



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
SISTEMÁTICA

**“ANÁLISIS BIOGEOGRÁFICO DEL ORDEN GOMPHALES (FUNGI: BASIDIOMYCOTA) EN
MÉXICO”**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR(A) EN CIENCIAS

PRESENTA:

PATRICIA ASTRID GONZÁLEZ AVILA

TUTOR(A) PRINCIPAL: DRA. MERCEDES ISOLDA LUNA VEGA: FACULTAD DE CIENCIAS

**COMITÉ TUTOR: DRA. HERMELINDA MARGARITA VILLEGAS RIOS: FACULTAD DE CIENCIAS
DR. RAFAEL LIRA SAADE: FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

MÉXICO, D.F. ENERO, 2015.



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
SISTEMÁTICA

**“ANÁLISIS BIOGEOGRÁFICO DEL ORDEN GOMPHALES (FUNGI: BASIDIOMYCOTA) EN
MÉXICO”**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR(A) EN CIENCIAS

PRESENTA:

PATRICIA ASTRID GONZÁLEZ AVILA

TUTOR(A) PRINCIPAL: DRA. MERCEDES ISOLDA LUNA VEGA: FACULTAD DE CIENCIAS

**COMITÉ TUTOR: DRA. HERMELINDA MARGARITA VILLEGAS RIOS: FACULTAD DE CIENCIAS
DR. RAFAEL LIRA SAADE: FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

MÉXICO, D.F. ENERO, 2015



POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO FCIE/DEP/027/15

ASUNTO: Oficio de Jurado

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **27 de octubre de 2014**, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **DOCTORA EN CIENCIAS** del (la) alumno (a) **GONZÁLEZ ÁVILA PATRICIA ASTRID** con número de cuenta **98068908** con la tesis titulada: "**Análisis biogeográfico del Orden Gomphales (Fungi: Basidiomycota) en México**", realizada bajo la dirección del (la) **DRA. MERCEDES ISOLDA LUNA VEGA**:

Presidente:	DR. JOAQUÍN CIFUENTES BLANCO
Vocal:	DR. DAVID NAHUM ESPINOSA ORGANISTA
Secretario:	DR. RAFAEL LIRA SAADE
Suplente:	DR. ARTURO ESTRADA TORRES
Suplente	DRA. HERMELINDA MARGARITA VILLEGAS RIOS

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 15 de enero de 2015.

Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Coordinadora del Programa



DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México

Al apoyo económico recibido por CONACYT al otorgarme la beca para la realización de mis estudios con el número 216021

Al comité tutorial integrado por:

Dra. Isolda Luna Vega

Dra. Margarita Villegas Ríos

Dr. Rafael Lira Saade

AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL

En primer lugar a Dra. Isolda Luna Vaga, por ayudarme y apoyarme a desarrollar el presente trabajo, sobre todo por confiar en mí y proporcionarme todas las herramientas para lograr superar cualquier reto, además por brindarme su paciencia, comprensión, cariño y por ser más que una tutora para mi. A mi comité tutotal la Dra. Margarita Villegas Ríos y Rafael Lira Saade por sus comentarios, además de brindarme las facilidades en la relizacionde este trabajo en todos y su comprensión ante cualquier circunstancia.

Al Dr, Arturo Estrada Torres, Dr, Joaquin Cifuentes y Dr, David Espinosa, por la revisión del presente trabajo y por todos sus comenterios en la mejora del mismo.

A cada uno de los curadores de las colecciones que me ayudaron y apoyaron en la revisión de los herbarios: Silva Capello (UJAT), Teresa Cabrera (CHIP), Petra Sánchez (CODAGEM San Cristóbal), Mario Ishiki (ECOSUR), Javier Madrigal (EBUM), Felipe Ruan (UNICACH), Elvira Aguirre (MEXU), Irene Frutis (IZTA), Ángel Moreno (Universidad Autónoma de Hidalgo), Marco Hernández (FEZA), Raúl Díaz (UJAD), Jesús García (UTCV), Laura Guzmán (IBUG), Ricardo Valenzuela (ENCB), Alejandro Kong (TLMX), Martín Ezqueda (CIAD) y Gastón Guzmán (XAL), Cristina Burrola Aguilar (CIRB), Lilia Ramírez (FCME) y Lourdes Acosta Urdapilleta (HEMIM).

A mis padres, por su amor, dedicación, y sobre todo por el apoyo incondicional, además de su paciencia que me han brindado a lo largo de todos estos años, sin olvidar el ejemplo tan maravilloso de fortaleza en la vida que me han mostrado y por hacer siempre realidad cada uno de mis sueños y anhelos. Gracias por estar presente en cada momento jamas habría podido lograr todo lo que tengo sin ustedes.

A mi querido hermano, por estar a mi lado, darme su apoyo, consejos, y confiar en mi, sobre todo por siempre buscar la manera de hacerme sentir bien y apoyarme de todas las formas posibles para lograr cada uno de mis sueños, el ahora saber que estaras de igual manera para Natalia, de llena de tranquilidad,

A mi abuelita Luz por ser inspiración de grandeza, dedicación y lucha en la vida. Siempre creíste en mí, me ayudaste, aconsejaste y apoyaste en tantos momentos de mi vida, se que me diste tu corazón, jamás en mi vida olvidare todo en cariño que me brindaste y me duele tanto que no puedas estar en este momento a mi lado, sin embargo siempre estaras en mi corazón, en mi pensamiento y un día te volveré a ver.

A mis compañeros Othon, Raúl, Andres, Julio, Katia por compartir tantos maravillosos momentos, apoyarme, ayudarme y estar a mi lado; muy en especial a Celia y a Cesar por no sólo ser compañeros sino verdaderos amigos, aún nos faltan muchas platicas y cosas por compartir.

A mi hermana querida Miriam, por sus cariño y apoyo incondicional, por aquellas interminables platicas en donde escuchaste todos mis problemas y me diste tantos consejos, aun nos falta tanto por compartir. Muchas gracias por todo

Y muy en especial a Roberto, por abrirme y entregarme su corazón, confiaste en mí en todo momento a lo largo de este tiempo. Este logro es tuyo, porque estuviste en cada momento a mi lado; en los triunfos, en las derrotas, en la alegría y en la tristeza, apoyándome de manera incondicional, jamás me dejaste caer y siempre sacaste de mí, la fortaleza para superar todo. Lograste hacer posibles muchos de mis sueños. Sólo me resta pedirle a la vida, que permita que los planes que nos faltan por realizar se concluyan de manera exitosa, porque creo en ti, en tus palabras y sobre todo en tu amor, esto no podría ser de otra manera.

A mi hija por sacar lo mejor de mi, además tu sonrisa me llena día a día haciéndome tan feliz y llenándome de fortaleza, eres lo más grande que la vida me ha dado, cada uno de mis logros son por ti y para ti.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
CAPÍTULO 1, Current knowledge and importance of the order Gomphales (Fungi: Basidiomycota) in Mexico.....	32
CAPÍTULO 2, Richness patterns of the order Gomphales in Mexico and their implications for conservation.....	66
CAPÍTULO 3, Riqueza y endemismo de las especies de Clavariadelphus (Clavariadelphaceae, Gomphales) en la Faja Volcánica Transmexicana..	135
CAPÍTULO 4, Análisis de trazos de las especies pertenecientes al orden Gomphales (Fungi: Basidiomycota) en México.....	166
CONCLUSIONES.....	197

RESUMEN

El escaso conocimiento de la taxonomía filogenia y registro fósil han limitado el entendimiento de la biogeografía de los hongos, además de la naturaleza críptica del grupo y la estructura efímera de los basidiomas hacen difícil ubicarlos. Los patrones de distribución actuales pueden ser atribuidos a vicarianza mezclados con eventos de dispersión y extinción, como ocurre en otros organismos.

El orden Gomphales se encuentra constituido por tres familias, 18 géneros y 336 especies de amplia distribución, aunque la mayoría de las especies han sido encontradas en las zonas templadas del Hemisferio Norte, también están en zonas tropicales o subtropicales. Este estudio presenta el conocimiento actual y la importancia de este taxón en México. Registros de herbario, las obras, las bases de datos institucionales y colecciones personales en México publicados muestran que el orden está representado en el país por 10 géneros y 92 especies, que principalmente habitan en los bosques montanos templada y en altitudes bajas.

Se realizó un análisis de distribución de las especies del orden Gomphales que habitan en México, para detectar las áreas con mayor riqueza y con los valores más altos de endemidad. Dicho estudio se base en tres unidades de área: estados, provincias biogeográficas y celdas de un grado de lado. Las zonas más ricas en especies y endemismos se encuentran en la parte central del país en los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y estado de México, principalmente en áreas montanas, muchas de ellas ubicadas en la Faja Volcánica Transmexicana. Sólo algunas de estas zonas están ubicadas en áreas naturales protegidas mexicanas. Desafortunadamente los hongos nunca han sido contemplados para la designación de áreas naturales protegidas en México y en el mundo. La conservación de los miembros de esta orden es importante para mantener el delicado equilibrio de los bosques templados

2mexicanos, principalmente los de coníferas, que requieren la asociación con hongos para su supervivencia.

En especial se realizó el estudio del género *Clavariadelphus* para la Faja Volcánica Transmexicana para conocer sus patrones de riqueza y endemismo. Se concluye que la Faja es una zona biodiversa en especies de *Clavariadelphus*, concentrándose en ella el 68.4% de las especies. Se encuentran en esta área todas las especies actualmente conocidas para México. Nuestros datos muestran que la riqueza de especies está distribuida de forma heterogénea, siendo la porción central y oriental de la Faja las que concentran el mayor número de registros, en la que la mayor diversidad y el valor más alto de endemismo se ubicaron en el Área Natural Protegida conocida como corredor biológico Chichinautzin-Tepozteco. Los resultados obtenidos nos permiten discernir que la diversidad y riqueza de especies de *Clavariadelphus* se encuentra asociada a factores históricos complejos, como son una geología intrincada, climas templados y presencia de tipos de vegetación de montaña, además de que han sido las áreas más recolectadas.

También se realizó un análisis panbiogeográfico de las especies del orden Gomphales que habitan en México. A partir de la superposición y comparación de cada uno de los trazos individuales, se generaron los trazos generalizados y donde convergen estos últimos se detectaron los nodos panbiogeográficos. De 34 taxones no se obtuvieron los trazos individuales, debido a que se distribuyen en México en solo una o dos localidades de colecta. Finalmente, se obtuvieron 37 trazos individuales de ocho de los géneros y de 29 especie. Se obtuvieron seis trazos generalizados.

ABSTRACT

Poor knowledge of taxonomy and phylogeny fossil record have limited understanding of the biogeography of fungi in addition to the cryptic nature of the group and the ephemeral structure basidiomata make it difficult to locate. The current distribution patterns can be attributed to mixed with scattering and extinction events, as in other organisms Vicariance.

The Gomphales order is made up of three families, 18 genera and 336 species of wide distribution, although most species have been found in the temperate Northern Hemisphere, are also in tropical or subtropical areas. This study presents the current knowledge and the importance of this taxon in Mexico. Herbarium records, Works, corporate databases and personal collections in Mexico published show that the order is represented in the country by 10 genera and 96 species, mainly inhabit the temperate and montane forests at low altitudes.

An analysis of species distribution of the order Gomphales living in Mexico, to detect areas with greater wealth and higher values of endemism was conducted. This study is based on three units of area: states, biogeographic provinces and One-degree cell side. The most species-rich areas and endemism are found in the central part of the country in the states of Hidalgo, Puebla, Tlaxcala and Mexico State, mainly in mountain areas, many located in the Mexican Volcanic Belt. Only some of these areas are located in Mexican natural protected areas. Unfortunately fungi have never been referred to the designation of protected areas in Mexico and the world. The conservation of the members of this order is important to maintain the delicate balance of Mexican temperate forests, mainly conifers, which require association with fungi to survive.

In particular the study of gender *Clavariadelphus* for Volcanic Belt to learn their patterns of richness and endemism was performed. We conclude that Giza is a biodiverse area *Clavariadelphus* species, concentrating on it 68.4% of the species. They are in this area all species currently known to Mexico. Our data show that species richness is distributed heterogeneously, the central and eastern portion of the strip which the greatest number of records in which the greatest diversity and the highest value of endemism were in the area Natural protected known as biological corridor Chichinautzin-Tepozteco. The results allow us to discern that diversity and species richness *Clavariadelphus* is associated with complex historical factors, such as an intricate geology, temperate climates and presence of vegetation types mountain, plus they have been the most harvested areas.

One panbiogeographic analysis of species inhabiting order Gomphales Mexico was also performed. From comparison of the overlap and each of the individual tracks, the tracks were generated and where the latter converge panbiogeographic detected nodes. 34 taxa individual strokes were not obtained due to spread across Mexico in just one or two localities collection. Finally, 37 individual traces of eight genera and 29 species were obtained. Six generalized tracks were obtained.

INTRODUCCIÓN

“Mycogeografía *sensu* Lichtwardt (1995)” también llamada biogeografía de los hongos, estudia y explica los patrones de distribución de los mismos. Es un campo relativamente nuevo, teniendo una historia reciente en comparación con la de otros grupos de organismos. Ha emergido lentamente, pero en las últimas décadas ha estado impulsada por un auge en la investigación taxonómica molecular (Demoulin 1973; Lange 1974; Eckblad 1981; Redhead 1989; Baroni *et al.* 1997; Wu y Mueller 1997; Hibbett 2001; Watling 2001; Pringle y Vellinga 2006; Lumbsch *et al.* 2008; Skrede *et al.* 2011).

Los estudios de distribución de hongos son complicados debido a las historias de vida de estas especies, que incluyen una naturaleza efímera y periodicidad, que aunado a sus limitantes ecológicas para su crecimiento y reproducción, los hacen difíciles de muestrear (Demoulin 1973; Wicklow 1981; Hosaka *et al.* 2008; Wollan *et al.* 2008). La información sobre la distribución de algunos hongos, cuando existe, ha sido mencionada de manera secundaria en las monografías y trabajos generales de algunos grupos; a veces se discute en conjunto con algún agente patógeno u organismo asociado, como las micorrizas.

Los estudios recientes sobre la distribución de los hongos han aumentado, principalmente de aquéllos que habitan en el Hemisferio Norte; los del Hemisferio Sur han sido menos estudiados (Bougher y Syme, 1998; Grgurinovic 1997; Matheny y Bougher 2006; Watling 2001). Estos estudios han sido realizados principalmente para especies importantes para el hombre, como las micorrizógenas (v. gr. *Tricoloma scalpturatum*: Carriconde *et al.* 2008, Hysterangiales: Hosaka *et al.* 2008

y *Serpula*: Skerede *et al.* 2011), y han sido básicamente de índole filogeográfico (Summerell *et al.* 2010).

SISTEMÁTICA Y BIOGEOGRAFÍA

Para llevar a cabo un análisis micogeográfico, es necesario tener una adecuada identificación de las especies antes de generar hipótesis. Desafortunadamente la identificación de hongos en general es deficiente, debido principalmente a la falta de especialistas en muchos grupos taxonómicos, a la carencia de suficiente material bibliográfico como claves y descripciones, además de que muchas veces la identificación se basa en material de regiones distintas y alejadas, por lo que puede darse el caso de que sean diferentes especies. Un ejemplo de ello fue revisado por Zhang *et al.* (2004), quienes mencionan que muchas especies de *Amanita* de América del Norte han sido nombradas basadas en materiales europeos y que deberían considerarse como especies distintas, no obstante que se hayan considerado bajo el concepto de especie morfológica como la misma especie. También se da el caso de que por una mal secado del material o/y su conservación en las colecciones, además de una mala toma de datos en fresco, exista confusión y se lleguen a identificaciones erróneas, todos estos datos son básicos en la identificación de diversos taxones. Un ejemplo de ellos son las especies pertenecientes al subgénero *Laeticolora*, el más grande dentro del género *Ramaria*, en donde los datos microscópicos en las diferentes especies son muy similares y para su determinación es necesario contar con las diversas coloraciones de diferentes partes del basidioma. Desgraciadamente todavía hay muchas áreas en el mundo inexploradas (como las zonas tropicales o subtropicales), y al descubrir

nuevos registros se pueden cambiar dramáticamente las hipótesis sobre el origen y evolución de las especies en estudio.

Tradicionalmente, para la mayoría de los hongos se han venido utilizando tres conceptos diferentes de especie, que son el morfológico, biológico y filogenético-evolutivo (Summerell *et al.* 2010). Para muchos grupos de hongos, el concepto más usado ha sido el morfológico, pero su uso ha provocado problemas, debido a que se pueden generar falsas identificaciones por la existencia de las llamadas especies crípticas, esto es, especies con una morfología similar pero que constituyen linajes independientes. Cuando se utiliza un concepto de especie biológico y filogenético-evolutivo, y en ambos casos obtenemos como resultado un mismo agrupamiento, podemos estar más o menos seguros de que estamos trabajando con un linaje independiente. Esto no sucede con el concepto de especie morfológica, que puede englobar más de dos linajes diferentes.

Los patrones de distribución de los hongos suelen ser sumamente complicados porque muchos presentan de una naturaleza críptica, esto es, algunos organismos con una morfología similar son filogenéticamente distintos (Hosaka *et al.* 2008), por lo que erróneamente han sido englobados en un solo linaje. Recientemente se ha demostrado que algunas especies morfológicamente similares pueden estar constituidas por diferentes especies, que son linajes independientes de distribución restringida. En las últimas décadas, las investigaciones de las especies crípticas se han incrementado potencialmente, en gran medida por la creciente disponibilidad de las secuencias de algunos fragmentos de ADN, herramienta valiosa y nueva en la micología. Hasta hace muy poco tiempo la identificación de la especie estaba completamente basada en

caracteres morfológicos y, si dos organismos eran iguales (o sea que compartían los mismos caracteres morfológicos), se consideraban como una misma especie (Petersen y Hughes 1999; Taylor *et al.* 2000, 2006 a,b). Este enfoque fue utilizado por los taxónomos dedicados a los hongos durante más de 200 años y está apoyado por una vasta literatura (Summerell *et al.* 2010). El inferir patrones de distribución a partir de este concepto morfológico de especie, ha hecho que exista gran confusión debido principalmente a la alta plasticidad fenotípica y a las convergencias morfológicas que presentan estos organismos (Bruns *et al.* 1991; Hibbet *et al.* 1997a; Burnett 2003; Bridge *et al.* 2005; Moncalvo 2005). Es importante mencionar que la especiación no siempre se encuentra acompañada de un cambio morfológico (Brickford *et al.* 2006), por lo que es probable que sea mucho mayor el número de especies existentes que las descritas. En la búsqueda de una nueva forma de reconocimiento de las especies se empleó un concepto biológico, mediante el cual se llevaban a cabo pruebas de interfertilidad o compatibilidad somática (Petersen y Hughes 1999) para determinar si dos individuos pueden entrecruzarse y tener descendencia entre sí. Un gran obstáculo es el hecho de que sólo el 11% de las especies de hongos han sido cultivadas y cerca del 20% no se reproducen sexualmente, además de la existencia de especies homotálicas (Kirk *et al.* 2001). Últimamente está en boga un concepto de especie filogenético para el reconocimiento de especies de hongos, con el cual a partir del conocimiento de la filogenia molecular es posible dilucidar grupos monofiléticos para hipotetizar los linajes únicos con distribución limitada (Taylor *et al.* 2006b). Este concepto ha servido para evaluar la existencia de grupos monofiléticos ya sea a nivel de familia y orden, además de que ha permitido separar diferentes especies, poblaciones e

individuos (Samuels y Seifert 1995). Sin embargo, existen limitaciones en el uso generalizado de los datos moleculares. Algunas de ellas se refieren a la escasez de marcadores evolutivos comparables entre los diferentes grupos de hongos, muchas veces debido a la gran complejidad de los ciclos de vida adoptados por estos organismos. Desgraciadamente existen pocos marcadores moleculares actualmente disponibles (Bridge *et al.* 2005). Los marcadores que se han venido empleando más frecuentemente son el factor de elongación y traducción (*tef1*), la subunidad grande ribosomal nuclear (LSU), la subunidad pequeña ribosomal nuclear (SSU) y la segunda región de la subunidad grande de RNA (RPB2) (Linzer *et al.* 2008; Skrede *et al.* 2011; O'Donnell *et al.* 2011).

