y, en el caso de *Molendoa sendtneriana*, estrechamente asociados al alga subárea *Trentepohlia aurea* (Linneaus) Martius. (Fig. 13 y 14). Al determinar el pH de los sustratos, se encontró que los únicos valores alcalinos corresponden a aquellos sobre los cuales crecen estos musgos. Su naturaleza calcícola y epilítica evidenciada con los datos anteriores se pueden relacionar con las observaciones macro y microscópicas de los ejemplares de *Molendoa sendtneriana*, en donde se identificó una disgregación importante de la roca asociada a una red de numerosos rizoides entrelazados. A su vez, los porcentajes de materia orgánica del sustrato fueron los más bajos en ambos taxa. Las evidencias anteriores podrían estar relacionadas con un papel activo en el desgaste de la roca constructiva de los monumentos. Sería conveniente realizar un estudio *in situ* utilizando

herramientas de microscopía electrónica de barrido, con el fin de evaluar los procesos de biodeterioro y verificar la penetración de rizoides en la roca.



Figura 13. Crecimiento en cojines de *Molendoa sendtneriana* (en verde) y el alga *Trentepohlia aurea* (coloración gris por la presencia de hongos) en el Conjunto Palacio (Punto 89 de colecta).



Figura 14. Detalle del crecimiento de *Molendoa sendtneriana* y el alga *Trentepohlia aurea* en el muro SW del Templo de la Cruz Foliada (Punto 2 de colecta).

Los musgos que crecen sobre los monumentos de la zona arqueológica de Palenque, Chiapas, favorecen la acumulación de suelo y con ello, la posterior colonización de plantas superiores. Excepto en el caso de *Molendoa sendtneriana*, no se encontraron evidencias macroscópicas significativas de daño mecánico como disgregación del material constructivo. Por el contrario, la mayor parte de los ejemplares se colectaron sobre depósitos de suelo acumulados entre la roca y el musgo. Estas observaciones coinciden con lo puntualizado por Lisci *et al.*, (2003) sobre el daño mínimo e indirecto por parte de los musgos sobre los monumentos. La acumulación de suelo permite la germinación de plantas más grandes mecánicamente y químicamente más destructivas.

Souza-Egipsy *et al.*, (2004) comprobaron en que el efecto protector de los musgos sobre el sustrato (arenas) era más fuerte que el efecto destructivo de los propios procesos bioerosivos. La constante precipitación y las altas temperaturas de la zona de estudio provocan una gradual disolución de la roca caliza que es muy porosa y mecánicamente débil. El componente vegetal que crece sobre los monumentos puede amortiguar la intemperización fisicoquímica dentro de ciertos límites, al captar el agua de lluvia y retenerla en sus espacios capilares dentro de los crecimientos. De esta forma, se regula indirectamente el paso de agua y la insolación directa hacia el material de construcción.

El daño potencial provocado por algunas especies de musgos podría ser motivo para aplicar tratamientos de eliminación. Los tratamientos biocidas se han utilizado en lugares como la Escalinata Jeroglífica de Copan, Honduras durante la década de los setentas (Informe Getty, 2006). Uno de los tratamientos más exitosos consistió en una aplicación de solución acuosa de Clorox al 5.25% (hipoclorito de sodio); a este tratamiento siguió una aplicación, hecha al día siguiente, de solución acuosa de Borax al 5%. Las soluciones se aplicaron con un aspersor de mano, a razón de unos 300 cc/m² de Clorox y 500 cc/m² de Borax. Las superficies tratadas no se lavaron con agua después del tratamiento con el fin de que los efectos biocidas residuales permanecieran por más tiempo. El tratamiento se repitió seis meses después, seguido de un tercer tratamiento, aplicado un año después. Después de más de tres décadas se han evaluado los cambios en la colonización del monumento y se encontró una importante disminución cuantitativa y cualitativa de musgos y líquenes que ha quedado reducida a escasas algas y cianoprocariontes. Lo anterior puede representar una opción para la remoción de musgos en los monumentos de Palenque, sin embargo se deben realizar estudios que evalúen el efecto de este tratamiento en la estabilidad estructural de los materiales constructivos.