En las últimas décadas, se ha dado mayor peso a la evidencia molecular (Harrington y Rizzo 1999; Taylor *et al.* 2000, 2006 a,b; Moncalvo 2005; Giraud *et al.* 2008) y se ha considerado la mejor manera para determinar especies fúngicas e identificar diferentes linajes evolutivos en hongos. Ejemplo de estos son los estudios de Zhang *et al.* (2004), Froslev *et al.* (2007), Geml *et al.* (2006, 2008) y Hedh *et al.* (2008) para basidiomicetos; Koufopanou *et al.* (2001), Dettman *et al.* (2003), Johnson *et al.* (2005) y Wirtz *et al.* (2008) para ascomicetos; O'Donnell *et al.* (1998 a,b, 2000, 2004), Zhang *et al.* (2004) y Fournier *et al.* (2005) para hongos anamórficos. Supuestamente existe un gran avance cuando se utiliza el ADN para separar a las especies, en particular cuando se tienen altos niveles de homoplasia y convergencia fenotípica (Froslev *et al.* 2007), o cuando se estudian hongos que solo se reproducen asexualmente (O'Donnell *et al.* 1998a,b, 2000, 2004). Los sistemas taxonómicos tradicionales basados en fenología son insuficientes para determinar el número correcto de especies de hongos existentes, por lo que no

reflejan una idea clara de la diversidad mundial y regional de este grupo. Una delimitación rigurosa de las especies y taxones superiores es esencial para poner a prueba hipótesis los procesos históricos que dieron origen a los linajes. El estudio del ADN de los hongos ha dado un nuevo impulso a los estudios biogeográficos (Crisp 2001; Lumbsch *et al.* 2008), entre ellos los filogeográficos (Summerell *et al.* 2010).

DISPERSION VS. VICARIANZA

El escaso conocimiento que se tiene de la filogenia de hongos así como el escaso registro fósil ha limitado su comprensión biogeográfica y ecológica (Berbee y Taylor 2010; Hibbett 2001). En las últimas décadas se ha incrementado el uso del registro fósil, así como el de caracteres moleculares, evidencias que han proporcionado pistas sobre las edades mínimas de los principales grupos de los hongos (Berbee y Taylor 2010; Hibbett *et al.* 1997a).

La historia biogeográfica de los hongos ha estado influida de manera importante por las ideas dispersionistas, ya que desde un principio se pensaba que los organismos que se dispersan fácilmente por medio de esporas (como es el caso de los hongos) tienen una distribución amplia, por lo que no poseen patrones biogeográficos interesantes (Peay *et al.* 2010). En casi todos los grupos, se ha asumido que la dispersión a larga distancia es el principal agente que ha causado una distribución amplia. Estos estudios han sido más bien escasos, pero en la última década han tenido cierto auge. Se tienen por ejemplo los estudios sobre *Schizophyllum commune* (James *et al.* 1999) *Lentinula* (Hibbet 2001), *Gonoderma* (Moncalvo and Buchanan 2008), *Amanita muscaria* (Geml *et al.* 2008), *Tylophilus*

(Halling *et al.* 2008) Hysterangiales (Hosaka *et al.* 2008), *Heterbasidion annosum* (Lizar *et al.* 2008), *Fusarium* (Summerell *et al.* 2010), *Serpula* (Skrede *et al.* 2011) y *Morchella* (O'Donnell *et al.* 2011), entre otros. Los factores y agentes responsables de esta distribución todavía son poco conocidos (Coetzee *et al.* 2000; Kerrigan *et al.* 1995), y se ha asumido que el agente principal ha sido el viento (anemocoria). En la mayoría de los casos se han malinterpretado los eventos de vicarianza o éstos no han sido considerados. Por ejemplo en el trabajo realizado por Skrede *et al.* (2011) con las especies del género *Serpula*, estos autores consideran que el centro de origen de las especies de este género fue América del Norte y que después se dispersó a Eurasia. La dispersión de estas especies se llevó a cabo mediante un corredor que conectó a ambas masas continentales (el estrecho de Bering) y que después se rompió, al menos parcialmente. Es entonces donde estos autores consideran que hubo un proceso de vicarianza, cuando las poblaciones del hemisferio norte quedaron aisladas. Otro ejemplo para el hemisferio sur es el de las especies del ascomiceto *Cyttaria*, mismo que es parásito exclusivo de varias especies de *Nothofagus* (Fagaceae), habitando Argentina, Chile, Australia y Nueva Zelanda (Crisci *et al.* 1988). Se supuso que su distribución en diferentes continentes había sido provocada por la dispersión a larga distancia de las esporas, mismas que eran transportadas por el viento.

Sólo recientemente y mediante investigaciones más profundas basadas en nuevas tecnologías, como son los estudios moleculares, es que han empezado a cambiar las ideas sobre la biogeografía de hongos (Lumbsch *et al.* 2008; O'Donnell *et al.* 2011).

Los procesos biogeográficos, como la dispersión, la vicarianza y la extinción, influyen en la distribución geográfica de los hongos, como en todos los organismos vivientes (Vilgalys y Sun 1994; Mueller *et al.* 2001; Luna-Vega 2008; Morrone 2009; Skrede *et al.* 2011). Existen evidencias que sugieren que las mismas barreras geográficas que limitan a las plantas y a los animales en su distribución, también afectan a los hongos, como son los océanos y las cadenas montañosas (Lumbsch *et al.* 2008; Peay *et al.* 2010; Skrede *et al.* 2011).

Se ha propuesto mediante evidencia geológica, paleobiológica y climática que los continentes estuvieron conectados en algún momento por ciertos puentes de tierra, mismos que sirvieron de corredores para los organismos, inclusive para los hongos; obviamente éste es un punto de vista dispersionista, donde se implica la dispersión a larga distancia de los organismos. Éste es el caso del estrecho de Bering que conectaba a América del Norte con Eurasia; los bosques y probablemente sus homólogos de hongos, estaban mucho más ampliamente distribuidos y conectados en el Hemisferio Norte (Graham, 1999). Estos “puentes” o “corredores” han sido invocados para explicar la presencia de ciertos organismos tanto en América del Norte como en Eurasia. En el caso particular de los hongos, tenemos muchos ejemplos que invocan la presencia de estos en ambos continentes, como es el caso de *Suillus* (Wu *et al.* 2000), *Flammulina velutipes* (Methven *et al.* 2000), *Panellus stypticus* (Jin *et al.* 2001) *Artomyces pyxidatus* (Lickey *et al.* 2002), *Heterbasidion annosum* (Linzerd *et al.* 2008), *Amanita muscaria* y *A. pantherina* (Oda *et al.* 2004) y *Amanita muscaria* (Geml *et al.* 2006), entre otros.

Se ha confirmado que algunas especies de América del Norte y el este de Asia que tienen este tipo de distribución disyunta tienen una relación filogenética

más cercana entre sí (pueden ser especies hermanas) que con otras que habitan en sitios más cercanos a ellas, como el oeste de América del Norte y Europa. Hongo y Yokoyama (1978) sugirieron una relación cercana entre las micobiotas de Asia oriental y el este América del Norte, basada en caracteres morfológicos, pero mencionan que la diferenciación específica en los hongos era menor que en las plantas vasculares, ya que en estas últimas se había comprobado una diferenciación a nivel específica o genérica. Otros trabajos llegaron a la misma conclusión como los de Wu y Mueller (1997) con macromicetos de China, Wu *et al.* (2000) con *Suillus*, Lickey *et al.* (2002) con *Artomyces pyxidatus*, Shen *et al.* (2002) con *Grifola frondosa* y Chapela y Garbelotto (2004) con *Tricholoma matsutake*. Sin embargo, algunos estudios basados en el análisis de secuencias de ADN sugieren que las relaciones de ciertos macromicetos habitantes del este del América del Norte y Asia oriental no son tan cercanas como se había sustentado con base en datos morfológicos (Mueller *et al.* 2001; Zhang *et al.* 2004).

Es necesario recalcar el hecho de que las especies de macromicetos presentan intervalos de distribución discretos, con excepción de algunos taxones como por ejemplo, los poliporioides que se han encontrado en todo el mundo con excepción de la Antártida (Grand y Vernia 2004 a, b, 2005, 2006, 2007, Grand *et al.* 2009; Bergemann *et al.* 2009). Revisiones recientes han permitido identificar que algunos hongos que al parecer tenían una distribución cosmopolita o al menos subcosmopolita, tienen más bien una distribución restringida a una o varias regiones o continentes (Koufopanou *et al.* 2001; Dettman *et al.* 2003; Dunham *et al.* 2003; Geml *et al.* 2006, 2008; Le Gac *et al.* 2007), lo cual promueve una pregunta interesante sobre la distribución de ciertos grupos de hongos. Un ejemplo es el caso

de *Amanita muscaria* (Geml *et al.* 2008), que se ha citado como una especie de amplia distribución, pero que gracias a los estudios llevados a cabo con marcadores moleculares, se ha constatado la existencias de varios linajes independientes, que poseen una fuerte disyunción, principalmente en América del Norte.

Se deben considerar al menos dos hechos importantes para entender la biogeografía de hongos: el primero es que los hongos se presentan en diferentes hábitats y sustratos, por lo que ciertos factores como el tipo de suelo, régimen de lluvias, los intervalos de temperatura y la composición de las comunidades vegetales influyen en las áreas donde se encuentran. El segundo hecho que debe considerarse en el estudio biogeográfico de los hongos son las asociaciones que éstos han establecido con otras especies. Los hongos que están asociados obligatoriamente a otras especies como parásitos, u hongos formadores de micorrizas, generalmente tienen distribuciones más restringidas (Horak 1983) y similares a las de sus especies asociadas, ya que los hongos se asocian a menudo con plantas y animales y han coevolucionado con ellos, por lo que se esperaría que tuvieran patrones de distribución similares (Pirozynski 1983; Lichtwardt 1995; Halling *et al.* 2008). Sin embargo, no todos los hongos están íntimamente asociados con ciertos organismos y sus patrones de distribución se pueden atribuir a otros factores, como es el caso de los saprobios que generalmente no tienen una distribución tan restringida geográficamente (Baker y Meeker 1972).

Con respecto al estudio de la biogeografía de hongos mexicanos, Guzmán (1973) mencionó que probablemente las cadenas montañosas más altas de América del Norte, habitadas por bosques de coníferas, hayan proporcionado una ruta de dispersión entre Estados Unidos y México para varias especies de hongos

superiores. Gracias a esa dispersión, existe una estrecha relación entre las micobiotas del oeste de Estados Unidos y los bosques de coníferas de los sistemas montañosos mexicanos. Estrada-Torres (1994) con Gomphales y Cifuentes (1996) con Hydnoidea apoyan esta relación entre el centro de México con el este y oeste de los Estados Unidos.

EL ORDEN GOMPHALES

El orden Gomphales es considerado un grupo monofilético de acuerdo con las hipótesis de Hosaka *et al.* (2006) y Giachini *et al.* (2010). Está constituido por tres familias, que incluyen aproximadamente 18 géneros y 336 especies de amplia distribución mundial, aunque la mayoría de los registros son del hemisferio norte (Kirk *et al.* 2008). Los integrantes de este orden presentan una gran variación morfológica, ya que pueden ser organismos hipógeos o epígeos, solitarios o gregarios, infundibuliformes, coraliformes, clavados o irregularmente ramificados. Las hipótesis filogenéticas basadas en datos moleculares sugieren una relación cercana a los órdenes Geastrales, Phallales e Hysterangiales (Colgan *et al.* 1997; Hibbett *et al.* 1997b; Humpert *et al.* 2001; Hosaka *et al.* 2006; Giachini 2004; Giachini *et al.* 2010). De los géneros que incluye el orden Gomphales, *Ramaria* es el más diverso, pues a nivel mundial se han descrito cerca de 180 especies (Kirk *et al.* 2008; Giachini 2011), aunque se especula que deben existir muchas más (Exeter *et al.* 2006). En contraste, en este orden existen géneros monoespecíficos como *Austrogautieria*, *Kavinia*, *Protogautieria*, *Pseudogomphus* y *Terenodon*, de los cuales sólo el segundo ha sido considerado en las hipótesis filogenéticas.

Tradicionalmente, la taxonomía de los Gomphales estaba basada en caracteres morfológicos compartidos, v.gr. la reacción positiva a las sales de hierro, color y ornamentación de esporas, entre otras (Donk, 1964; Petersen, 1967; Corner 1950, 1970; Marr y Stunz 1973; Petersen 1981, 1988; Estrada-Torres 1994, entre otros). Actualmente se sabe que varios de estos caracteres son paralelismos o convergencias que surgieron durante el proceso de evolución del grupo (Moncalvo *et al.* 1997; Pine *et al.* 1999; Hibbett y Thorn 2001). De esta manera, la taxonomía tradicional reconocía familias y géneros artificiales que no representaban la genealogía de este orden.

Los primeros esquemas clasificatorios de los Gomphales mostraron gran variación en cuanto a sus límites taxonómicos, tanto en el orden, como en el número de familias y géneros a considerar. Como muestra de estas controversias, se puede observar que mientras Welden (1966) intentó incluir a *Clavariadelphus* dentro de Gomphaceae por presentar reacción positiva a la sales de hierro, Petersen (1970) rechazó esta idea debido a que estimó que este atributo químico no era un carácter relevante. Por otra parte, taxones como *Linderomyces* y *Psathyrodon* actualmente son considerados sinónimos de *Gloeocantharellus* y *Beenakia* respectivamente *sensu* Kirk *et al.* (2008).

Los estudios filogenéticos sobre el orden Gomphales han empleado evidencias morfológicas (Villegas *et al.* 1999) y moleculares (Hosaka *et al.* 2006; Hibbett *et al.* 2007; Giachini *et al.* 2010) y, aunque en todos los casos parece haber coincidencia en reconocer la monofilia del grupo, esta conclusión no puede considerarse como definitiva, principalmente porque en ninguno de esos estudios se incluyó la totalidad de los géneros. Así, por ejemplo, el único trabajo en el que se

incluyó a *Ramaricium* fue el de Villegas *et al.* (1999), mientras que géneros como *Austrogautieria*, *Delentaria*, *Pseudogomphus* y *Protogautieria* no fueron considerados, no obstante que todos ellos pertenecen al orden Gomphales, de acuerdo con Kirk *et al.* (2008).

Otro aspecto sobresaliente en los estudios filogenéticos con datos moleculares, es la segregación de los géneros *Phaeoclavulina* y *Turbinellus* a partir de algunas especies que tradicionalmente eran consideradas en los géneros *Ramaria* y *Gomphus* (Hosaka *et al.* 2006; Giachini *et al.* 2010); esta propuesta ha sido recientemente dada a conocer de manera formal en el trabajo de Giachini y Castellano (2011).

Finalmente, a nivel supragenérico, Hosaka *et al.* (2006), Hibbett *et al.* (2007), Kirk *et al.* (2008) y Giachini *et al.* (2010), ubican a Gomphales dentro de la subclase Phallomycetidae, subphylum Agaricomycotina y phylum Basidiomycota.

LITERATURA CITADA

- Baker, G.E. and Meeker, J.A. (1972) Ecosystems, mycologists and the geographical distribution of fungi in the central Pacific. *Pacific Science* 26: 418–432.
- Baroni, J.T., Lodge, D.J. and Cantrell, S.A. (1997) Tropical connections: sister species and species in common between the Caribbean and the Eastern United States. *Mcllvainea* 13: 5–18.
- Berbee, M.L. and Taylor, J.W. (2010) Dating the molecular clock in fungi-how close are we?. *Fungal Biology Reviews* 24: 1-16.
- Bergemann, S.E., Smith, M. A., Parrent, J. L., Gilbert, G. S., and Garbelotto, M. (2009) Genetic population structure and distribution of a fungal polypore

- Datronia caperata* (Polyporaceae), in mangrove forests of Central America. *Journal of Biogeography* 36: 266-279.
- Bougher, N.L. and Syme, K. (1998) *Fungi of Southern Australia*. Perth: University of Western Australia Press.
- Brickford, D., Lohman, D.J., Sodhi, N.S., Ng, P.K.L., Winker, K., Ingram, K.K. and Das, I. (2006) Cryptic species as a window on biodiversity and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 146-155.
- Bridge, P.D., Sponer, B.M. and Roberts P.J. (2005) The impact of molecular data in fungal systematic. *Advances in Botanical Research* 42: 33-67.
- Bruns, T.D., White, T.J. and Taylor, J.W. (1991) Fungal molecular systematics. *Annual Review of Ecology Systematics* 22: 525–564.
- Burnett, J. (2003) *Fungal populations and species*. Oxford University Press. Reino Unido.
- Carriconde, F., Gardes, M., Jargeat, P., Heilmann-Clausen, J., Mouhamadou, B., and Gryta, H. (2008). Population evidence of cryptic species and geographical structure in the cosmopolitan ectomycorrhizal fungus, *Tricholoma scalpturatum*. *Microbial Ecology* 56: 513-524.
- Chapela, I.H. and Garbelotto M. (2004) Phylogeography and evolution in matsutake and close allies inferred by analyses of ITS sequences and AFLPs. *Mycologia* 96: 730–741.
- Chapela, I.H., Osher, L.J., Horton T.R. and Henn M.R. (2001) Ectomycorrhizal fungi introduced with exotic pine plantations induce soil carbon depletion. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1733–1740.

- Cifuentes, J. (1996) Estudio taxonómico de los géneros *Hidnoides* estipitados (Fungi: Aphyllophorales) en México. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Coetzee, M., Wingfield, P.A., Harrington, B.D., Dalevi, T.C.D., Coutinho, T.A. and Wingfield, M.J. (2000) Geographical diversity of *Armillaria mellea* s.s. based on phylogenetic analysis. *Mycologia* 92: 105–113.
- Colgan, W., Castellano, M. A., and Spatafora, J. W. (1997). Systematics of the Hysterangiaceae. *Inoculum* 48(3): 7.
- Corner, E. (1950). A monograph of *Clavaria* and allied genera. Dawsons of Pall Mall, London.
- Corner, E. (1970). Supplement to a monograph of *Clavaria* and allied genera. *Nova Hedwigia* 33: 1-299.
- Crisci, J.V., Gamundi, I.J., and Cabello, M. (1988) A cladistic analysis of the genus *Cyttaria* (Fungi-Ascomycotina). *Cladistics* 4: 279–290.
- Crisp, M. (2001) Historical biogeography and patterns of diversity in plants, algae and fungi: introduction. *Journal of Biogeography* 28: 153-155.
- Demoulin, V. (1973). Phytogeography of the fungal genus *Lycoperdon* in relation to the opening of the Atlantic. *Nature* 242: 123-125.
- Dettman, J.R., Jacobson, D.J., Turner, E., Pringle, A. and Taylor. J.W. (2003) Reproductive isolation and phylogenetic divergence in *Neurospora*: comparing methods of species recognition in a model eukaryote. *Evolution* 57: 2721–2741.
- Donk, M. A. (1964). A conspectus of the families of Aphyllophorales. *Persoonia* 3: 199-324.

- Dunham, S.M., O'Dell, T.E. and Molina, R. (2003). Analysis of nrDNA sequences and microsatellite allele frequencies reveals a cryptic chanterelle species *Cantharellus cascadensis* sp. nov. from the American Pacific Northwest. *Mycological Research* 107: 1163–1177.
- Eckblad, F.E. (1981) *Soppgeografi*. Universitetsforlaget, Oslo.
- Estrada-Torres, A. (1994) La familia Gomphaceae (Aphyllophorales: Fungi) en el estado de Tlaxcala. Tesis de Doctorado (Doctorado en Ciencias (Biología)). ENCB-IPN. México D.F.
- Exeter, R.L., Norvell, L.L., and Cazares, E. (2006). *Ramaria* of the Pacific Northwestern United States. Bureau of Land Management, Oregon.
- Fournier, E., Giraud, T., Albertini, C. and Brygoo, Y. (2005) Partition of the *Botrytis cinerea* complex in France using multiple gene genealogies. *Mycologia* 97: 1251-1267.
- Froslev, T.G., Matheny, P.B. and Hibbett, D.S. (2007) Lower level relationships in the mushroom genus *Cortinarius* (Basidiomycota, Agaricales): a comparison of RPBI, RPB2 and ITS phylogenies. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 37(2): 602-618.
- Geml, J., Laursen, G.A., O'Neill, K., Nusbaum, H.C. and Taylor, D.L. (2006) Beringian origins and cryptic speciation events in the fly agaric (*Amanita muscaria*). *Molecular Ecology* 15: 225–239.
- Geml, J., Tulloss, R.E., Laursen, G.A., Sazanova, N.A. and Taylor, D.L. (2008) Evidence for strong inter- and intracontinental phylogeographic structure in *Amanita muscaria*, a wind-dispersed ectomycorrhizal basidiomycete. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 48: 694-701.

- Giachini, A. (2004): Systematics, phylogeny, and ecology of *Gomphus* sensu lato. Doctoral Dissertation. Oregon State University, Corvallis.
- Giachini, A., Hosaka, K., Nouhra, E., Spatafora, J., and Trappe, J. M. (2010). Phylogenetic relationships of the Gomphales based on nuc-25S-rDNA, mit-12S-rDNA, and mit- atp 6 DNA combined sequences. *Fungal Biology* 114: 224-234.
- Giachini, A., and Castellano, M. A. (2011). A new taxonomic classification for species in *Gomphus* sensu lato. *Mycotaxon* 115: 183-201.
- Giraud, T., Refrégier, G., Le Gac M. de Vienne, D.M. and Hood, M.E. (2008) Speciation in fungi. *Fungal Genetics and Biology* 45: 791-802.
- Graham, A. (1999) Late Cretaceous and Cenozoic history of North American vegetation. Oxford University Press. New York.
- Grand, L.F. and Vernia, C.S. (2004)a Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Phellinus* and *Schizopora*. *Mycotaxon* 89: 181–184.
- Grand, L.F. and Vernia, C.S. (2004)b Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Ceriporia*, *Ceriporiopsis* and *Perenniporia*. *Mycotaxon* 90: 307–310.
- Grand, L.F. and Vernia, C.S. (2005) Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Coltricia*, *Coltriciella* and *Inonotus*. *Mycotaxon* 91: 35–38.
- Grand, L.F. and Vernia, C.S. (2006) Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Fomes*, *Fomitopsis*, *Fomitella* and *Ganoderma*. *Mycotaxon* 94: 231–234.

- Grand, L.F. and Vernia, C.S. (2007) Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Abortiporus*, *Bondarzewia*, *Grifola*, *Heterobasidion*, *Laetiporus* and *Meripilus*. *Mycotaxon* 99: 99–102.
- Grand, L.F., Vernia, C.S. and Munster, M.J. (2009) Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Trametes* and *Trichaptum*. *Mycotaxon* 106: 243–246.
- Grgurinovic, C.A. (1997) Larger fungi of south Australia. The Botanic Gardens of Adelaide and State Herbarium and the Flora and Fauna of South Australia Handbooks Committee. Adelaide.
- Guzmán, G. (1973) Some distributional relationships between Mexico and United States mycofloras. *Mycologia* 45: 1319-1330.
- Halling, R.E., Osmundson, T.W., and Neves, M.A. (2008) Pacific boletes: Implications for biogeographic relationships. *Mycological Research* 112: 437-447.
- Harrington, T.C. and Rizzo, D.M. (1999) Defining species in the fungi, pp. 43-72. In: Wirrall, J. (Eds.). *Structure Dynamics of Fungal Populations*. Kluwer. The Netherlands.
- Hedh, J., Samson, P., Erland, S., and Tunlid, A., (2008) Multiple gene genealogies and species recognition in the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus*. *Mycological Research* 112: 965–975.
- Halffter, G. 1987. Biogeography of the montane entomofauna of Mexico and Central America. *Annual Review of Entomology* 32: 95-114.
- Heilmann-Clausen, J., and Vesterholt, J. 2008. Conservation: selection criteria and approaches. I

- Hibbett, D., Grimaldi, D. and Donoghue, M. (1997) a. Fossil mushrooms from Miocene and Cretaceous ambers and the evolution of Homobasidiomycetes. *American Journal of Botany* 84(8): 981–991.
- Hibbett, D, Pine, E.M., Langer, E., Langer, G., and Donoghue, M.J. (1997) b. Evolution of gilled mushrooms and puffballs inferred from ribosomal DNA sequences. *Proceedings of the national academy of sciences* 94: 12002-12006.
- Hibbett, D. and Thorn, R.G. (2001). Basidiomycota: homobasidiomycetes. In: Mclaughlin D. and Mclaughlin P. *Systematics and Evolution Part B* Springer Berlin Heidelberg. *The Mycota VII*: 121-170.
- Hibbett, D., Binder, M., Bischoff, J.F., Blackwell, M., Cannon, P.F., Eriksson, O.E., Huhndorf, S., James, T., Kirk, P., Lücking, R., Thorsten, Lumbsch, H., Lutzoni, F., Matheny, P., Claughlin, D., Powell, M., Redhead, S., Schoch, C., Spatafora, J., Stalpers, J., Vilgalys, R., Aime, M., Aptroot, A., Bauer, R., Begerow, D., Benny, G., Castlebury, I., Crous, P., Dai, Y., Gams, W., Geiser, R., D., Griffith, G., Gueidan, C., Hawksworth, D., Hestmark, G., Hosaka, K., Humber, R., Hyde, K., Ironside, J., Koljalg, U., Kurtzman, C., Larsson, K., Lichtwardt, R., Llongcore, J., Miadlikowska, J., Miller, A., Moncalvo, J., Mozley-standridge, S., Oberwinkler, F., Parmasto, E., Reeb, V., Rogers, J., Roux, C., Ryvardeen, L., Sampaio, J., Schüßler, A., Sugiyama, J., Thorn, G., Tibell, L., Untereiner, W., Walker, C., Wang, Z., Weir, A., Weiss, M., White, M., Winka, K., Yao, Y. and Zhanga, N., (2007). A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research* 111: 509-547.

- Hibbett, D. (2001) Shiitake mushrooms and molecular clocks: historical biogeography of *Lentinula*. *Journal of Biogeography* 28: 231–241.
- Hongo, T. and Yokoyama, K. (1978) Mycofloristic ties of Japan to the continents. *Memoirs of the Faculty of Education, Shiga University of Natural Science* 28: 76-80.
- Horak, E. (1983) Mycogeography in the south Pacific region: Agaricales, Boletales. *Australian Journal of Botany, Supplementary Series, Supplement* 10: 1–41.
- Hosaka, K., Bates, S.T., Beever, R.E., Castellano, M.A., Colgan, W., Dominguez, L., Nouhra S., Geml J., Giachini A., Kenney S., Simpson N., Spatafora J. and Trappe, J.M. (2006). Molecular phylogenetics of the gomphoid-phalloid fungi with an establishment of the new subclass Phallomycetidae and two new orders. *Mycologia* 98: 949-959.
- Hosaka, K., Castellano, M.A., Spatafora, J.W. (2008) Biogeography of Hysterangiales (Phallomycetidae, Basidiomycota). *Mycological Research* 112: 448–462.
- Humpert, A.J., Muench, E.L., Giachini, A.J., Castellano, M.A., and Spatafora, J.W. (2001). Molecular phylogenetics of *Ramaria* and related genera: evidence from nuclear large subunit and mitochondrial small subunit rDNA sequences. *Mycologia*, 93:465-477.
- James T.Y., Porter D., Hamrick J.L., and Vilgalys R. (1999) Evidence for limited intercontinental gene flow in the cosmopolitan mushroom, *Schizophyllum commune*. *Evolution* 53: 1665–1667.
- Jin, J., Hughes, K.W., and Petersen, R.H. (2001) Biogeographical patterns in *Panellus stypticus*. *Mycologia* 93: 309–316.

- Johnson, J.A., Harrington, T.C. and Engelbrecht, C.J.B. (2005) Phylogeny and taxonomy of the North American clade of the *Caratocystis fimbriata* complex. *Mycologia* 97: 1067-1092.
- Kerrigan, R.W. (1995). Global genetic resources for *Agaricus* breeding and cultivation. *Canadian Journal of Botany* 73: 973-979.
- Kirk, P.M., Cannon, P., David, J.C. and Stalpers, J.A. (2001) Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. CAB International. Wallingford.
- Kirk, P.M., Cannon, P., Winter, D. and Stalper, J. (2008) Dictionary of the fungi. CAB International. Wallingford.
- Koufopanou, V., Burt, A., Szaro, T., and Taylor, J.W. (2001) Gene genealogies reveal cryptic species, and molecular evolution in the human pathogen *Coccidioides immitis* and relatives (Ascomycota, Onygenales). *Molecular Biology and Evolution* 18: 1246–1258.
- Lange, L. 1974. The distribution of Macromycetes in Europe. *Dansk Botanisk Arkiv* 30: 7-15.
- Le Gac, M., Hood, M.E., and Giraud, T. (2007) Evolution of reproductive isolation within a parasitic fungal complex. *Evolution* 61: 1781–1787.
- Lichtwardt, R.W. (1995). Biogeography and fungal systematics. *Canadian Journal of Botany* 73 (Suppl. 1): S731-S737.
- Lickey, E.B., Hughes, K.W. and Petersen, R.H. (2002). Biogeographical patterns in *Artomyces pyxidatus*. *Mycologia* 94: 461–471.
- Linzer, R.E., Otrrosina, W.J., Gonthier, P., Bruhn, J., Laflamme, G., Bussieres, G. and Garbelotto, M. (2008) Inferences on the phylogeography of the fungal pathogen *Heterobasidion annosum*, including evidence of interspecific

- horizontal genetic transfer and of human-mediated, long-range dispersal. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 46: 844-862.
- Lumbsch, T.H., Buchanan, P.K., May, T.W. and Mueller, G.M. (2008) Phylogeography and biogeography of fungi. *Mycological Research* 112: 423-424.
- Luna-Vega, I. (2008) Aplicaciones de la biogeografía histórica a la distribución de las plantas mexicanas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 217-241.
- Marr, C.D. and Stuntz, D.E. (1973). *Ramaria* of western Washington. *Bibliotheca Mycologica*. 38: 1-232.
- Matheny, P.B. and Bougher, N.L. (2006) The new genus *Auritella* from Africa and Australia (Inocybaceae, Agaricales): molecular systematics, taxonomy and historical biogeography. *Mycological Progress* 5: 217.
- Methven, A.S., Hughes, K.W., and Petersen, R.H. (2000) *Flammulina* RFLP patterns identify species and show biogeographical patterns within species. *Mycologia* 92: 1064–1070.
- Moncalvo, J.M. (2005) Molecular systematic: major fungal phylogenetic groups and fungal species concepts, pp.1-33. In: Xu, J.P. (Eds.). *Evolutionary genetics of fungi*. Horizon Scientific Press, Norfolk.
- Moncalvo, J.M. (1997): Evolution of fungal biological diversity in the tropics: systematics perspectives. In: Janardhanan, K., Rajendran C., Natarjan K. and Hawksworth D. (eds.) *Tropical Mycology*. Science Publishers Inc., Enfield.
- Moncalvo, J.M. and Buchanan, P.K. (2008) Molecular evidence for long distance dispersal across the Southern Hemisphere in the *Ganoderma applanatum*-

- australe* species complex (Basidiomycota). Mycological Research 112: 425–436.
- Morrone, J. (2009) Evolutionary Biogeography. An integrative approach with case studies. Columbia University Press. New York.
- Mueller, G.M., Wu, Q.-X., Huang, Y.-Q., Guo, S.-Y., Aldana-Gomez R., and Vilgalys, R. (2001) Assessing biogeographic relationships between North American and Chinese macrofungi. Journal of Biogeography 28: 271–281.
- Oda, T., Tanaka, C and Tsuda, M. (2004) Molecular phylogeny and biogeography of the widely distributed *Amanita* species, *A. muscaria* and *A. pantherina*. Mycological Research 108: 885–896.
- O'Donnell, K., Cigelnik, E. and Nirenberg, H.I. (1998a) Molecular systematics and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi* species complex. Mycologia 90: 465-493.
- O'Donnell, K., Kistler, H.C., Cigelnik, E. and Ploetz, R.C. (1998b) Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. Proceedings of the. National Academy of Sciences USA.95: 2044-2049.
- O'Donnell, K., Kistler, H.C., Tacke, B.K. and Casper, H.H. (2000) Gene genealogies reveal global phylogeographic structure and reproductive isolation among lineages of *Fusarium graminearum*, the fungus causing wheat scab. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 97: 7905–7910.
- O'Donnell, K., Ward, T.J., Geiser, D.M., Kistler, H.C., and Aoki, T. (2004) Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct

- species within the *Fusarium graminearum* clade. *Fungal Genetics and Biology* 41: 600-623.
- O'Donnell, K., Rooney, A.P., Mills, G.L., Kuo, M. and Weber, N.S. (2011) Phylogeny and historical biogeography of true morels (*Morchella*) reveals an early Cretaceous origin and high continental endemism and provincialism in the Holarctic. *Fungal Genetics and Biology* 48: 252-265.
- Peay, K.G., Bidartondo, M.I. and Arnold, A.E. (2010) Not every fungus is everywhere: scaling to the biogeography of fungal-plant interactions across roots, shoots and ecosystems. *New Phytologist* 185: 878-882.
- Petersen, R.H. (1967). Evidence on the interrelationships of the families of clavarioid fungi. *Transactions of the British Mycological Society* 50: 641-648.
- Petersen, R.H. (1970): The genera *Gomphus* and *Gloeocantharellus* in North America. University of Tennessee Press, Knoxville.
- Petersen, R.H. (1981) *Ramaria* subgenus *Echinoramaria*. *Bibliotheca Mycologica* 79: 1-261.
- Petersen, R.H. (1988). The clavarioid fungi of New Zealand. *Science Information Publishing Centre* 236: 1-170.
- Petersen, R.H., and Hughes, K.W. (1999) Species and speciation in mushrooms. *Bioscience* 49: 440–452.
- Pine, E., Hibbett, D. and Donoghue, M. (1999) Phylogenetic relationships of cantharelloid and clavarioid Homobasidiomycetes based on mitochondrial and nuclear rDNA sequences. *Mycologia* 91:944-963.
- Pirozynski, K.A. (1983). Pacific mycogeography: an appraisal. *Australian Journal of Botany Supplementary* 13: 137-160.

- Pringle, A. and Vellinga, E.C. (2006) Last chance to know? Using literature to explore the biogeography of and invasion biology of the death cap mushroom *Amanita phalloides*. (Vaill. ex Fr.:Fr.) Link. *Biological Invasions* 8: 1131–1144.
- Redhead, S.A. (1989) A biogeographical overview of the Canadian mushroom flora. *Canadian Journal of Botany* 67: 3003–3062.
- Samuels, G.J., and Siefert, K.A. (1995) The impact of molecular characters on systematics of filamentous Ascomycetes. *Annual Review Phytopathology* 33: 37-67.
- Shen, Q., Geiser, D.M. and Royse, D.J. (2002) Molecular phylogenetic analysis of *Grifola frondosa* (maitake) reveals a species partition separating eastern North American and Asian isolates. *Mycologia* 94: 472–482.
- Skrede, I., Engh, I., Binder, M., Carlsen, T., Kausrud, H. and Bendiksby, M. (2011) Evolutionary history of Serpulaceae (Basidiomycota): molecular phylogeny, historical biogeography and evidence for a single transition of nutritional mode. *BMC Evolutionary Biology* 11: 230-243.
- Summerell, B.A., Laurence, MH, Liew, E.C.Y. and Leslie, J.F. (2010) Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. *Fungal Diversity* 43: 3-13.
- Taylor, J.W., Jacobson, D.J., Kroken, S., Kasuga, T., Geiser, D.M., Hibbett, D.S. and Fisher, M.C. (2000) Phylogenetic species recognition and species concepts in fungi. *Fungal Genetics and Biology* 31: 21–32.
- Taylor, J.W., Turner, E, Townsend, J.P., Dettman, J.R. and Jacobson, D. (2006a). Eukaryotic microbes, species recognition and the geographic limits of species: examples from the kingdom Fungi. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 361: 1947–1963.