VIII. CONCLUSIONES

Los musgos están entre los organismos más abundantes en los monumentos de la zona arqueológica de Palenque, Chiapas. Su identificación en estos sustratos es de vital importancia para las tareas de conservación, pero también para corroborar y/o ampliar su registro de distribución.

No todos los musgos que crecen sobre los monumentos arqueológicos están directamente sobre el material constructivo (roca caliza y estuco); por el contrario, gran parte de ellos se encuentran sobre capas variables de suelo acumulado con características fisicoquímicas diferentes a la roca caliza. *Molendoa sendtneriana* merece especial atención al ser una de las más abundantes en los monumentos y porque aparentemente tiene un papel activo en el biodeterioro al participar directamente en la disgregación de la roca caliza.

Los monumentos estudiados no presentan una distribución homogénea de especies ya que están sometidos a diferentes regímenes macro y microambientales que determinan la presencia de especies particulares en cada uno de ellos. Excepto por el Conjunto Murciélagos, los otros edificios han sido parcial (Templo de la Cruz Foliada) o totalmente intervenidos (Conjunto Palacio) en procesos de limpieza y restauración que han modificado su componente biológico natural.

Los suelos acumulados impiden el contacto directo del musgo con la roca por lo que muchos de ellos no se pueden clasificar como epilíticos y calcícolas ya que dichos depósitos presentan valores de pH de neutros a fuertemente alcalinos.

No es posible asegurar que los suelos colectados deriven de gametófitos senescentes de musgos. Las bajas tasas de C:N no corresponden a los valores esperados para tejidos senescentes de briofitas. Es posible que primero se instalen otros organismos como las algas y cianoprocariontes y posteriormente inicie la proliferación de musgos y plantas vasculares que coexisten en una compleja comunidad que compite por recursos.

El principal daño ocasionado por algunos musgos puede considerarse más bien como indirecto al acumular grandes cantidades de sustrato y enriquecer el medio con iones solubles y reservas de nutrimentos. Sin embargo, es necesario realizar estudios *in situ* con técnicas microscópicas como las de electrónica de barrido (SEM) para determinar cuáles musgos producen desgaste biogeoquímico o mecánico a través de la penetración de los rizoides y que permitan establecer la escala de su participación en el biodeterioro.

En cuanto al posible papel protector, y dado que los musgos absorben y retienen el agua de lluvia en sus tejidos y en los espacios capilares formados entre sus colonias, es posible que regulen la filtración de la humedad y el paso de luz hasta la roca caliza. Con ello se disminuye la disolución del carbonato de calcio y el consecuente desgaste por intemperismo químico.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, A., A. M. Pietrini & S. Ricci. 1993. Un'associazione di alghe e muschi in un sito archeologico ipogeo. *Giornale Botanico Italiano* 127(3): 611.
- Altieri, A. & S. Ricci. 1994. Il ruolo delle briofite nel biodeterioramento di materiali lapidei, pp. 329-33. En V. Fascina, H. Ott & F. Zezza (eds.), *Proceedings III International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Venecia.
- Altieri, A. & S. Ricci. 1997. Calcium uptake in mosses and its role in stone biodeterioration. *International Biodeterioration & Biodegradation* 40:201-04.
- Bates, J. W. 2000. Mineral nutrition, substratum ecology, and pollution, pp- 248-311. En A. J. Shaw & B. Goffinet (eds.), *Bryophyte Biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bech-Anderson, J. 1986. Biodeterioration of natural and artificial stone caused by algae, lichens, mosses and higher plants, pp. 126-31. En S. Barry & D. R. Houghton (eds.), *Biodeterioration VI*. Elsevier, New York.
- Buck, R. W. & Goffinet, B. 2000. Morphology and classification of mosses, pp- 71-123. En A. J. Shaw & B. Goffinet (eds.), *Bryophyte Biology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cárdenas, S. A. 1995. Las Pottiaceae (Musci) del Valle de México, México. *Acta Botánica Mexicana* 33:51-61.
- Casas-Sicart, C. & C. Saiz-Jiménez. 1982. Los briófitos de la catedral de Sevilla. *Collectanea Botanica* 13:163-75.
- Crum, H. 1976. *Mosses of the Great Lakes Forest*. Universidad de Michigan 10:1-404.

- Delgadillo, C. & M. A. Cárdenas. 1990. *Manual de briofitas*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 135 pp.
- Delgadillo, C. & A. Cárdenas. 2002. The Lacandon Forest (Chiapas, Mexico): A Benchmark Area for Tropical Mosses. *The Bryologist* 105: 327-33.
- De los Ríos, A., V. Galván & C. Ascaso. 2004. *In situ* microscopical diagnosis of biodeterioration processes at the convent of Santa Cruz la Real, Segovia, Spain. *International Biodeterioration & Biodegradation* 54: 113-20.
- Equihua, C., A. E. Newton, D. García-Ávila, E. De Luna & R. Gradstein. 2001. New Moss Records for Mexico from the Lacandona Tropical Rain Forest, Chiapas. *The Bryologist* 104: 602-06.
- García de Miguel, J. M., L. Sánchez- Castillo, J. J. Ortega-Calvo, J. A. Gil, & C. Saiz-Jiménez. 1995. Deterioration of building materials from the Great Jaguar Pyramid at Tikal, Guatemala. *Building and Environment* 30:591-98.
- García-Rowe, J. & C. Saiz-Jiménez. 1991. Lichens and Bryophytes as agents of deterioration of building materials in Spanish cathedrals. *International Biodeterioration* 28:151-63.
- Getty Conservation Institute & Instituto Hondureño de Antropología e Historia. 2006. La Escalinata Jeroglífica de Copán, Honduras. Resultados de los Estudios y Propuestas de Conservación. Informe del proyecto. Sitio web: http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/copan_sp.pdf
- Glime, Janice M. 2007. *Bryophyte Ecology*. Volumen 1. Physiological Ecology. Ebook patrocinado por Michigan Technological University y la International Association of Bryologists. Acceso el 3 de marzo de 2009 en <http://www.bryoecol.mtu.edu/>.
- Hughes, J. G. 1982. Penetration by rhizoids of the moss *Tortula Muralis* Hedw. into well cemented oolitic limestone. *International Biodeterioration Bulletin* 18: 43:6

- INEGI, 2008 (a) Anuario Estadístico del estado de Chiapas. Medio Ambiente. Sitio web: <http://www.inegi.gob.mx>.
- INEGI, 2008 (b) Compendios Estadísticos Regionales. Región Sur-Sureste. 1. Aspectos Geográficos. Sitio web: <http://www.inegi.gob.mx>.
- INEGI, 2009 (a). Mapa de climas, Chiapas. Información geográfica. Sitio web: <http://www.inegi.gob.mx>.
- INEGI, 2009 (b). Tomado de:
http://www.mapamexico.com.mx/Palenque_Bonampak_Archaeological_Area_Map_Chiapas_Mexico.htm
- Lisci, M., M. Monte & E. Pacini. 2003. Lichens and higher plants on stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 51:1-17.
- Longton, R.E. 1992. The role of bryophytes and lichens in terrestrial ecosystems, pp: 32-76. En J.W. Bates & A.M. Farmer (eds.), *Bryophytes and Lichens in a Changing Environment*. Oxford University Press, Gran Bretaña.
- Loyo, E. E. S. 2009. Distribución de Chroococcales (Cyanoprokaryota) en el Conjunto Murciélagos en la zona arqueológica de Palenque, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Mendoza, L.R. 1980. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. Universidad Autónoma Chapingo. México
- Mendoza-Vega, J. & I. Messing. 2005. The influence of land use and fallow period on the properties of two calcareous soils in the humid tropics of southern Mexico. *Catena* 60: 279-92
- Midwood, A. J. & T. W. Boutton. 1998. Soil carbonate decomposition by acid has little effect on $\delta^{13}\text{C}$ of organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1301-07.