- Taylor, J.W., Turner, E., Pringle, A., Dettman, J.R. and Johannesson, H. (2006)b
Fungal species: thoughts on their recognition, maintenance and selection, pp.
313–339. In: Gadd, G.M., Watkinson, S.C. and Dyer, P.S. (Eds.). *Fungi in the
Environment* Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Villegas, M., Luna, E.D., Cifuentes, J., and Estrada Torres, A. (1999). Phylogenetic
studies in Gomphaceae sensu lato (Basidiomycetes). *Mycotaxon* 70: 127-
147.
- Vilgalys, R., and Sun, B.L. (1994) Ancient and recent patterns of geographic
speciation in the oyster mushroom *Pleurotus* revealed by phylogenetic
analysis of ribosomal DNA sequences. *Proceeding of the National Academy
of Sciences USA* 91: 4599–4603.
- Watling, R. (2001) The relationships and possible distributional patterns of boletes
in south-east Asia. *Mycological Research* 105: 1440–1448.
- Welden, A. (1966) *Stereum radicans*, *Clavariadelphus* and the Gomphaceae.
Brittonia 18: 127-131.
- Wicklow, D.T. (1981) Interference Competition and the Organization of Fungal
Communities. pp. 351-375. In: *The Fungal Community-Its Organization and
Role in the Ecosystem*, D.T. Wicklow and G. C. Carroll (eds.). Marcel Dekker,
New York.
- Wirtz, N. Printzen, C. and Lumbsch, H.T. (2008) The delimitation of Antarctic and
bipolar species of *Usnea neuropogonoid* (Ascomycota Lecanorales) a
cohesion approach of species recognition for the *Usnea perpusilla* complex.
Mycological Research 112: 472-484.

- Wollan, A.K., Bakkestuen, V., Kauserud, H., Gulden, G., and Halvorsen, R. (2008).
Modelling and predicting fungal distribution patterns using herbarium data.
Journal of Biogeography 35: 2298-2310.
- Wu, Q.-X. and Mueller, G.M. (1997) Biogeographic relationships between the
macrofungi of temperate eastern Asia and eastern North America. *Canadian
Journal of Botany* 75 (12): 2108-2116.
- Wu, Q.-X., Mueller, G.M., Lutzoni, F.M., Huang, Y.Q. and Guo, S.Y. (2000)
Phylogenetic and biogeographic relationships of eastern Asian and eastern
North American disjunct *Suillus* species (Fungi) as inferred from nuclear
ribosomal RNA ITS sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 17:
37–47.
- Zhang, L.F., Yang, J.B. and Yang, Z.L. (2004) Molecular phylogeny of eastern Asia
species of *Amanita* (Agaricales, Basidiomycota): taxonomic and
biogeographic implications. *Fungal Diversity* 17: 219–238.

CAPÍTULO 1, Current knowledge and importance of the order
Gomphales (Fungi: Basidiomycota) in México



Current knowledge and importance of the order Gomphales (Fungi: Basidiomycota) in Mexico

Patricia Astrid González-Ávila¹, Isolda Luna-Vega^{1*}, Margarita Villegas Ríos², Rafael Lira Saade³ and Joaquín Cifuentes Blanco²

¹ Laboratorio de Biogeografía y Sistemática, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria 3000, Coyoacán, 04510, México, D.F.

² Laboratories de Micología, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria 3000, Coyoacán, 04510, México, D.F.

³ Unidad de Biotecnología y Prototipos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala Tlanepantla 54090, Estado de México

With 2 figures and 9 tables

Abstract: Those species belonging to the order Gomphales (Fungi: Basidiomycota) are widely distributed, but most of them have been recorded in temperate areas of the northern hemisphere. This study presents the current knowledge and importance of this taxon in Mexico. Herbarium records, published works, institutional databases and personal collections in Mexico show that this order is represented in the country by 10 genera and 92 species, which chiefly inhabit temperate montane forests, although it is also represented at low altitudes. Traditionally, more than half of the species have a nutritional value among the different ethnic groups that inhabit Mexico. It is also known that many of the species are ectomycorrhizal. In comparison with other groups of Basidiomycota, there is little taxonomic knowledge about the species of this order, due chiefly to the lack of specialists on the group. Conservation of the members of this order is important for maintaining the delicate balance of temperate Mexican forests, mainly coniferous ones, which require association with fungi for their survival.

Key words: *Clavariadelphus*, *Gomphus*, *Ramaria*, ectomycorrhizae, edible fungi.

* Corresponding author, e-mail: ilv@hp.fciencias.unam.mx

Introduction

The order Gomphales is considered a monophyletic group according to the hypotheses of Hosaka et al. (2006) and Giachini et al. (2010). It consists of three families, which include approximately 18 genera and 336 species distributed amply worldwide, although most of those recorded are from the northern hemisphere (Kirk et al. 2008).

Those belonging to this order show a great deal of morphological variation, as they can be hypogeous or epigeous organisms, solitary or gregarious, infundibuliform, coralliform, clavate or irregularly branched. Phylogenetic hypotheses based on molecular data suggest a close relationship to the Geastrales, Phallales and Hysterangiales orders (Colgan et al. 1997, Hibbett et al. 1997, Humpert et al. 2001, Hosaka et al. 2006, Giachini 2004, Giachini et al. 2010). *Ramaria* is the most diverse of the genera that the order Gomphales includes, as close to 180 species have been described worldwide (Kirk et al. 2008, Christan 2008, Christan & Hahn 2005, Giachini & Castellano 2011), although it is speculated that many more must exist (Exeter et al. 2006). By contrast, there are monospecific genera in this order, such as *Austrogautieria*, *Kavinia*, *Protogautieria*, *Pseudogomphus* and *Terenodon*, of which only the second and the last have been considered in phylogenetic hypotheses.

A brief taxonomic history of the group

Traditionally, the taxonomy of the Gomphales was based on shared morphological characteristics, e.g. a positive reaction to iron salts, color and spore ornamentation, among others (Donk 1964, Petersen 1967, Corner 1950, 1970, Marr & Stunz 1973, Petersen 1981, 1988, Estrada-Torres 1994, among others). It is currently known that several of these characteristics are parallelisms or convergences that arose during the group's evolution process (Pine et al. 1999, Hibbett and Thorn 2001). Therefore, traditional taxonomy recognized artificial families and genera that did not represent this order's genealogy.

As can be observed in Table 1, the first classification schemes for the Gomphales showed a great deal of variation in terms of their taxonomic limits, both in the order and in the number of families and genera under consideration. As an example of these disputes, it can be observed that whereas Welden (1966) attempted to include *Clavariadelphus* within Gomphaceae due to its positive reaction to iron salts, Petersen (1970) rejected this idea, believing this chemical attribute to be irrelevant. Moreover, taxa such as *Linderomyces* and *Psathyrodon* are currently considered synonyms for *Gloeocantharellus* and *Beenakia* respectively *sensu* Kirk et al. (2008).

Phylogenetic studies on the order Gomphales have utilized morphological (Villegas et al. 1999) and molecular (Hosaka et al. 2006, Hibbett et al. 2007, Giachini et al. 2010) evidence and, although in all cases there seems to be agreement on recognizing the group's monophyly, this conclusion may not be considered definitive, chiefly because none of these studies have included all of the genera (see Table 2). Thus, for example,

Table 1. Different classifications of the order Gomphales based on morphological characters.

Order Families Genera	Donk (1961)	Petersen (1967)	Corner (1970)	Julich (1981)	Hawksworth et al. (1995)	Villegas et al. (1999)
	Aphyllophorales	Aphyllophorales	Aphyllophorales Ramariaceae	Gomphales	G omphales	Gomphales
				1 2 3 4	1 2 3	
<i>Beenakia</i>	*				*	*
<i>Delenteria</i>			*	*		*
<i>Gloeocantavellus</i>		*		*	*	*
<i>Gomphus</i>	*	*		*	*	*
<i>Kavinia</i>	*	*	*	*		*
<i>Lentaria</i>	*		*	*		*
<i>Linderomyces</i>				*		
<i>Psathyrodon</i>				*		
<i>Pseudogomphus</i>					*	
<i>Ramaria</i>	*	*	*	*		*
<i>Ramaricium</i>	*	*			*	*
<i>Terenodon</i>					*	

1 = Gomphaceae, 2 = Lentariaceae, 3 = Ramariaceae, 4 = Beenakiaceae.

the only study including *Ramaricium* was that of Villegas et al. (1999), while genera such as *Austrogautieria*, *Delentaria*, *Pseudogomphus* and *Protogautieria* were not considered, despite these belonging to the order Gomphales, according to Kirk et al. (2008).

Another aspect of note in phylogenetic studies with molecular data is the separation of the *Phaeoclavulina* and *Turbinellus* genera from certain species that were traditionally considered under the *Ramaria* and *Gomphus* genera (Hosaka et al. 2006, Giachini et al. 2010); this proposal has recently been made known formally in the work of Giachini and Castellano (2011).

Finally, at the suprageneric level, Hosaka et al. (2006), Hibbett et al. (2007), Kirk et al. (2008) and Giachini et al. (2010) locate Gomphales within the Phallomycetidae subclass, Agaricomycotina subphylum and Basidiomycota phylum.

This study aims to present a general overview of current knowledge about the Gomphales in Mexico, including information about the types of vegetation and altitude where they grow, the regions of the country where they have been collected, association with other organisms, their growth habits, the phenology of basidiomes and the common names they are given in different parts of the country, as well as the purposes they are used for. It is hoped that analysis of these data will allow us to consider strategies to know more about this order in Mexico.

Table 2. Different classifications of the order Gomphales based on molecular characters.

Subclass Order Genera	Hosaka et al. (2006) Phallomycetidae Gomphales	Hibbett et al. (1997) Phallomycetidae Gomphales	Giachini et al. (2010) Phallomycetidae Gomphales
<i>Beenakia</i>	*	*	
<i>Clavariadelphus</i>	*	*	*
<i>Gautieria</i>	*	*	*
<i>Gloeocantarellus</i>	*	*	*
<i>Gomphus</i>	*	*	*
<i>Kavinia</i>	*	*	*
<i>Lentaria</i>	*	*	*
<i>Phaeoclavulina</i>	*	*	*
<i>Ramaria</i>	*	*	*
<i>Turbinellus</i>	*	*	*

Materials and methods

A database was assembled from review of specialized literature, institutional databases (REMIIB), as well as review of specimens from the Herbario Micológico de la Universidad Autónoma del Estado de México, ENCB, EBUM, FCME, FEZA, Herbario Micológico de Universidad Autónoma de Morelos, IBUG, IZTA, MEXU, TLXM, UJAD, CIAD, ITCV and XAL herbaria (Index Herbariorum, <http://sweetgum.nybg.org/ih>). Its fields include altitude, geographical coordinates, types of vegetation, locality, common name and use, habitat, collector and herbarium where the specimen is deposited. Specimens obtained from markets were excluded from this database due to the uncertain nature of the data on their original locality. In order to facilitate preparation of the distribution maps for Mexico, all records were georeferenced from 1:250,000 and 1:50,000 scale topographic maps prepared by the INEGI (2009).

Results

The database consists of 3288 records of Gomphales belonging to 10 genera and 92 species (see Table 3). This database combines taxonomic knowledge, general distribution aspects and ecology of these organisms. Moreover, knowledge of the order Gomphales includes other headings, such as traditional use by different ethnic groups.

Taxonomic knowledge

Ramaria flava (Schaeff.) Quél. and *R. formosa* (Pers.) Quél. were the first species of Gomphaceae cited in Mexico by Nieto-Roaro (1934); 27 years elapsed before another species (*Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer) was described by Herrera and

Table 3. Species of Gomphales represented in Mexico and considered in this study.

Genera	Number of species in Mexico	Species
<i>Beenakia</i>	1	<i>B. fricta</i> Maas Geest., (1967)
<i>Clavariadelphus</i>	8	<i>C. cokeri</i> V.L. Wells & Kempton (1968) <i>C. fasciculatus</i> Methven & Guzmán (1989) <i>C. fistulosus</i> (Holmsk.) Corner (1950) <i>C. pistillaris</i> (L.) Donk (1933) <i>C. truncatus</i> (Quél.) Donk (1933) <i>C. truncatus</i> var. <i>lovejoyae</i> (V.L. Wells & Kempton) Corner (1970) <i>C. unicolor</i> (Berk. & Ravenel) Corner (1950) <i>C. occidentalis</i> Methven (1989)
<i>Gautieria</i>	1	<i>G. mexicana</i> (E. Fisch.) Zeller & C.W. Dodge (1934)
<i>Gloeocantarellus</i>	2	<i>G. purpurascens</i> (Hesler) Singer (1945) <i>G. pallidus</i> (Yasuda) Giachini & Castellanos (2011)
<i>Gomphus</i>	5	<i>G. albidocarneus</i> M. Villegas (2010) <i>G. brunneus</i> (Heinem.) Corner (1966) <i>G. calakmulensis</i> M. Villegas & J. Cifuentes (2010) <i>G. clavatus</i> (Pers.) Gray (1821) <i>G. pleurobrunnescens</i> M. Villegas & A. Kong (2010)
<i>Kavinia</i>	1	<i>K. alboviridis</i> (Morgan) Gilb. & Budington (1970)
<i>Lentaria</i>	2	<i>L. afflata</i> (Lagger) Corner (1950) <i>L. surculus</i> (Berk.) Corner (1950)
<i>Phaeoclavulina</i>	16	<i>P. abietina</i> (Pers.) Giachini (2011) <i>P. argentea</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011) <i>P. articulotela</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011) <i>P. campoi</i> (Speg.) Giachini (2011) <i>P. cokeri</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011) <i>P. curta</i> R.H. Petersen & M. Zang (1986) <i>P. cyanocephala</i> (Berk. & M.A. Curtis) Giachini (2011) <i>P. flaccida</i> (Fr.) Giachini (2011) <i>P. eumorpha</i> (P. Karst.) Giachini (2011) <i>P. gigantea</i> (Pat.) Giachini (2011) <i>P. grandis</i> (Corner) Giachini (2011) <i>P. insignis</i> (Pat.) Giachini (2011) <i>P. longicaulis</i> (Peck) Giachini (2011) <i>P. subclaviformis</i> (Berk.) Giachini (2011) <i>P. roellinii</i> (Schild) Giachini (2011) <i>P. zippelii</i> (Lév.) Giachini (2011)

Guzmán (1961). However, there are many studies from later decades in which different species of Gomphales have been cited in Mexico, among which the following are of note: Castillo et al. (1979), León and Guzmán (1980), Guzmán (1983, 1985), Martínez et al. (1983), Zarco (1986), Díaz-Barriga et al. (1988), Villegas & Cifuentes (1988), Cifuentes et al. (1990), Estrada-Torres (1994), Montoya (1997), Nava and Valenzuela

(1997), Montoya et al. (2001), Herrera et al. (2002), Montoya et al. (2003), Montoya et al. (2004), Valenzuela et al. (2004), Garibay-Orijel (2006), González-Ávila (2006), Landeros et al. (2006), Chanona-Gómez et al. (2007), Villarruel-Ordaz and Cifuentes (2007), Aguilar and Villegas (2010), González-Ávila (2010) and Villegas et al. (2010). Together with the database assembled, this information tells us that there are currently 92 species of this order known in Mexico, of which the species from the *Ramaria* and *Phaeoclavulina* genera are of note (see Table 1). However, as Estrada-Torres (1994) suggested, every site in Mexico (and in the world) where intensive study of this group is undertaken produces a large number of new species. The above was proven when an exhaustive inventory of the Gomphaceae family was carried out in the state of Tlaxcala, where 15 new species were recognized, and only one described (Estrada-Torres 1995).

The data obtained in this study show that 10 out of the 18 genera included in the order Gomphales are currently known in Mexico, the *Ramaria* genus being that with the greatest number of records at species level (54), followed by *Phaeoclavulina* with 17, *Clavariadelphus* with 8, *Gomphus*, *Gloeocantarellus* with 3 and *Lentaria*, *Turbinellus* with 2 each one; *Beenakia*, *Kavinia* and *Gautieria* are represented by one single species.

Ethnomycological knowledge

The traditional nomenclature associated with Gomphales species is extensive and, as shown in Table 4, generally based on peculiarities associated with its morphology, such as shape, color, consistency or association with other organisms.

As regards the use of species from this group in Mexico, it is known that many of these are highly appreciated as food by different ethnic groups or communities, and some are collected on a mass scale for sale at local markets. Pérez-Moreno et al. (2008) mentioned that of the 200 edible species of wild fungi in Mexico, 14% are from taxa in this order, mostly from the *Ramaria* genus, whose taxa are well represented in the country (Estrada-Torres 1994). It has not been possible to determine many of these taxa at species level, as they are gathered young, incomplete or the locals mix different species for consumption (Villarreal and Pérez-Moreno 1989, Mariaca-Méndez et al. 2001, Estrada-Torres 1994). More recently, Hidalgo-Medina (2010) showed that some of these species contribute a good proportion of proteins and minerals, and constitute a significant part of the indigenous diet. Table 5 lists the main edible species of the order Gomphales in Mexico.

Certain species are not only eaten by man, as there are data showing that *Clavariadelphus pistillaris* (L.) Donk (a species that appears not to exist in Mexico according to Pérez Trejo, pers. comm.), *C. truncatus* (Quél.) Donk, *Turbinellus floccosus* (Schwein.) Earle (formerly *Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer), *Ramaria flava* (Schaeff.) Quél., *R. rugosa* (Bull.) Gray and *R. invalii* (Cotton & Wakef.) Donk also serve as food for rodents (Valenzuela et al. 2004).