- Miller, A., A. Dionísio & M. F. Macedo. 2006. Primary bioreceptivity: A comparative study of different Portuguese lithotypes. *International Biodeterioration & Biodegradation* 57: 136-42.
- Miranda, F. & E. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-179.
- Miranda, F. 1961. Tres estudios botánicos en la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 26:133-76.
- Müllerried, F.K.G. 1957. *Geología de Chiapas*. Ediciones del Gobierno de Chiapas, México.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000 (Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis). Sitio web: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/normasoficialesmexicanasvigentes/Recursos%20Naturales/NOM-021-REC NAT-2000.pdf>
- Ochoa-Gaona, S., F. Hernández-Vázquez., B.H.J. De Jong & F.D. Gurri-García. 2007 Pérdida de diversidad florística ante un gradiente de intensificación del sistema agrícola de roza-tumba-quema: un estudio de caso en la selva Lacandona, Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81:65-80
- Ortega, M.O. & G. Hernández. 1998. Biodeterioro de monumentos históricos mayas. *Ciencia y Desarrollo* 139: 48-53
- Ortega-Morales, O., G. Hernández-Duque, L. Borges-Gómez & J. Guezennec. 1999. Characterization of epilithic microbial communities associated with Mayan stone monuments in Yucatan, Mexico. *Geomicrobiology Journal* 16:221-32
- Pennington T.D. & J. Sarukhán. 2005. *Árboles Tropicales de México*. 3a. Edición. Instituto de Ecología, UNAM y Fondo de Cultura Económica. México.

- Porta, J., M. López-Acevedo & C. Roquero. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España 960 pp.
- Ramírez, V. M. 2006. Caracterización de los crecimientos algales causantes del biodeterioro en la zona arqueológica de Palenque (Chiapas, México). Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Sistemática). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Rohlf, F. J. 1998. NTSYSpc. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. Vers. 2.0. Exeter Software, New York.
- Sarro, M.I., A.M. García, V.M. Rivalta, D.A. Moreno & I. Arroyo. 2006. Biodeterioration of the Lions Fountain at the Alhambra Palace, Granada (Spain). *Building and Environment* 41: 1811-20.
- Sharp, A. J., H. Crum & P. M. Eckel (eds.). 1994. *The Moss Flora of Mexico*. Memoirs of the New York Botanical Garden. 69. New York. 1113 pp.
- Smith, A. J. E. 1982. Epiphytes and epiliths, pp.191-227 *En* A. J. E. Smith (ed.), *Bryophyte Ecology*. Chapman & Hall. Londres.
- Souza-Egipsy, V., J. Wierzchos., C. Sancho, A. Belmonte & C. Ascaso. 2004. Role of biological soil crust cover in bioweathering and protection of sandstones in a semi-arid landscape (Torrollones de Gabarda, Huesca, Spain). *Earth Surface Processes and Landforms* 29:1651-61.
- Steubing, L., R. Godoy & M. Alberdi. 2002. *Métodos de ecología vegetal*. Universidad Austral de Chile. Chile 230 pp.
- Thompson, L.M. & F.R. Troeh. 1988. Los suelos y su fertilidad. 4ta Edición. Editorial Reverte. España

- Tomaselli, L., G. Lamenti, M. Bosco & P. Tiano. 2000. Biodiversity of photosynthetic micro-organisms dwelling on stone monuments. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46:251-58.
- Videla, H. A., P. S. Guiamet & S. Gómez de Saravia. 2000. Biodeterioration of Mayan archaeological sites in the Yucatán Peninsula, Mexico. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46:335-41.
- Warscheid, Th. & J. Braams. 2000. Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46: 343-68.
- Zander, R.H. 1993. Genera of Pottiaceae: mosses of harsh environments. *Bulletin of the Buffalo Society for Natural Sciences* 32: 1:378

APÉNDICE I. Listado y matriz de presencia/ausencia de los musgos de los monumentos de la Zona Arqueológica de Palenque, Chiapas. Los * indican posibles registros nuevos para el estado.

Especie	Conjunto Palacio	Templo de la Cruz Foliada	Conjunto Murciélagos
<i>Barbula indica</i> (Hook.) Spreng. ex Steud. var. <i>indica</i>	1	0	0
* <i>Bryum apiculatum</i> Schwaegr.	1	0	0
<i>Chryso-hypnum diminutivum</i> (Hampe) Buck	0	0	1
<i>Cyrto-hypnum involvens</i> (Hedw.) Buck & Crum	0	0	1
<i>Eulacophyllum cultelliforme</i> (Sull.) Buck & Irel.	0	1	1
<i>Fissidens dissitifolius</i> Sull.	1	1	0
<i>Fissidens elegans</i> Brid.	0	0	1
* <i>Fissidens reticulosus</i> (C. Müll.) Mitt.	0	0	1
<i>Haplocladium microphyllum</i> (Hedw.) Broth	0	1	0
<i>Helicodontium capillare</i> (Hedw.) Jaeg.	0	0	1
* <i>Hyophiladelphus agrarius</i> . (Hedw.) R.H. Zander	1	0	0
<i>Hyophila involuta</i> (Hook.) Jaeg.	1	1	1
* <i>Luisierella barbula</i> (Schwaegr.) Steere	1	1	0
<i>Molendoa sendtneriana</i> (B.S.G.) Limpr.	1	1	0
<i>Neohyophila sprengelii</i> (Schwaegr.) Crum var. <i>sprengelii</i>	1	0	0
<i>Neohyophila sprengelii</i> (Schwaegr.) Crum var. <i>stomatodonta</i> (Card.) Zand.	1	0	0
<i>Papillaria nigrescens</i> (Hedw.) Jaeg.	0	1	1
<i>Philonotis cernua</i> (Wils.) Griffin & Buck	1	1	1
<i>Philonotis sphaericarpa</i> (Hedw.) Brid	0	1	0
<i>Pirella pachyclada</i> (Ren. & Card.) Card.	0	0	1
<i>Racopilum tomentosum</i> (Hedw.) Brid.	0	0	1
<i>Stereophyllum radiculosum</i> (Hook.) Mitt.	0	1	1
<i>Taxiphyllum taxirameum</i> (Mitt.) Fleisch.	0	0	1
<i>Taxithelium planum</i> (Brid.) Mitt.	0	0	1
<i>Vesicularia vesicularis</i> (Schwaegr.) Broth. var. <i>rutilans</i> (Brid.) Buck	0	1	1
<i>Weissia jamaicensis</i> (Mitt.) Grout	1	1	1
<i>Zelometeorium patulum</i> (Hedw.) Man.	0	0	1

APÉNDICE II. Listado de las especies por número de colecta, sustrato, orientación y observaciones adicionales (Sol.: soleado, húm.: húmedo, Exp.: expuesto, Somb.: sombreado).

No. de colecta	Especie	Sustrato	Orientación	Observaciones
1	<i>Philonotis cernua</i>	Humus	SW	Sol., húm.
2	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Roca	SW	Sol., húm.
3	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Roca	SW	Sol., seco
4	<i>Hyophila involuta</i>	Roca	SW	Exp., húm.
5	<i>Luisierella barbula</i>	Roca	SW	Somb., húm.
6	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i>	Roca	E	Exp., húm.
7	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i>	Humus	E	Exp., húm.
8	<i>Hyophila involuta</i>	Estuco	-	Somb., seco
9	Hepática taloide	Roca	W	Exp., húm.
10	Hepática taloide	Humus	E	Somb., húm.
11	Hepática taloide	Roca	W	Somb., húm.
12	<i>Philonotis cernua</i> con <i>Fissidens dissitifolius</i>	Roca	E	Somb., húm.
13	<i>Fissidens dissitifolius</i>	Barro	E	Somb., húm.
14 (a)	<i>Molendoa sendtneriana</i> con <i>Luisierella barbula</i>	Estuco/Barro	N	Sol., húm.
14 (b)	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Estuco/Barro	N	Sol., húm.
15	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Algas	S	Sol., húm.
16	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i>	Roca	E	Sol., semihúm.
17	<i>Barbula agraria</i>	Roca	S	Exp., seco
18	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Roca	E	Somb., húm.
19	Hepática taloide	Roca	S	Sol., seco
20	<i>Weissia jamaicensis</i>	Suelo	S	Sol., seco
21	<i>Weissia jamaicensis</i> con <i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i>	Humus	N	Somb., seco
22	<i>Philonotis cernua</i> con <i>Fissidens dissitifolius</i>	Humus	S	Somb., húm.
23	<i>Fissidens dissitifolius</i>	Roca	E	Somb., húm.
24	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i>	Estuco	S	Sol., seco
25	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i> con <i>Barbula indica</i> var. <i>Indica</i>	Roca/humus	W	Exp., seco
26	<i>Barbula agraria</i>	Roca	S	Somb., húm.
27	<i>Weissia jamaicensis</i>	Roca/barro	S	Somb., seco
28	<i>Luisierella barbula</i>	Estuco	S	Exp., seco
29	<i>Papillaria nigrescens</i>	Suelo	W	Exp., húm.
30	<i>Weissia jamaicensis</i>	Roca	W	Exp., seco
31	Hepática taloide	Roca	SW	Somb., húm.
32	<i>Philonotis sphaericarpa</i>	Humus	NE	Somb., húm.
33	Hepática foliosa	Roca	NE	Somb., húm.
34	<i>Hyophila involuta</i>	Humus	NE	Somb., húm.
35	<i>Weissia jamaicensis</i>	Roca	NE	Somb., húm.
36	<i>Hyophila involuta</i>	Roca	SE	Somb., húm.