It has been recorded that *Ramaria formosa* (Pers.) Quél. is toxic to cattle (Guzmán 1997) and to man (Pardavé-Díaz et al. 2006). Montoya et al. (2003) recorded *Ramaria concolor* (Corner) R.H.Petersen as a toxic species in Tlaxcala, which is interesting,

Table 4. Common and local names of some species of Gomphales in Mexico

Scientific names	Common names	Mexican state	Reference
<i>Clavariadelphus truncatus</i> var. <i>lovejoyae</i>	Dedos de muerto, Clavos	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)
<i>C. truncatus</i>	Chichis de vaca, mamilas	Tlax.	Montoya et al. (2001)
<i>Phaeoclavulina abietina</i> (as <i>Ramaria abietina</i>)	Escobeta Hongo malo o del veneno (Xelhuas náhuatl)	D.F. Tlax.	Villarruel-Ordaz & Cifuentes (2007) Montoya et al. (2003)
<i>Ramaria apiculata</i>	Hongo malo o del veneno (Xelhuas náhuatl)	Tlax.	Montoya et al. (2003)
<i>R. aff. apiculata</i>	Escobeta de tronco, escobeta cafecita, pata de pájaro.	Méx., Tlax.	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. araiospora</i> var. <i>araiospora</i>	Patitas de pájaro, patitas temblonas, patitas rojas, (<i>ua ts'ints'u thēni</i> otomí and <i>mba k'eñisúú mazahua</i>).	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. armeniaca</i>	Patitas de pájaro, patitas temblonas (<i>ua ts'ints'u otomí</i> and <i>k'eñisúú mazahua</i>)	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. bonii</i>	Xelhuas (en náhuatl)	Tlax.	Montoya et al. (2003), Pacheco-Cobos et al. (2009)
<i>R. botrytis</i>	Escobeta morada Patas, pechuga Escobeta, pechuga Escoba, escobeta amarilla Mey duuzh (zapoteco)	Pue. Mich. Ver. Méx. Oax.	Pellicer-González et al. (2002) Gómez et al. (2005) Jarvis et al. (2004) Arteaga-Martínez & Moreno-Zarate (2006) Garibay-Orijel (2009)
<i>R. celerivirescens</i>	Patitas de pájaro, patitas temblonas (<i>ua ts'ints'u otomí</i> and <i>mazahua k'eñisúú</i>)	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. concolor</i>	Patitas de pájaro, patitas temblonas, escobetas, patitas correosas (<i>ua ts'ints'u tídi</i> otomí and <i>k'eñisúú tizhi mazahua</i>) Xelhuas, hongo malo o del veneno (náhuatl)	Méx. Tlax.	Aguilar & Villegas (2010) Montoya et al. (2003)
<i>R. aff. concolor</i>	Patas	Mich.	Gómez et al. (2005)
<i>R. cystidiophora</i>	Xelhuas (náhuatl)	Tlax.	Montoya et al. (2003)
<i>R. fennica</i>	Patitas de pájaro, patitas temblonas (<i>ua ts'ints'u otomí</i> and <i>k'eñisúú mazahua</i>)	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. flava</i>	Escobeta amarilla Patas Escobeta cambray Mey duuzh (zapoteco)	Pue. Mich. Méx. Oax.	Pellicer-González et al. (2002) Gómez et al. (2005) Arteaga-Martínez & Moreno-Zarate (2006) Garibay-Orijel (2009)
<i>R. flava</i> var. <i>aurea</i>	Baya belarutnu, bella yrunu, beshia culirri (zapoteco)	Oax.	Garibay-Orijel (2006; 2009)
<i>R. flavigelatinosa</i> var. <i>flavigelatinosa</i>	Patas	Mich.	Gómez et al. (2005)

<i>R. flavobrunnescens</i>	Escobeta amarilla	Tlax.	Montoya et al. (2001), Torres (2009)
<i>R. aff. formosa</i>	Mey duuzh (zapoteco)	Oax.	Garibay-Orijel (2009)
<i>R. purpurissima</i> var. <i>purpurissima</i>	Baya belarutnu bella yrunu, beshia culirri (zapoteco)	Oax.	Garibay-Orijel (2006; 2009)
<i>R. rasilispora</i> var. <i>rasilispora</i>	Escobeta amarilla, escobeta	Tlax. and Méx.	Estrada-Martinez et al. (2009)
	Escobeta amarilla	Tlax.	Estrada-Torres (1994)
<i>R. rosella</i>	Escobeta roja	Tlax.	Estrada-Torres (1994)
<i>R. rubiginosa</i>	Escobeta	Tlax.	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. rubricarnata</i> var. <i>verna</i>	Baya belarutnu, bella yrunu, beshia culirri (zapoteco)	Oax.	Garibay-Orijel (2006; 2009)
<i>R. aff. rubricarnata</i> var. <i>verna</i>	Escobeta, escobeta amarilla	Tlax. and Méx.	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. rubrievanescens</i>	Xelhuas (náhuatl) Escobeta	Tlax.	Pacheco-Cobos et al. (2009) Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. rubripermanens</i> var. <i>rubripermanens</i>	Patitas de pájaro, patitas temblonas (<i>ua ts'ints'u otomí k'eñisúú mazahua</i>)	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. rubripermanens</i>	Escobeta morada, escobeta café, Xelhuas (náhuatl)	Tlax.	Montoya et al. (2001, 2003), Torres (2009), Pacheco-Cobos et al. (2009), Estrada- Martinez et al. (2009), Estrada-Torres (1994)
<i>R. sanguinea</i>	Escobeta amarilla, Xelhuas (náhuatl)	Tlax.	Estrada-Torres (1994), Montoya et al. (2003)
<i>Ramaria</i> sp.	Xilhuananacat Escobeta, escobetilla, escobilla (Cuecuetlax, Xelhuas, Xelhuasna- nácatl (náhuatl))	Pue. Tlax.	Martinez et al. (1983) Montoya et al. (2001)
	Patita de pájaro, florecita, patita perfumada, sebito, zacacón	Méx.	Mariaca-Méndez et al. (2001)
	Escobeta, roja, amarilla, rosita, blanquitas, cafecitas, moraditas, escobetas de encino u ocote, escobetas grandotas o chiquitas Ntsanakho o akwantskho	Tlax.	Estrada-Torres (1994)
	Escobeta, escobetilla, xolaznanácatl, poposo	Tlax.	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp.1	Cuamanox, escobeta venenosa, escobeta venenosa morada, escobeta blanca venenosa	Tlax.	Torres (2009)
<i>Ramaria</i> sp.2	Escobeta blanca	Tlax.	Torres (2009)
<i>Ramaria</i> sp.3	Escobeta	Tlax.	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp.4	Escobeta gris	Tlax.	Torres (2009)

<i>R. stricta</i>	Escobeta blanca	Méx.	Arteaga-Martínez & Moreno-Zárate (2006)
	Patitas de pájaro, patitas temblonas, escobetas, patitas correosas (<i>ua ts 'ints 'u tidi</i> otomí & <i>eñisiú tizhi</i> mazahua) Mey duuzh (zapoteco)	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)
		Oax.	Garibay-Orijel (2009)
<i>R. versatilis</i>	En náhuatl Xelhuas, escobeta	Tlax.	Montoya et al. (2003)
<i>R. aff. versatilis</i>	Baya belarutnu, bella yrunu, beshia culirri (zapoteco)	Oax.	Garibay-Orijel (2006; 2009)
<i>R. vinosimaculans</i>	Escobeta amarilla, escobeta	Tlax. and Méx.	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	Corneta	Tlax.	Montoya et al. (2001)
	Corneta, trompeta	Méx.	Mariaca-Méndez et al. (2001)
	Trompeta sencilla o doble	Pue.	Pellicer-González et al. (2002)
	Lapitzal, corneta de oyamel, corneta amarilla, corneta amarilla de oyamel, corneta u hongo de cañada	Tlax.	
	Trompa de puerco, enchilado	D.F.	Torres (2009) Villarruel-Ordaz & Cifuentes (2007)
	Corneta	Ver.	Jarvis et al. (2004)
	Tlapitzal	Tlax.	Pacheco-Cobos et al. (2009)
	Corneta, trompetas, trompetillas, tlapitzananácatl	Tlax.	Estrada-Martínez et al. (2009)
	Cornetas	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)
	Trompetas	Tlax.	Estrada-Torres (1994)
	Corneta de oyamel, corneta, Tlapitzal, oyamelnanácatl	Tlax.	Montoya et al. (2003)
<i>T. kauffmanii</i> (before <i>Gomphus kauffmanii</i>)	Cornetas, trompetas	Méx.	Aguilar & Villegas (2010)

Abbreviations: Distrito Federal: D.F.; Estado de México = Méx; Michoacán = Mich; Oaxaca = Oax; Puebla = Pue; Tlaxcala = Tlax; Veracruz = Ver.

as Aguilar and Villegas (2010) report it to be edible in the State of Mexico. Certain species known as "poisonous brushes" have also been recorded as toxic in Tlaxcala, as is the case for *R. gracilis* (Pers.) Quél. and although this fungus has a bitter taste, there are insufficient data on its possible toxicity (Estrada-Torres 1994).

Ramaria flava (Schaeff.) Quél. has been mentioned as medicinal in the state of Chihuahua (Quiñónez-Martínez & Garza-Ocañas 2003), without reporting exactly what it is used for.

In certain cases, different species of immature *Clavariadelphus* and *Gomphus* have been erroneously identified as hallucinogenic, as they have been confused with species from the *Cordyceps* genus that do possess this property, and they have even been given the same common name: "yellow fungus" (Guzmán 2008b).

Table 3. Edible species of the order Gomphales in Mexico.

Species	Reference
<i>Clavariadelphus cokeri</i>	Boa (2005)
<i>C. pistillaris</i>	Boa (2005)
<i>C. truncatus</i>	Guzmán (1977, 1997), Aguilar-Pascual (1988), Díaz-Barriga (1992), Montoya et al. (2001, 2004), Boa (2005), Garibay-Orijel (2006), Garibay-Orijel et al. (2009) Torres (2009) Aguilar & Villegas (2010)
<i>C. truncatus</i> var. <i>lovejoyae</i>	Aguilar & Villegas (2010)
<i>C. unicolor</i>	Boa (2005)
<i>Gautieria mexicana</i>	Montoya et al. (2004); Boa (2005)
<i>Gomphus clavatus</i>	Boa (2005), Garibay-Orijel et al. (2006), Garibay-Orijel (2006)
<i>Ramaria</i> aff. <i>apiculata</i>	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. araiospora</i> var. <i>araiospora</i>	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. aurea</i>	Herrera & Guzmán (1961), Boa (2005) Pérez-Moreno et al. (2008)
<i>R. bonii</i>	Montoya et al. (2004), Boa (2005)
<i>R. botrytis</i>	Herrera & Guzmán (1961), Manzi (1976), Guzmán (1977, 1997), Aguilar-Pascual (1988), Díaz-Barriga (1992), Pellicer-González et al. (2002), Jarvis et al. (2004), Boa (2005), Arteaga-Martínez & Moreno-Zarate (2006), Garibay-Orijel (2009), Portugal et al. (2010)
<i>R. botrytis</i> var. <i>aurantiiramosa</i>	Hidalgo-Medina (2010)
<i>R. botrytoides</i>	Montoya (1997), Boa (2005)
<i>R. aff. cacao</i>	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. celerivirescens</i>	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. concolor</i>	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. cystidiophora</i>	Boa (2005), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. cystidiophora</i> var. <i>fabiolens</i>	Montoya et al. (2004)
<i>R. fennica</i>	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. fennica</i> var. <i>fennica</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. flava</i>	Manzi (1976), Guzmán (1977, 1997), Aguilar-Pascual (1988), Díaz-Barriga (1992), Pellicer-González et al. (2002), Quiñónez-Martínez & Garza-Ocañas (2003), Boa (2005), Martínez-Carrera et al. (2005), Arteaga-Martínez & Moreno-Zarate, (2006), Garibay-Orijel (2009), López-Eustaquio et al. (2010) Portugal et al. (2010)
<i>R. flava</i> var. <i>aurea</i>	Garibay-Orijel (2006, 2009), Garibay-Orijel et al. (2006, 2009)
<i>R. flavobrunnescens</i>	Herrera & Guzmán (1961), Montoya et al. (2001, 2004, 2008) Boa (2005)
<i>R. formosa</i>	Aguilar-Pascual (1988), Montoya et al. (2004), Garibay-Orijel (2009)
<i>R. aff. gelatinosa</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. gracilis</i>	Montoya et al. (2004)

<i>R. hollurubella</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. maculospora</i>	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. pallida</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. purpurissima</i> var. <i>purpurissima</i>	Garibay-Orijel (2006, 2009), Garibay-Orijel et al. (2006, 2009), Hidalgo-Medina (2010)
<i>R. rasilispora</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. rasilispora</i> var. <i>rasilispora</i>	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. rasilispora</i> var. <i>scatesiana</i>	Estrada-Torres (2004), Montoya et al. (2004), Hidalgo-Medina (2010)
<i>R. rosella</i>	Montoya (1997), Estrada-Torres (2004), Boa (2005)
<i>R. rubiginosa</i>	Montoya et al. (2004), Boa (2005), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009), Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. rubricarnata</i>	Montoya et al. (2004)
<i>R. rubricarnata</i> var. <i>verna</i>	Garibay-Orijel (2006), Garibay-Orijel et al. (2006)
<i>R. aff. rubricarnata</i> var. <i>verna</i>	Estrada-Martínez et al. (2009), Garibay-Orijel (2009)
<i>R. rubrievanencens</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. rubripermanens</i>	Montoya et al. (2001, 2004, 2008), Estrada-Torres (2004), Boa (2005), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009) Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. rubripermanens</i> var. <i>rubripermanens</i>	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. sanguinea</i>	Estrada-Torres (2004), Montoya et al. (2004), Boa (2005), Pérez- Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. aff. apiculata</i>	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 1	Montoya et al. (2008)
<i>Ramaria</i> sp. 2	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 3	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria</i> sp. 4	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 5	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria</i> sp. 6	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. stricta</i>	Herrera & Guzmán (1961), Aguilar-Pascual (1988), Boa (2005), Arteaga-Martínez & Moreno-Zarate (2006), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009) Garibay-Orijel (2009) Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. stricta</i> var. <i>concolor</i>	Pérez-Moreno et al. (2009)
<i>R. stricta</i> var. <i>stricta</i>	Pérez-Moreno et al. (2008)
<i>R. subbotrytis</i>	Pérez-Moreno et al. (2008)
<i>R. aff. testaceoflava</i>	Montoya et al. (2004)
<i>R. velocimutans</i>	Hidalgo-Medina (2010)
<i>R. versatilis</i>	Montoya et al. (2004)
<i>R. aff. versatilis</i>	Garibay-Orijel et al. (2009)
<i>R. vinosimaculans</i>	Estrada-Martínez et al. (2009)
<i>R. violaceibrunnea</i>	Hidalgo-Medina (2010)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i> f. <i>floccosus</i>)	Estrada-Torres (2004)

<i>R. hollurubella</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. maculospora</i>	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. pallida</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. purpurissima</i> var. <i>purpurissima</i>	Garibay-Orijel (2006, 2009), Garibay-Orijel et al. (2006, 2009), Hidalgo-Medina (2010)
<i>R. rasilispora</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. rasilispora</i> var. <i>rasilispora</i>	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. rasilispora</i> var. <i>scatesiana</i>	Estrada-Torres (2004), Montoya et al. (2004), Hidalgo-Medina (2010)
<i>R. rosella</i>	Montoya (1997), Estrada-Torres (2004), Boa (2005)
<i>R. rubiginosa</i>	Montoya et al. (2004), Boa (2005), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009), Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. rubricarnata</i>	Montoya et al. (2004)
<i>R. rubricarnata</i> var. <i>verna</i>	Garibay-Orijel (2006), Garibay-Orijel et al. (2006)
<i>R. aff. rubricarnata</i> var. <i>verna</i>	Estrada-Martinez et al. (2009), Garibay-Orijel (2009)
<i>R. rubrievanencens</i>	Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. rubripermanes</i>	Montoya et al. (2001, 2004, 2008), Estrada-Torres (2004), Boa (2005), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009) Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. rubripermanens</i> var. <i>rubripermanens</i>	Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. sanguinea</i>	Estrada-Torres (2004), Montoya et al. (2004), Boa (2005), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009)
<i>R. aff. apiculata</i>	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 1	Montoya et al. (2008)
<i>Ramaria</i> sp. 2	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 3	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria</i> sp. 4	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 5	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria</i> sp. 6	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. stricta</i>	Herrera & Guzmán (1961), Aguilar-Pascual (1988), Boa (2005), Arteaga-Martinez & Moreno-Zarate (2006), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009) Garibay-Orijel (2009) Aguilar & Villegas (2010)
<i>R. stricta</i> var. <i>concolor</i>	Pérez-Moreno et al. (2009)
<i>R. stricta</i> var. <i>stricta</i>	Pérez-Moreno et al. (2008)
<i>R. subbotrytis</i>	Pérez-Moreno et al. (2008)
<i>R. aff. testaceoflava</i>	Montoya et al. (2004)
<i>R. velocimutans</i>	Hidalgo-Medina (2010)
<i>R. versatilis</i>	Montoya et al. (2004)
<i>R. aff. versatilis</i>	Garibay-Orijel et al. (2009)
<i>R. vinosimaculans</i>	Estrada-Martinez et al. (2009)
<i>R. violaceibrunnea</i>	Hidalgo-Medina (2010)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i> f. <i>floccosus</i>)	Estrada-Torres (2004)

T. floccosus (as *Gomphus floccosus*)

Montoya et al. (2001, 2004, 2008), Mariaca-Méndez et al. (2001), Herrera et al. (2002), Pellicer-González et al. (2002), Jarvis et al. (2004), Boa (2005), Díaz et al. (2005), Arteaga-Martínez & Moreno-Zarate (2006), Villarruel-Ordaz & Cifuentes (2007), Pérez-Moreno et al. (2008, 2009), Estrada-Martínez et al. (2009), Torres (2009), Aguilar & Villegas (2010)

T. kauffmanii (as *Gomphus kauffmanii*)

Boa (2005), Aguilar & Villegas (2010)

Distribution and preferred types of vegetation

Current records on taxa belonging to the order Gomphales correspond chiefly to the montane forests of central Mexico (Fig. 1). The altitude of the localities in which the taxa were collected ranges from 10 to 3900 m asl, although there is greater representation above 2000 m asl, there being greater representation in temperate montane forests.

It can be observed in our database that species of the order Gomphales are more abundant in coniferous forests, although they have also been found in oak forests, oak-pine forests and cloud forests, and to a lesser extent in Mexican tropical deciduous and evergreen forests according to the classification of Rzedowski (1978) (Fig. 2). Some taxa are exclusive to certain types of vegetation, such as *Phaeoclavulina abietina* (Pers.) Giachini (formerly *Ramaria abietina* (Pers.) Quél.) always associated with coniferous forests, although there are others such as *P. cyanocephala* (Berk. & M.A. Curtis) Giachini (formerly *R. cyanocephala* (Berk. & M.A. Curtis) Corner) that can be found in tropical deciduous and evergreen forests and in cloud forests. Guzmán (2008) states that members of the order Gomphales are very rare in the tropical and subtropical regions of Mexico. Conversely, certain authors such as Giachini (2004) propose that this group's most diverse areas are in the tropical areas. Owing to the scarcity of records, it cannot currently be stated that there is greater diversity of species in Mexican montane areas.

One close relationship between the fungi of coniferous forests in the Mexican montane systems and western United States was suggested by Guzmán (1973), who registered taxa such as *Ramaria stricta* (Pers.) Quél. (formerly *Clavaria stricta*), *Turbinellus floccosus* (Schwein.) Earle (formerly *Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer) and *Gomphus clavatus* (Pers.) Gray in both places. Some of these fungi follow the same distribution pattern proposed by Rzedowski (1978) for various vascular plants.