37	Hepática taloide	Roca	SE	Somb., húm.
38	<i>Cyrto-hypnum involvens</i>	Roca	SE	Somb., húm.
39	<i>Chryso-hypnum diminutivum</i>	Roca	SE	Somb., húm.
40	Hepática foliosa	Roca	N	Somb., húm.
41	<i>Eulacophyllum cultelliforme</i>	Roca	E	Exp., seco
42	<i>Zelometeorium patulum</i>	Roca	-	Somb., húm.
43	<i>Papillaria nigrescens</i>	Roca	-	Exp., húm.
44	<i>Vesicularia vesicularis</i> var. <i>rutilans</i>	Roca	SE	Somb., húm.
45	<i>Weissia jamaicensis</i>	Barro	S	Exp, seco
46	<i>Fissidens elegans</i>	Roca	SW	Somb., mojado
47	<i>Eulacophyllum cultelliforme</i>	Roca	SW	Somb., mojado
48 (a)	<i>Fissidens reticulosus</i> con <i>Philonotis cernua</i>	Suelo	NE	Somb., mojado
48 (b)	<i>Philonotis cernua</i>	Suelo	NE	Somb., mojado
49	Hepática foliosa	Roca	NE	Somb., mojado
50 (a)	<i>Stereophyllum radiculosum</i>	Algas	-	Exp., mojado
50 (b)	<i>Eulacophyllum cultelliforme</i>	Algas	-	Exp., mojado
51	<i>Helicodontium capillare</i>	Algas	-	Exp., mojado
52	<i>Weissia jamaicensis</i>	Suelo	-	Exp., húm.
53	<i>Hyophila involuta</i>	Roca	-	Exp., mojado
54	Hepática foliosa	Barro	NE	Exp., mojado
55	<i>Weissia jamaicensis</i>	Barro	NE	Exp., mojado
56	<i>Papillaria nigrescens</i>	Roca	-	Exp., mojado
57	Hepática foliosa	Roca	-	Exp., mojado
58	<i>Zelometeorium patulum</i>	Roca	-	Exp., húm.
59	<i>Weissia jamaicensis</i>	Suelo	-	Exp., húm.
60 (a)	<i>Vesicularia vesicularis</i> var. <i>rutilans</i> con <i>Philonotis cernua</i>	Suelo	-	Somb., mojado
60 (b)	<i>Taxiphyllum taxirameum</i>	Suelo	-	Somb., mojado
61	<i>Philonotis cernua</i>	Suelo	-	Exp., húm.
62	<i>Vesicularia vesicularis</i> var. <i>rutilans</i>	Suelo	-	Exp., húm.
63	<i>Helicodontium capillare</i> con <i>Cyrto-hypnum involvens</i>	Suelo	-	Exp., húm.
64	<i>Cyrto-hypnum involvens</i>	Suelo	-	Exp., húm.
65	<i>Chryso-hypnum diminutivum</i> con <i>Taxithelium planum</i>	Roca	-	Exp., húm.
66	Hepática foliosa	Roca	-	Exp., húm.
67	<i>Hyophila involuta</i>	Algas/humus	-	Exp., húm.
68	<i>Eulacophyllum cultelliforme</i>	Algas	-	Exp., húm.
69	Hepática foliosa	Suelo/Roca	-	Exp., húm.
70 (a)	<i>Eulacophyllum cultelliforme</i>	Humus	-	Exp., húm.
70 (b)	<i>Racopilum tomentosum</i>	Humus	-	Exp., húm.
71	<i>Pireella pachyclada</i>	Roca	-	Exp., húm.
72	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i>	Suelo	E	Sol., seco
73	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Suelo/Algas	E	Sol., seco

74	<i>Weissia jamaicensis</i>	Suelo	W	Somb., seco
75	<i>Luisierella barbula</i>	Algas	W	Somb., seco
76	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Estuco	S	Exp., seco
77	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Estuco	W	Somb., seco
78	<i>Weissia jamaicensis</i>	Barro	W	Exp., seco
79	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Roca	W	Somb., húm.
80	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>sprengelii</i>	Barro	-	Exp., seco
81	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Estuco	S	Exp., húm.
82	<i>Neohyophila sprengelii</i> var. <i>stomatodonta</i> con <i>Luisierella barbula</i>	Algas	N	Somb., húm.
83	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Algas	E	Somb., húm.
84	Hepática taloide	Suelo	-	Exp., seco
85	<i>Weissia jamaicensis</i>	Barro	W	Exp., seco
86	<i>Philonotis cernua</i> con <i>Fissidens dissitifolius</i>	Suelo	-	Somb., húm.
87	<i>Philonotis cernua</i> con <i>Fissidens dissitifolius</i>	Barro	-	Somb., húm.
88	Hepática taloide	Roca	-	Somb., húm.
89	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Algas	N	Somb., húm.
90	<i>Weissia jamaicensis</i>	Roca	N	Sol., seco
91	<i>Barbula agraria</i>	Roca	S	Exp., seco
92	<i>Bryum apiculatum</i>	Algas	S	Exp., húm.
93	Hepática taloide	Algas	S	Somb., húm.
94	<i>Haplocladium microphyllum</i>	Suelo	W	Sol., húm.
95	<i>Eulacophyllum cultelliforme</i>	Roca	W	Sol., húm.
96	<i>Philonotis cernua</i>	Suelo	W	Somb., mojado
97	<i>Hyophila involuta</i>	Roca	W	Somb., mojado
98	<i>Philonotis sphaericarpa</i>	Suelo	W	Sol., húm.
99	<i>Papillaria nigrescens</i>	Roca	-	Sol., húm.
100	<i>Stereophyllum radiculosum</i>	Roca	-	Sol., mojado
101	<i>Weissia jamaicensis</i>	Suelo	W	Somb., mojado
102	<i>Weissia jamaicensis</i>	Algas	SW	Exp., húm.
103	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Roca	NE	Exp., mojado
104	<i>Luisierella barbula</i> con <i>Molendoa sendtneriana</i>	Roca	-	Exp., somb.
105	Hepática taloide	Suelo	NE	Somb., húm.
106	<i>Vesicularia vesicularis</i> var. <i>rutilans</i> con <i>Philonotis cernua</i>	Suelo	NE	Somb., húm.
107	<i>Philonotis sphaericarpa</i>	Suelo	NE	Somb., húm.
108	<i>Philonotis sphaericarpa</i>	Suelo	NE	Somb., húm.
109	Hepática foliosa	Suelo	NE	Somb., mojado
110	<i>Fissidens dissitifolius</i>	Suelo	SE	Somb., mojado
111	<i>Eulacophyllum cultelliforme</i>	Roca	SE	Somb., mojado
112	<i>Molendoa sendtneriana</i>	Estuco	SW	Somb., húm.
113	Hepática foliosa	Roca	-	Somb., mojado