It has been speculated that some species are associated with a certain type of vegetation. For example, Estrada-Torres (1994) mentions that the locals in the state of Tlaxcala associate the "yellow brushes" (*Ramaria rasilispora* var. *scatesiana* Marr & D.E. Stuntz, *R. sanguinea* (Pers.) Quél. and probably other species) with the "ocshal" (*Pinus* spp.). Similarly, the "purple brushes" (*R. rubripermanens* Marr & D.E. Stuntz) are frequently close to alders (*Alnus* spp.).

Those states of Mexico where macromycetes have generally been collected and studied the most are the Distrito Federal, State of Mexico, Hidalgo, Morelos, Oaxaca and Veracruz (Cifuentes et al. 1993; Lot 1983). This ratio changes in the case of the



Fig. 1. Known distribution in Mexico of the species belonging to the order Gomphales.

Gomphales, as most of the records correspond to the State of Mexico (838 records), Tlaxcala (432), Veracruz (367), Jalisco (322), Hidalgo (258), Michoacán (235), Morelos (165), and there are no records of this order in: Aguascalientes, San Luis Potosí or Sinaloa (see Table 6), which is surprising if we consider that these include mountainous areas with appropriate environments for these fungi to prosper in.

The state highest diversity in Mexico is Tlaxcala (42 species/7 genera), which allows us to see the collection effort undertaken in this state. The states following this in number of Gomphales species are State of Mexico (39 species/5 genera), Michoacán (33 species/5 genera), Guerrero (27 species/4 genera), Veracruz (25 species/8 genera), Hidalgo (23 species/5 genera), Jalisco (20 species/5 genera), Morelos (10 species/5 genera), Chiapas (9 species/6 genera), Puebla (9 species/4 genera), Distrito Federal (8 species/4 genera), Campeche (7 species/3 genera), Querétaro (7 species/3 genera), Durango (7 species/2 genera), Chihuahua (6 species/3 genera), Oaxaca (6 species/2 genera) and Nuevo León (5 species/2 genera). In the states of Tamaulipas (4 species/3 genera), Quintana Roo (4 species/2 genera), Coahuila (3 species/3 genera), Baja California (3 species/2 genera), Guanajuato (3 species/2 genera), Zacatecas (3 species/2 genera), Nayarit (3 species/1 genus), Tabasco (2 species/2 genera), Baja California Sur (1 species/1 genus), Colima (1 species/1 genus), Sonora (1 species/1 genus) and Yucatán (1 species/1 genus), the Gomphales record is limited, which may mean that these fungi have not been collected exhaustively in these states. Dr. Arturo Estrada's intensive collection is evident in the state of Tlaxcala, as is that of Dr. Laura Guzmán in Jalisco, and that of Dr. Margarita Villegas, Dr. Joaquín Cifuentes and Dr. Evangelina Pérez Silva, among others, in the State of Mexico and Hidalgo. These results are related to how close the ecosystems explored are to the mycological research centers and particular interest in these organisms.

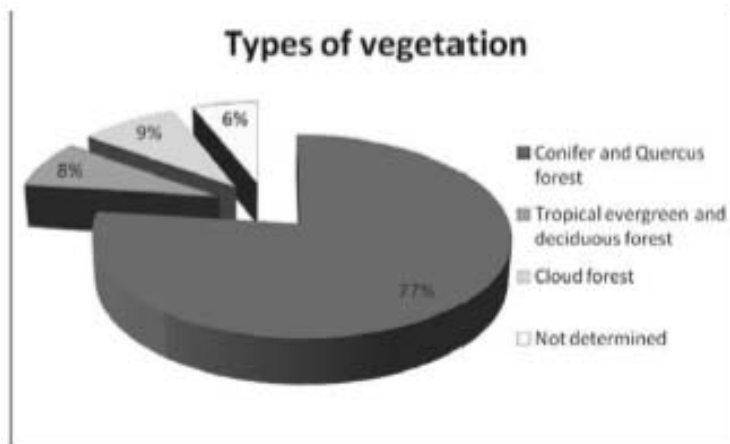


Fig. 2. Mexican vegetation types in which species of Gomphales have been registered.

Those biogeographical provinces (Conabio 1997) where there are currently no records of species belonging to the order Gomphales are: Altiplano Norte (Chihuahua), Baja California, Soconusco and Tamaulipas. Conversely, the place where we find the greatest number of records and species is the Trans-Mexican Volcanic Belt (Table 6).

The phenology of the basidiomes of the different taxa in the order Gomphales varies depending on whether they were collected in temperate montane areas or low areas. Thus, specimens have been recorded in the months of January, March and from July to November in tropical evergreen and deciduous forests, while they have been recorded all year round in montane forests (Table 7). For both areas, the months of the year in which a greater number of basidiomes have appeared are July and August.

Species from the *Ramaria* genus have been collected in every month of the year; according to Estrada-Torres (1994), those species that form fruit before the rainy season utilize residual winter moisture. Most of those belonging to other genera can be found between July and November. However, it is also surprising that there are species from the *Gomphus*, *Lentaria* and *Phaeoclavulina* genera that also form basidiomes in December or January and others such as *Kavinia* have only been collected in August (Table 7).

Ecology

As with other fungi, many Gomphales species are ectomycorrhizal and play an important role in the maintenance of forests; others grow on wood and actively participate in its decomposition.

The database assembled in this study indicates that 74% of the records correspond to taxa with a terrestrial habitat, where according to Petersen (1970, 1981) it is probable that most correspond to mycorrhizal species. From the start of the previous century, Masui (1926), among others, recognized the ectomycorrhizal relationship of these fungi

Table 6. Distribution and number of genera and species present in different Mexican biogeographic provinces and states.

State of the country	Number of records	Number of species	Number of genera	Biogeographic provinces sensu CONABIO (1997)
Baja California	3	3	2	California
Baja California Sur	1	1	1	Del Cabo
Campeche	32	7	3	Golfo de México, Petén
Coahuila	7	3	3	Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino)
Colima	1	1	1	Costa del Pacífico, Eje Volcánico
Chiapas	33	9	6	Costa del Pacífico, Golfo de México, Los Altos de Chiapas
Chihuahua	52	6	3	Sierra Madre Occidental, Costa del Pacífico
Distrito Federal	78	8	4	Eje Volcánico
Durango	56	7	2	Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino), Sierra Madre Occidental, Costa del Pacífico
State of Mexico	838	39	5	Eje Volcánico, Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino)
Guanajuato	41	3	2	Eje Volcánico, Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino)
Guerrero	125	27	4	Costa del Pacífico, Depresión del Balsas, Sierra Madre del Sur
Hidalgo	258	23	5	Golfo de México, Sierra Madre Oriental, Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino)
Jalisco	322	20	5	Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino), Eje Volcánico, Costa del Pacífico
Michoacán	235	33	5	Eje Volcánico, Depresión del Balsas, Costa del Pacífico, Sierra Madre del Sur
Morelos	165	10	5	Eje Volcánico, Depresión del Balsas
Nayarit	13	3	1	Costa del Pacífico, Sierra Madre Occidental
Nuevo León	46	5	2	California, Sierra Madre Oriental, Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino)
Oaxaca	46	6	2	Costa del Pacífico, Soconusco, Golfo de México, Oaxaca, Sierra Madre del Sur
Puebla	53	9	4	Eje Volcánico, Depresión del Balsas, Oaxaca
Querétaro	51	7	3	Sierra Madre Oriental, Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino)
Quintana Roo	40	4	2	Petén
Sonora	1	1	1	Sierra Madre Occidental, Costa del Pacífico, Sonorense
Tabasco	4	2	2	Golfo de México
Tamaulipas	8	4	3	Golfo de México, Sierra Madre Oriental, Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino)

Tlaxcala	432	42	7	Eje Volcánico
Veracruz	367	25	8	Golfo de México, Eje Volcánico
Yucatán	1	1	1	Yucatán, Petén
Zacatecas	5	3	2	Sierra Madre Occidental, Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino)

with trees, chiefly in temperate areas, as is the case of *Abies firma* with *Turbinellus floccosus* (Schwein.) Earle (formerly *Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer). In the case of Mexico, Morris et al. (2008) propose that most species of *Ramaria* growing in a cloud forest in the state of Guerrero are ectomycorrhizal. This type of association with vascular plants appears to be very specific, as has partially been proven with *in vitro* studies, which demonstrate that their requirements are very particular (Estrada-Torres 1994). Table 8 shows the ectomycorrhizal species recorded in Mexico.

The data obtained up to now (see Table 8) lead us to consider that most Gomphales species are potentially ectomycorrhizal, chiefly those belonging to *Gomphus* and *Ramaria*, mostly subgenera *Laeticolora* and *Ramaria*.

Ectomycorrhizal fungi are very important in coniferous forests, because the association allows optimum utilization of the nutrients in the soil. However, these fungi are susceptible to factors such as pollution and fires (Garza-Ocañas et al. 2002), reason why it is important to implement management techniques for certain species of native ectomycorrhizal fungi to inoculate the vascular plants which they are highly specific to and recover these ecosystems (Garza-Ocañas et al. 2002).

Many of the species form ectomycorrhizal associations with conifers, which is favored by the soil conditions formed beneath these plants (Petersen 1970). Authors such as León and Guzmán (1980) consider that pine-oak forests have the most diversity of mycorrhizal species. *Turbinellus floccosus* (Schwein.) Earle (formerly *Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer) in particular has been identified as specific to pine-oak forests.

It has been observed that the *Ramaria* species are associated with *Pinus canariensis* in the Canary Isles (Pérez-Rovira et al., (<http://www.secforestales.org/buscador/pdf/2CFE02-083.pdf>)). *Gomphus* spp. form ectomycorrhizae on the western side of the Atlantic forest in the south of Cameroon (Onguene 2007). Different *Gomphus* and *Ramaria* species have also been observed as ectomycorrhizae in forests dominated by *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) H.Karst. in different parts of Sweden, and in forests dominated by *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg. and *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco in the northwest of the United States (Hobbie and Agerer 2010). Reddell et al. (1999) have mentioned that there are three ectomycorrhizal *Ramaria* species in the *Eucalyptus tetrodonta* F.Muell. and *E. miniata* A.Cunn. forests of northern Australia. Certain species associated with vascular plants, chiefly those inhabiting temperate forests across the world, can be reviewed in Table 9, where their association with trees, chiefly conifers, is successful for their survival.

Table 7. Phenology of some species of the order Gomphales.

Genera	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
<i>Beenakia</i>							X					
<i>Clavariadelphus</i>						X	X	X	X	X	X	
<i>Gautieria</i>						X						
<i>Gloeocantarellus</i>								X			X	
<i>Gomphus</i>	X				X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Kavinia</i>								X				
<i>Lentaria</i>	X							X	X	X	X	X
<i>Phaeoclavulina</i>	X						X	X	X	X	X	
<i>Ramaria</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Turbinellus</i>							X	X	X	X		

Saprobic species belong to *Kavinia*, *Phaeoclavulina*, *Ramaria* subgenera *Lentoramaria* and *Lentaria*, of which only *Kavinia*, *Lentaria*, *Phaeoclavulina* and *Ramaria* subgenus *Lentoramaria* include lignicolous species. *Phaeoclavulina abietina* (formerly *Ramaria abietina* (Pers.) Quél.), *Ramaria concolor* (Corner) R.H.Petersen and *R. stricta* (Pers.) Quél. grow in wood from *Abies religiosa* and other Mexican conifers, producing white rot (Valenzuela et al. 2004; Aguilar and Villegas 2010).

Other studies have shown *Clavariadelphus truncatus* (Quél.) Donk to be an important biological indicator of pollution, as with *Turbinellus floccosus* (Schwein.) Earle (formerly *Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer), *Ramaria flava* (Schaeff.) Quél. and *R. botrytis* (Pers.) Ricken (Gasó et al. 2000).

Conclusions

Mexican Gomphales appear in very diverse ecological conditions, where the greatest number of records corresponds to temperate montane vegetation, such as coniferous forests (1202 records), pine-oak forests (621), cloud forests (385), oak forests (390), and oak-pine forests (167); only 105 records correspond to tropical deciduous and evergreen forests.

The best collected areas are found in the center of the country and are represented by temperate montane forests (Fig. 1). Most of the macroscopic fungi species represented in the herbaria have been collected at these sites. It has therefore been demonstrated that Mexican coniferous forests are the richest in fungi (Guzmán 1977, Guzmán-Dávalos and Guzmán 1979, Guzmán and Frutis 1983). In the case of Gomphales, the data on

Table 8. Species of Gomphales found as ectomycorrhizae in Mexico.

Species	Vegetation type or associated with	Mexican state	Reference
<i>Clavariadelphus occidentalis</i>	<i>Pinus-Quercus</i> forest	Several municipalities of Dgo.	Díaz et al. (2005)
<i>Clavariadelphus pistillaris</i>	<i>Quercus mexicana</i> forest	Sierra de Pachuca, Hgo.	Mendoza-Díaz et al. (2006)
<i>Clavariadelphus truncatus</i>	<i>Pinus-Quercus</i> forest	Several municipalities of Dgo.	Díaz et al. (2005)
<i>Clavariadelphus truncatus</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Clavariadelphus truncatus</i>	<i>Pinus culminicola</i> forest	Cerro Potosí, NL.	Garza-Ocañas et al. (2002)
<i>Gautieria mexicana</i>	<i>Pinus-Alnus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Phaeoclavulina abietina</i> (as <i>R. abietina</i>)	<i>Pinus</i> forest and cloud forest	San Sebastián del oeste, Jal.	Herrera et al. (2002)
<i>Phaeoclavulina cyanocephala</i> (antes <i>R. grandis</i> f. <i>cyanocephala</i>)	<i>Pinus</i> and <i>Abies</i> forest	Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas	Estrada-Torres (2007)
<i>Ramaria araiospora</i> var. <i>rubella</i>	<i>Pinus</i> forest	San Sebastián del oeste, Jal.	Herrera et al. (2002)
<i>Ramaria bonii</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria botrytis</i>	Conifer forest	Urique, Chih.	Quiñónez-Martínez et al. (2009)
<i>Ramaria</i> aff. <i>botrytis</i>	<i>Quercus obtusata</i> forest	Sierra de Pachuca, Hgo.	Mendoza-Díaz et al. (2006)
<i>Ramaria</i> aff. <i>botrytis</i>	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris et al. (2009)
<i>Ramaria botrytoides</i>	Conifer forest	Several municipalities of Tlax.	Estrada-Torres (2004)
<i>Ramaria caulifloriformis?</i>	<i>Quercus obtusata</i> forest	Sierra de Pachuca, Hgo.	Mendoza-Díaz et al. (2006)
<i>Ramaria cystidiophora?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria cystidiophora</i> var. <i>citronella</i>	<i>Pinus</i> and <i>Abies</i> forest	Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chis.	Estrada-Torres (2007)
<i>Ramaria cystidiophora</i> var. <i>fabiolens</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al., (2004)
<i>Ramaria fennica</i> var. <i>griseolilacina</i>	<i>Pinus</i> and <i>Abies</i> forest	Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chis.	Estrada-Torres (2007)
<i>Ramaria fennica</i> var. <i>fennica?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria</i> aff. <i>flava</i>	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris et al. (2009)
<i>Ramaria flavobrunnescens</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria formosa</i>	Conifer forest	Urique, Chih.	Quiñónez-Martínez et al. (2009)
<i>Ramaria gracilis</i>	<i>Pinus-Alnus-Arbutus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)

<i>Ramaria holorubella?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria aff. lutea</i>	Cloud forest	San Sebastián del Oeste, Jal.	Herrera et al., (2002)
<i>Ramaria pallida?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria purpurissima</i>	Conifer forest	Urique, Chih.	Quiñónez-Martínez et al. (2009)
<i>Ramaria rasilispora?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria rasilispora</i> var. <i>scatesiana</i>	Conifer forest	Several municipalities of Tlax.	Estrada-Torres (2004)
<i>Ramaria rasilispora</i> var. <i>scatesiana</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria rosella</i>	Conifer forest	Several municipalities of Tlaxcala	Estrada-Torres (2004)
<i>Ramaria rubiginosa</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria rubiginosa?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria rubricarnata</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria rubrievanescens?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria rubripermanens</i>	<i>Abies</i> and probably <i>Pinus</i>	Several municipalities of Tlaxcala	Estrada-Torres (2004)
<i>Ramaria rubripermanens</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria rubripermanens?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria sanguinea?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 1	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 2 subgen. <i>Laeticolora</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria</i> sp. 3	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris et al. (2009)
<i>Ramaria</i> sp. 4 subgen. <i>Laeticolora</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria</i> sp. 5	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris et al. (2009)
<i>Ramaria stricta</i>	<i>Pinus-Quercus</i> forest	San Sebastián del Oeste, Jal.	Herrera et al. (2002)
<i>Ramaria aff. testaceoflava</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Ramaria versatilis</i>	<i>Quercus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	Conifer forest <i>Pinus-Abies-Pseudotsuga</i> forest	NL	Castillo et al. (1979)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	<i>Pinus</i> and <i>Quercus</i>	Several municipalities of Dgo.	Díaz et al. (2005)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	<i>Pinus-Quercus</i> forest	San Sebastián del Oeste, Jal.	Herrera et al. (2002)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	<i>Abies</i> forest	Several municipalities of Ver.	León & Guzmán (1980)

<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya et al. (2004)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks are located in Central Mexico	Pérez-Moreno et al. (2009)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	<i>Pinus-Quercus</i> forest, <i>Quercus</i> forest and cloud forest	Corredor biológico Chichinautzin, Mor.	López-Eustaquio et al. (2010)

Abbreviations: Chiapas = Chis., Chihuahua = Chih., Durango = Dgo., Guerrero = Gro, Hidalgo = Hgo, Jalisco = Jal, Morelos = Mor, Nuevo León = NL, Tlaxcala = Tlax

current knowledge would support this hypothesis, although it should be considered that the tropical ecosystems have not been amply explored and that authors such as Giachini (2004), suggest that diversity worldwide should be greater in these.

The data obtained in this study tell us that it is necessary to continue collections of the group, both in areas already explored (to increase current levels of information) and in those little explored or unexplored, if we intend to make progress in systematic knowledge on the Gomphales in particular and on fungi in general.

As Guzmán (2008) and other authors have mentioned, Mexico requires intense mycological exploration and careful treatment of macromycetes in general, as the inventories are poor, which has led to limited knowledge of these organisms. In the specific case of the Gomphales, it is evident from this study that knowledge is far inferior to the real levels of representation in Mexico's different ecosystems. Proof of this is the large number of specimens from genera such as *Ramaria* deposited in different herbaria that have still not been identified at species level. If we compare the diversity of Gomphales with other places in the world such as, for example, that existing in the temperate forests of the United States Pacific Northwest, whose (Exeter et al. 2006) smaller surface area leads us to infer that diversity in Mexico is far from being known. Part of this uncertainty may be due to the low level of economic support granted in Mexico for taxonomic studies (Guzmán 1998 a,b, Guzmán-Dávalos 1998) and the lack of specialists in the different taxonomic groups.

Another of the problems associated with poor knowledge of the order in Mexico is species delimitation. Taxa such as *Ramaria flava* (Schaeff.) Quél., which is frequently cited in the literature, present problems of conceptualization and are frequently considered in a very broad sense that many times contradicts the original description of the taxon. Species such as *R. sanguinea* (Pers.) Quél., *R. vinosimaculans* Marr & D.E.Stuntz and many more are possibly being hidden under an incorrect name (Estrada-Torres 1994).

The order Gomphales in itself is relevant, as various species in the *Ramaria*, *Gomphus*, *Turbinellus* and *Clavariadelphus* genera have nutritional value among the different ethnic groups inhabiting Mexico. They form part of the diet for these groups, chiefly during the rainy season, and/or can be collected or bought at markets at reasonable prices. Many of the species are ectomycorrhizal, and encourage the development of

Table 9. Species of Gomphales cited as mycorrhizal in different parts of the world.

Species	Vegetation type or associated with	Locality	Reference
<i>Clavariadelphus ligula</i>	Conifer forest	British Columbia, CAN	Durall et al. (1999)
<i>Clavariadelphus pistillaris</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	Europe	Iosifidou & Raidl (2006)
<i>Gautieria monticola</i>	Accessed in GenBank	Accessed in GenBank	Bruns et al. (1998)
<i>Gautieria monticola</i>	<i>Pleurocospora fimbriolata</i>	California and Oregon, USA	Bidartondo & Bruns (2002)
<i>Gautieria othii</i>	<i>Pinus</i> spp.	North of SPA	Duñabeitia et al. (1996)
<i>Gautieria</i> sp. 1	<i>Eucalyptus tetrodonta</i> and <i>E. miniata</i> forest	Northern AUS	Reddell et al. (1999)
<i>Gautieria</i> sp. 2	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Gautieria</i> sp. 3	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Gautieria</i> sp. 4	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Gautieria</i> sp. 5	Oak forest	Mt. Appalachian, North Carolina, USA	Walker et al. (2008)
<i>Gautieria</i> sp. 6	Oak forest	Mt. Appalachian, North Carolina, USA	Walker et al. (2008)
<i>Gautieria</i> sp. 7	Conifer forest	Sierra National Forest, California, USA	Izzo et al. (2005)
<i>Gomphus clavatus</i>	<i>Picea abies</i>	–	Agerer et al. 1998
<i>Gomphus clavatus</i>	Accessed in GenBank	Accessed in GenBank	Bruns et al. (1998)
<i>Gomphus clavatus</i>	<i>Pinus muricata</i> forest	California, USA	Gardes & Bruns (1996)
<i>Gomphus clavatus</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Gomphus clavatus</i>	Conifer forest	Washington, USA	Trudell et al. (2004)
<i>Gomphus clavatus</i>	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Gomphus fujisanensis</i>	<i>Abies firma</i> forest	Inabu, JAP	Matsuda & Hijii (1998)
<i>Kavinia alboviridis</i>	Accessed in GenBank	Accessed in GenBank	Bruns et al. (1998)
<i>Phaeoclavulina abietina</i> (as <i>Ramaria abietina</i>)	Presence of <i>Pinus</i> and <i>Betula</i>	South of POL	Mleczko (2004)
<i>Phaeoclavulina abietina</i> (as <i>Ramaria abietina</i>)	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Phaeoclavulina flaccida</i> (as <i>Ramaria flaccida</i>)	<i>Pinus</i> and <i>Quercus</i> forest	Chungbuk Province, Republic of KOR	Dong-Hun et al. (2003)
<i>Phaeoclavulina zippelii</i> (as <i>Ramaria zippelii</i>)	<i>Acacia</i> spp., <i>Casuarina euuissetifolia</i> and <i>Eucalyptus</i> spp.	Luzon, Philippines	Sims et al. (1997)
<i>Ramaria acrisiccescens</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria acrisiccescens</i>	Hemlock and <i>Tsuga</i> forests	Oregon, USA	Nouhra et al. (2005)
<i>Ramaria anziana</i>	<i>Eucalyptus</i> spp.	Santa Catarina, BRA	Giachini et al. (2000)
<i>Ramaria apiculata</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)

<i>Ramaria apiculata</i>	Mixed Conifer and Broadleaf forests	Mt. Laojun, CHI	Zhang et al. (2010)
<i>Ramaria araiospora</i>	<i>Pinus muricata</i> forests	California, USA	Gardes & Bruns (1996)
<i>Ramaria araiospora</i>	Accessed in GenBank	Accessed in GenBank	Bruns et al. (1998)
<i>Ramaria araiospora</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria aurantiiscescens</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria aurea</i>	<i>Fagus sylvatica</i> forest	Balvaria, GER	Agerer et al. (1996a)
<i>Ramaria botrytis</i>	<i>Larix kaempferi</i> forest	Yamanashi, JAP	Zhou & Hogetsu (2002)
<i>Ramaria botrytis</i>	<i>Pinus</i> and <i>Quercus</i> forest	ChungBuk Province, Republic of KOR	Dong-Hun et al. (2003)
<i>Ramaria celerivirescens</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria celerivirescens</i>	<i>Pseudotsuga</i> forests	Oregon, USA	Horton et al. (2005)
<i>Ramaria celerivirescens</i>	<i>Pseudotsuga</i> and <i>Tsuga</i> forests	Oregon, USA	Nouhra et al. (2005)
<i>Ramaria celerivirescens</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Blanchard (2008)
<i>Ramaria</i> aff. <i>celerivirescens</i>	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria claviramulata</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Blanchard (2008)
<i>Ramaria concolor</i>	<i>Pinus resinosa</i> forest	Pennsylvania, USA	Koide et al. (2004)
<i>Ramaria concolor</i>	<i>Pinus resinosa</i> forest	Pennsylvania, USA	Koide et al. (2005)
<i>Ramaria concolor</i>	<i>Pinus resinosa</i> forest	Pennsylvania, USA	Koide et al. (2006)
<i>Ramaria conjunctipes</i>	Accessed in GenBank	Accessed in GenBank	Bruns et al. (1998)
<i>Ramaria conjunctipes</i>	<i>Pinus muricata</i> forest	California, USA	Gardes & Bruns (1996)
<i>Ramaria cyaneigranosa</i>	Hemlock and <i>Tsuga</i> forests	Oregon, USA	Nouhra et al. (2005)
<i>Ramaria cystidiophora</i>	Conifer forest (hemlock and cedar)	British Columbia, CAN	Durrall et al. (1999)
<i>Ramaria flavigelatinosa</i> var. <i>carnisalmonea</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria flavosaponarea</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	Europe	Scattolin & Raidl (2006)
<i>Ramaria flavobrunnescens</i> var. <i>aromatica</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria flavobrunnescens</i> var. <i>aromatica</i>	<i>Pseudotsuga</i> and <i>Tsuga</i> forests	Oregon, USA	Nouhra et al. (2005)
<i>Ramaria formosa</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria formosa</i>	<i>Picea abies</i>	Europe	Raidl & Scattolin (2006)
<i>Ramaria formosa</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Blanchard (2008)
<i>Ramaria</i> aff. <i>formosa</i>	<i>Eucalyptus</i> forest	Perth, AUS	Glen et al. (2001)

<i>Ramaria</i> aff. <i>formosa</i>	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria</i> aff. <i>fumosiavellanea</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria gelatiniaurantia</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria gelatinosa</i> var. <i>oregonensis</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria holorubella</i>	<i>Eucalyptus</i> forest	Perth, AUS	Glen et al. (2001)
<i>Ramaria junquillea-vertex</i>	<i>Eucalyptus</i> spp.	Santa Catarina, BRA	Giachini et al. (2000)
<i>Ramaria largentii</i>	<i>Picea abies</i> forest	Bavaria, GER	Agerer et al. (1996b)
<i>Ramaria leptiformosa</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria longispora</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria lorithamnus</i>	<i>Eucalyptus</i> forest	Perth, AUS	Glen et al. (2001)
<i>Ramaria pallida</i>	<i>Quercus</i> forests	Postdam, GER	Sammler (2004)
<i>Ramaria</i> aff. <i>pinicola</i>	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria</i> aff. <i>rasilispora</i>	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria</i> aff. <i>rubiginosa</i>	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria rubrievanescens</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Blanchard (2008)
<i>Ramaria rubricarnata</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria sandaracina</i>	<i>Pseudotsuga</i> and <i>Tsuga</i> forests	Oregon, USA	Nouhra et al. (2005)
<i>Ramaria sandaracina</i> var. <i>euosma</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria</i> sp.	<i>Eucalyptus</i> forest	Perth, AUS	Glen et al. (2001)
<i>Ramaria</i> sp.	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria</i> sp.	<i>Picea abies</i> forest	South of GER	Baier et al. (2006)
<i>Ramaria</i> sp.	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Blanchard (2008)
<i>Ramaria</i> sp. 1	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria</i> sp. 2	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria</i> sp. 3	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria</i> sp. 4	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria</i> sp. 5	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Ramaria spinulosa</i>	<i>Fagus sylvatica</i> forest	Bavaria, GER	Agerer et al. (1996c)
<i>Ramaria</i> aff. <i>stricta</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria stuntzii</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i> forest	Oregon, USA	Norvell & Exeter (2004)
<i>Ramaria subbotrytis</i>	<i>Quercus robur</i> / <i>Fagus sylvatica</i> forest	Bavaria, GER	Agerer et al. (1996d)
<i>Ramaria testaceoflava</i>	Conifer forest	Washington, USA	Trudell et al. (2004)

<i>Ramaria toxica</i>	<i>Eucalyptus benthamii</i>	Colombo, Paraná, BRA	Peres & Lopes (2002)
<i>Ramaria versatilis</i>	<i>Eucalyptus</i> forest	Perth, AUS	Glen et al. (2001)
<i>Ramaria</i> aff. <i>versatilis</i>	<i>Abies</i> forest	Oregon, USA	Dunham et al. (2007)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	<i>Pinus muricata</i> forest	California, USA	Gardes & Bruns (1996)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	Accessed in GenBank	Accessed in GenBank	Bruns et al. (1998)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	<i>Abies firma</i> forest	Inabu, JAP	Matsuda & Hijii (1998)
<i>Turbinellus floccosus</i> (as <i>Gomphus floccosus</i>)	Deciduous broadleaf forest and mixed conifer and broadleaf forests	Mt. Laojun, CHI	Zhang et al. (2010)

various tree species that are important to forest structure (*Pinus culminicola* Andresen & Beaman for example, Garza-Ocañas et al. 2002). Conservation of the members of this order is important for maintaining the delicate balance of different ecosystems, this being more evident in temperate montane forests, chiefly those where conifers are present and require association with the fungus for their survival. Certain species of *Ramaria*, *Phaeoclavulina*, *Lentaria* and *Kavinia* are implicated in the decomposition process of dead organic matter (chiefly wood), which is important for the incorporation and recycling of nutrients within ecosystems.

Acknowledgements

To the curators of the following collections: Cristina Burrola Aguilar (CIRB), Elvira Aguirre (MEXU), Victor Manuel Gómez Reyes (EBUM), Marco Antonio Hernández (FEZA), Lilia Ramírez (FCME), Lourdes Acosta Urdapilleta (HEMIM), Irene Frutis (IZTA), Laura Guzmán (IBUG), Ricardo Valenzuela (ENCB), Raúl Díaz (UJAD), Jesús García (UTCV), Martín Ezqueda (CIAD), Gastón Guzmán (XAL) and Alejandro Kong (TLMX). Postgraduate Program and to the PAPIIT IN221 711-3 project for financing field trips and herbaria revisions. This paper constitutes a partial fulfilment of the Graduate Program in Biological Sciences of the National Autonomous University of México (UNAM). N.A.Rojano-Vilchis acknowledges the scholarship and financial support provided by the National Council of Science and Technology (CONACyT 207211), and UNAM.

References

- AGERER, R. 1996a: *Ramaria aurea* (Schaeff.: Fr.) Quel. + *Fagus sylvatica* L. – Descr. Ectomyc. 1: 107–112.
- AGERER, R. 1996b: *Ramaria largentii* Marr & D.E. Stuntz + *Picea abies* (L.) Karst. – Descr. Ectomyc. 1: 113–118.
- AGERER, R. 1996c: *Ramaria spinulosa* (Fr.) Quel. + *Fagus sylvatica* L. – Descr. Ectomyc. 1: 119–124.
- AGERER, R. 1996d: *Ramaria subbotrytis* (Coker) Corner + *Quercus robur* L. – Descr. Ectomyc. 1: 125–130.

- AGERER, R., L. BEENKEN & J. CHRISTAN 1998: *Gomphus clavatus* (Pers.: Fr.) S.F. Gray. + *Picea abies* (L.) Karst. – *Descr. Ectomyc.* 3: 25–29.
- AGUILAR, Y. & M. VILLEGAS 2010: Especies de Gomphales comestibles en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México. – *Rev. Mex. Mic.* 31: 1–8.
- AGUILAR-PASCUAL, O. 1988: Análisis sobre la comercialización de los hongos silvestres comestibles en la Ciudad de México: Correlación entre selectividad y valor nutricional. – Bachelor thesis. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- ARTEAGA-MARTÍNEZ, B. & C. MORENO-ZÁRATE 2006: Los hongos comestibles silvestres de Santa Catarina del Monte, Estado de México. – *Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente, Universidad Autónoma de Chapingo, México* 12: 125–131.
- BAIER, B., J. INGENHAAG, H. BLASCHKE, A. GÖTTLEIN & R. AGERER 2006: Vertical distribution of an ectomycorrhizal community in upper soil horizons of a young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stand of the Bavarian Limestone Alps. – *Mycorrhiza* 16: 197–206.
- BIDARTONDO, M. & D. BRUNS 2002: Fine-level mycorrhizal specificity in the Monotropoideae (Ericaceae): specificity for fungal species groups. – *Mol. Ecol.* 11: 557–569.
- BLANCHARD, J. 2008: Episodic dynamics of microbial communities associated with the birth and death of ectomycorrhizal mats in old-growth douglas-fir stands. – Master in Sciences Dissertation. Oregon State University, Corvallis.
- BOA, E. 2005: Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de uso e importación para la población. – Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Rome.
- BRUNS, T., T. SZARO, M. GARDES, K. CULLINGS, J. PAN et al. 1998: A sequence database for the identification of ectomycorrhizal basidiomycetes by phylogenetic analysis. – *Mol. Ecol.* 7: 257–272.
- CASTILLO, J., J. GARCÍA & F. SAN MARTÍN 1979: Algunos datos sobre la distribución ecológica de los hongos principalmente los micorrícicos en el centro del estado de Nuevo León. – *Bol. Soc. Mex. Mic.* 13: 229–237
- CHANONA-GÓMEZ, F., R. ANDRADE-GALLEGOS, J. CASTELLANOS-ALBORES & J. SÁNCHEZ 2007: Macromicetes del Parque Educativo Laguna Bélgica, municipio de Ocozacoautla de Espinosa, Chiapas, México. – *Rev. Mex. Biodivers.* 78: 369–381.
- CHRISTAN, J. 2008: Die Gattung *Ramaria* in Deutschland. Monografie zur Gattung *Ramaria* in Deutschland, mit Bestimmungsschlüssel zu den euroäischen Arten. (Edit) IHW-Verlag, Eching.
- CHRISTAN, J. & C. HAHN 2005: The systematic of the genus *Ramaria* (Basidiomycota, Gomphales). – *Z. Mykol.* 71(1): 7–42.
- CIFUENTES, J., M. VILLEGAS, L. PÉREZ-RAMÍREZ, V. BULNES, M. CORONA et al. 1990: Observación sobre la distribución, hábitat e importancia de los hongos de Los Azufres, Michoacán. – *Rev. Mex. Mic.* 6: 133–149.
- CIFUENTES, J., M. VILLEGAS & L. PÉREZ-RAMÍREZ 1993: Hongos macroscópicos. – In: LUNA-VEGA, I. & J. LLORENTE (eds) *Historia Natural del parque ecológico estatal Omiltemi, Chilpancingo, Guerrero, México.* CONABIO-Universidad Nacional Autónoma de México. México. 59–129 p.
- COLGAN, W., M. CASTELLANO & J. SPATAFORA 1997: Systematics of the Hysterangiaceae (abstract). – *Inoculum* 48: 7.
- CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD) 1997: Provincias biogeográficas de México. Escala 1:4000000. México.
- CORNER, E. 1950: A monograph of *Clavaria* and allied genera. – Dawson's of Pall Mall, London.
- CORNER, E. 1970: Supplement to a monograph of *Clavaria* and allied genera. – Verlag Von J. Cramer, Lehre.

- DÍAZ-BARRIGA, H. 1988: Contribucion al conocimiento de los Macromicetes del estado de Michoacán. – Acta Bot. Mex. 2: 21–44.
- DÍAZ-BARRIGA, H. 1992: Hongos comestibles y venenosos de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Universidad Nacional de San Nicolás de Hidalgo, Centro de Investigaciones y Desarrollo del estado de Michoacán (CIDEM), Instituto de Ecología, A.C.
- DÍAZ, R., J. MARMOLEJO & R. VALENZUELA 2005: Flora micológica de bosque de pino y pino-encino en Durango, México. – Ciencias UANL VIII (3): 362–369.
- DONG-HUN, K., C. HUNG-CHAE, O. SHOJI, & L. SANG-SUN 2003: ITS primers with enhanced specificity to detect the ectomycorrhizal fungi in the roots of wood plants. – Mycobiology 31: 23–31.
- DONK, M. 1961: Four new families of Hymenomycetes. – Persoonia 1: 405–407.
- DONK, M. 1964: A conspectus of the families of Aphyllophorales. – Persoonia 3: 199–324.
- DURALL, D., M. JONES, E. WRIGHT, P. KROEGER, & K. COATES 1999: Species richness of ectomycorrhizal fungi in cutblocks of different sizes in the Interior Cedar-Hemlock forests of northwestern British Columbia: sporocarps and ectomycorrhizae. – Can. J. Res. 29: 1322–1332.
- DUNHAM, S., K. LARSSON, & J. SPATAFORA 2007: Species richness and community composition of mat-forming ectomycorrhizal fungi in old and second-growth Douglas-fir forests of the HJ Andrews Experimental Forest, Oregon, USA. – Mycorrhiza 17: 633–645.
- DUÑABEITIA, M., S. HORMILLA, I. SALCEDO & J. PEÑA 1996: Ectomycorrhizae synthesized between *Pinus radiata* and eight fungi associated with *Pinus* spp. – Mycologia 88: 897–908.
- ESTRADA-MARTÍNEZ, E., G. GUZMÁN, D. CIBRIÁN & R. ORTEGA 2009: Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la Sierra Nevada (México). – Interciencia 34: 25–33.
- ESTRADA-TORRES, A. 1994: La familia Gomphaceae (Aphyllophorales: Fungi) en el estado de Tlaxcala. – Doctoral Dissertation. ENCB, Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- ESTRADA-TORRES, A. 1995: *Ramaria bonii* sp. nov. A new species in subg. *Laeticolora* from central Mexico. – Docums. Mycol. 25: 167–172.
- ESTRADA-TORRES, A. 2007: Hongos ectomicorizógenos y myxomycetes del parque nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. – Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas. Final report SNIB-CONABIO project BK043. México, D.F.
- EXETER, R., L. NORVELL & E. CÁZARES 2006: *Ramaria* of the Pacific northwestern United States. – Bureau of Land Management, Oregon.
- GARDES, M. & T. BRUNS 1996: Community structure of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: above and below ground views. – Can. J. Bot. 74: 1572–1583.
- GARIBAY-ORIJEL, R. 2006: Análisis de la relación entre la disponibilidad del recurso fúngico y la importancia cultural de los hongos en los bosques de pino-encino de Ixtlán, Oaxaca. – Doctoral dissertation. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- GARIBAY-ORIJEL, R. 2009: Los nombres zapotecos de los hongos. – Rev. Mex. Mic. 30: 43–61.
- GARIBAY-ORIJEL, R., J. CIFUENTES, A. ESTRADA-TORRES & J. CABALLERO 2006: People using macro-fungal diversity in Oaxaca, Mexico. – Fungal Divers. 21: 41–67.
- GARIBAY-ORIJEL, R., M. MARTÍNEZ-RAMOS & J. CIFUENTES 2009: Disponibilidad de esporomas de hongos comestibles en los bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. – Rev. Mex. Biodivers. 80: 521–534.
- GARZA-OCAÑAS, F., J. GARCÍA, E. ESTRADA & H. VILLALÓN 2002: Macromicetes, ectomicorizas y cultivo de *Pinus culminicola* en Nuevo León. – Ciencias UANL 5: 204–210.

- GASO, I., N. SEGOVIA, L. CERVANTES, T. HERRERA, E. PÉREZ-SILVA et al. 2000: Algunos hongos comestibles silvestres como indicadores biológicos de contaminación en los bosques de la Sierra del Chichinautzin. - I Seminario Iberoamericano, prospectiva sobre medio ambiente y desarrollo CIEMAD-IPN. February-March. México, D.F.
- GIACHINI, A. 2004: Systematics, phylogeny, and ecology of *Gomphus* sensu lato. – Doctoral Dissertation. Oregon State University, Corvallis.
- GIACHINI, A., V. OLIVEIRA, M. CASTELLANO & J. TRAPPE 2000: Ectomycorrhizal fungi in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations in southern Brazil. – *Mycologia* **92**: 1166–1177.
- GIACHINI, A., K. HOSAKA, E. NOUHRA, J. SPATAFORA & J. TRAPPE 2010: Phylogenetic relationships of the Gomphales based on nuc-25S-rDNA, mit-12S-rDNA, and mit-atp6-DNA combined sequences. – *Fung. Biol.* **114**: 224–234.
- GIACHINI, A. & M. CASTELLANO 2011: A new taxonomic classification for species in *Gomphus* sensu lato. – *Mycotaxon* **115**: 183–201.
- GLEN, M., I. TOMMERUP, N. BOUGHER & P. O'BRIEN 2001: Interspecific and intraspecific variation of ectomycorrhizal fungi associated with *Eucalyptus* ecosystems as revealed by ribosomal DNA PCR-RFLP. – *Mycol. Res.* **105**: 843–858.
- GÓMEZ, V., M. GÓMEZ & Z. ORTEGA 2005: Hongos silvestres comestibles de la comunidad indígena Nicolás Romero, municipio de Zitácuaro, Michoacán. – *Biológicas* **7**: 22–27.
- GONZÁLEZ-ÁVILA, P. 2006: Contribución al conocimiento del género *Ramaria* subgénero *Echinoramaria* y *Ramaria* en México. – Bachelor dissertation. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- GONZÁLEZ-ÁVILA, P. 2010: Estudio taxonómico del género *Ramaria* subgénero *Echinoramaria* (Fungi: Basidiomycetes) en México. – Master in Sciences Dissertation. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- GUZMÁN, G. 1977: Identificación de los hongos comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de madera. – Ed. Limusa, México, D.F. 445 p.
- GUZMÁN, G. 1973: Some distributional relationships between Mexican and United States mycofloras. – *Mycologia* **65**: 1319–1330.
- GUZMÁN, G. 1983: Los hongos de la Península de Yucatán, II. Nuevas exploraciones y adiciones micológicas. – *Biótica* **8**: 71–100.
- GUZMÁN, G. 1985: Hongos. – Ed. Limusa, México, D.F. 75 p.
- GUZMÁN, G. 1997: Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina. – Xalapa, Ver. México, Instituto de Ecología, A. C. 356 p.
- GUZMÁN, G. 1998a: Inventoring the fungi of Mexico. – *Biodivers. Conserv.* **7**: 369–392.
- GUZMÁN, G. 1998b: Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (ensayo sobre el inventario fúngico del país). – In: HALFFTER, G. (ed) La diversidad biológica de Iberoamérica II. Acta Zoológica Mexicana, nueva serie, volumen especial, CYTED e Instituto de Ecología, Xalapa. 111–175 p.
- GUZMÁN, G. 2008: Análisis de los estudios sobre los macromycetes de México. – *Rev. Mex. Mic.* **28**: 7–15.
- GUZMÁN, G. & I. FRUTIS 1983: Contribución al conocimiento de los hongos del estado de Hidalgo. – *Bol. Soc. Mex. Mic.* **18**: 219–265.
- GUZMÁN-DÁVALOS, L. & G. GUZMÁN 1979: Estudio ecológico comparativo entre los hongos (macromycetes) de los bosques tropicales y los de coníferas del sureste de México. – *Bol. Soc. Mex. Mic.* **13**: 89–125.

- GUZMÁN-DÁVALOS, L. 1998: Los estudios sobre Agaricales en México. – Bol. IBUG 6: 279–295.
- HAWKSWORTH, D., P. KIRK, B. SUTTON & D. PEGLER 1995: Dictionary of Fungi. – International Mycological Institute, CAB International, Wallingford.
- HERRERA, T. & G. GUZMÁN 1961: Taxonomía y ecología de los principales hongos comestibles de diversos lugares de México. – Anales Inst. Biol., Universidad Nacional Autónoma de México 32: 33–135.
- HERRERA, M., L. GUZMÁN & O. RODRÍGUEZ 2002: Contribución al conocimiento de la micobiota de la región de San Sebastián del oeste, Jalisco, México. – Acta Bot. Mex. 58: 19–50.
- HIBBETT, D., E. PINE, E. LANGER, G. LANGERT & M. DONOGHUE 1997: Evolution of gilled mushrooms and puffballs inferred from ribosomal DNA sequences. – Proc. Nat. Acad. Sci. USA 94: 12002–12006.
- HIBBETT, D., M. BINDER, J. BISCHOFF, M. BLACKWELL, P. CANNON et al. 2007: A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. – Mycol. Res. 111: 509–547.
- HIBBETT, D. & R. THORN 2001: Homobasidiomycetes. – In: MCLAUGHLIN, D., E. MCLAUGHLIN & P. LEMKE (eds) Systematics and evolution. Part B. Springer-Verlag, Berlin. The Mycota VII: 121–170.
- HIDALGO-MEDINA, V. 2010: Contribución al estudio taxonómico de clavariodes comestibles en México. – Bachelor thesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- HOBBIE, E. & R. AGERER 2010: Nitrogen isotopes in ectomycorrhizal sporocarps correspond to belowground exploration types. – Plant Soil 327: 71–83.
- HORTON, T., R. MOLINA & K. HOOD 2005: Douglas-fir ectomycorrhizae in 40- and 400-year-old stands: mycobiont availability to late successional western hemlock. – Mycorrhiza 15: 393–403.
- HOSAKA, K., S. BATES, R. BEEVER, M. CASTELLANO, W. COLGAN III et al. 2006: Molecular phylogenetics of the gomphoid-phalloid fungi with an establishment of the new subclass Phallomycetidae and two new orders. – Mycologia 98: 949–959.
- HUMPERT, A., E. MUENCH, A. GIACHINI, M. CASTELLANO & J. SPATAFORA 2001: Molecular phylogenetics of *Ramaria* and related genera; evidence from nuclear large subunit and mitochondrial small subunit rDNA sequence. – Mycologia 93: 465–477.
- JARVIS, M., A. MILLER, J. SHEAHAN, K. PLOETZ, J. PLOETZ et al. 2004: Edible wild mushrooms of the Cofre de Perote region, Veracruz, Mexico: an ethnomycological study of common names and uses. – Econ. Bot. 58: 111–115.
- JÜLICH, W. 1981: Higher taxa of Basidiomycetes. – J. Cramer, Liechtenstein.
- IOSIFIDOU, P. & S. RAIDL 2006: *Clavariadelphus pistillaris* (L.) Donk + *Fagus sylvatica* L. – Descr. Ectomyc. 9/10: 21–25.
- IZZO, A., M. MEYER, J. TRAPPE, M. NORTH & T. BRUNS 2005: Hypogeous ectomycorrhizal fungal species on roots and in small mammal diet in a mixed conifer forest. – Forest Sci. 51: 243–254.
- KIRK, P., P. CANNON, D. WINTER & J. STALPER 2008: Dictionary of the fungi. – CAB International, Wallingford.
- KOIDE, R., B. XU & J. SHARDA 2004: Contrasting below-ground views of an ectomycorrhizal fungal community. – New Phytol. 166: 251–262.
- KOIDE, R., B. XU, J. SHARDA, Y. LEKBERG & N. OSTIGUY 2005: Evidence of species interactions within an ectomycorrhizal fungal community. – New Phytol. 165: 305–316.
- KOIDE, R., D. SHUMWAY, B. XU & J. SHARDA 2006: On temporal partitioning of a community of ectomycorrhizal fungi. – New Phytol. 174: 420–429.

- LANDEROS, F., J. CASTILLO, G. GUZMÁN & J. CIFUENTES 2006: Los hongos (Macromicetes) conocidos en el Cerro el Zamorano (Querétaro-Guanajuato), México. – *Rev. Mex. Mic.* **22**: 25–31.
- LEÓN, G. & G. GUZMÁN 1980: Las especies de hongos micorrícicos conocidas en la región de Uxpanapa-Coatzacoalcos-LosTuxtlas-Papaloapan-Xalapa. – *Bol. Soc. Mex. Mic.* **14**: 27–37.
- LÓPEZ-EUSTAQUIO, L., D. PORTUGAL, V. MORA & N. BAUTISTA 2010: Diversidad fúngica. – In: BONILLA-BARBOSA, J., V. MORA, J. LUNA, H. COLIN & S. SANTILLAN-ALARCON (eds) Biodiversidad, conservación y manejo en el Corredor Biológico Chichinautzin, condiciones actuales y perspectivas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 315 p.
- LOT, A. 1983: Informe del Comité Ejecutivo de la Flora de México. – Comité Ejecutivo Flora de México. México, D.F.
- MANZI, J. 1976: Hongos: contribución al conocimiento de las especies comestibles y venenosos del área central del Estado de Jalisco, México. – Ed. Misiones Culturales de B.C., A.C.
- MARIACA-MÉNDEZ, R., L. DEL C. SILVA-PÉREZ & C. CASTAÑOS-MONTES 2001: Proceso de recolección y comercialización de hongos comestibles en el valle de Toluca, México. – *Ciencia Ergo Sum* **8**: 30–40.
- MARTÍNEZ, A., E. PÉREZ-SILVA & E. AGUIRRE-ACOSTA 1983: Etnomicología y exploración micológica en la Sierra Norte de Puebla. – *Bol. Soc. Mex. Mic.* **18**: 51–68.
- MARTÍNEZ-CARRERA, D., D. NAVA, M. SOBAL, M. BONILLA & Y. MAYETT 2005 Marketing channels for wild and cultivated edible mushrooms in developing countries: the case of Mexico. – *Mic. Aplic. Inter.* **17**: 9–20.
- MARR, C., & D. STUNTZ 1973: *Ramaria* in western Washington. – *Bibliothca Mycol* **38**: 1–232.
- MASUI, K. 1926: A study of the mycorrhiza of *Abies firma* S. et Z., with special reference to its mycorrhizal fungus, *Cantharellus floccosus* – Schw. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ. Ser. B, **2**: 15–84.
- MATSUDA, Y. & N. HIJII 1998: Spatio-temporal distribution of fruitbodies of ectomycorrhizal fungi in an *Abies firma* forest. – *Mycorrhiza* **8**: 131–138.
- MENDOZA-DÍAZ, M., F. ZAVALA & M. ESTRADA 2006: Hongos asociados con encinos den la porción noreste de la sierra de Pachuca, Hidalgo. – *Revista Chapingo, Serie forestales y del ambiente* **12**: 13–18.
- MLECZKO, P. 2004: Mycorrhizal and saprobic macrofungi of two zinc wastes in southern Poland. – *Acta biologica Cracoviensia, Series Botanica* **46**: 25–38.
- MONTOYA, A. 1997: Estudio etnomicológico en San Francisco de Temezontla, Estado de Tlaxcala. – Master in Sciences Dissertation. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- MONTOYA, A., A. ESTRADA-TORRES, A. KONG-LUZ & L. JUAREZ 2001: Commercialization of wild mushrooms during market days of Tlaxcala, Mexico. – *Mic. Aplic. Inter.* **13**: 31–40.
- MONTOYA, A., O. HERNÁNDEZ-TOTOMOCH, A. ESTRADA-TORRES & A. KONG-LUZ 2003: Traditional knowledge about mushrooms in Nahua community in the state of Tlaxcala, México. – *Mycologia* **99**: 793–806.
- MONTOYA, A., A. KONG-LUZ, A. ESTRADA-TORRES, J. CIFUENTES & J. CABALLERO 2004: Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. – *Fung. Divers.* **17**: 115–143.
- MONTOYA, A., N. HERNÁNDEZ, C. MAPES, A. KONG & A. ESTRADA-TORRES 2008: The collection and sale of wild mushrooms in a community of Tlaxcala, Mexico. – *Econ. Bot.* **62**: 413–424.
- MORRIS, M., M. PÉREZ-PÉREZ, M. SMITH & C. BLEDSOE 2008: Multiple species of ectomycorrhizal fungi are frequently detected on individual oak root tips in a tropical cloud forest. – *Mycorrhiza* **18**: 375–383.

- MORRIS, M., M. PEREZ-PEREZ, M. SMITH & C. BLEDSOE 2009: Influence of host species on ectomycorrhizal communities associated with two co-occurring oaks (*Quercus* spp) in a tropical cloud forest. – *FEMS Microbiol Ecology* **69**: 274–287.
- NAVA, R. & R. VALENZUELA 1997: Los Macromicetos de la Sierra de Nanchititla, México. – *Polibotánica* **5**: 21–36.
- NIETO-ROARO, O. 1934: Algunos hongos comestibles y venenosos del valle de México. – Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Folleto Divulgación Científica **12**: 559–568.
- NORVELL, L. & R. EXETER 2004: Ectomycorrhizal epigeous basidiomycete diversity in Oregon Coast Range *Pseudotsuga menziesii* forests preliminary observations. – In: CRIPPS, C.L. (ed) *Fungi in forest ecosystems: systematics, diversity, and ecology*. The New York Botanical Garden, 159–189 p.
- NOUHRA, E., T. HORTON, E. CAZARES & M. CASTELLANO 2005: Morphological and molecular characterization of selected *Ramaria* mycorrhizae. – *Mycorrhiza* **15**: 55–59.
- ONGUENE, N. 2007: Mycorrhizal associations as indicator of forest quality after land use practices. – In: BATIONO, A. (ed) *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: challenges and opportunities*. Springer, 845–853 p.
- PACHECO-COBOS, L., M. ROSETTI & R. HUDSON 2009: A new method for tracking pathways of humans searching for wild, edible fungi. – *Mic. Aplic. Inter.* **21**: 77–87.
- PARDAVÉ DÍAZ, L., V. CALLEJOS, L. FLORES & V. RUIZ 2006: Distribución de los hongos venenosos conocidos en el Estado de Aguascalientes. – *Investigación y Ciencia de la Universidad Nacional Autónoma de Aguascalientes* **35**: 31–36.
- PELLICER-GONZÁLEZ, E., D. MARTÍNEZ-CARRERA, M. SÁNCHEZ, M. ALIPHAT & A. ESTRADA-TORRES 2002: Rural management and marketing of wild edible mushrooms in Mexico. – *Proceedings IV International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*, Cuernavaca, Mexico. 433–443 p.
- PERES, M. & M. LOPES 2002: Diversidade e distribuição sazonal da produtividade de corpos frutíferos de fungos ectomicorrízicos associados a plantações de *Pinus* spp. E *Eucalyptus* spp. DA Embrapa Florestas. – I Evento de Iniciação científica da Embrapa Florestas. Colombo. December 3–5, 2002.
- PÉREZ-MORENO, J., M. MARTÍNEZ-REYES, A. YESCAS-PÉREZ, A. DELGADO-ALVARADO & B. XOCONOSTLE CAZARES 2008: Wild mushroom markets in central Mexico and a case study at Ozumba. – *Econ. Bot.* **22**: 1–12.
- PÉREZ-MORENO, J., M. MARTÍNEZ-REYES, A. LORENZANA, V. CARRASCO & M. MENDEZ-NERI 2009: Social and Biotechnological Studies of Wild Edible Mushrooms in Mexico, with Emphasis in the Izta-Popo and Zoquiapan National Parks. – *Acta Bot. Yunnan.*, Suppl **XVI**: 55–61.
- PETERSEN, R.H. 1967: Evidence on the interrelationships of the families of the clavarioid fungi. – *Trans. Brit. Mycol. Soc.* **50**: 641–648.
- PETERSEN, R.H. 1970: The genera *Gomphus* and *Gloeocantharellus* in North America. – University of Tennessee Press, Knoxville.
- PETERSEN, R.H. 1981: *Ramaria* subgenus *Echinoramaria*. – *Bibliothca. Mycol.* **79**: 1–261.
- PETERSEN, R.H. 1988: The clavarioid fungi of New Zealand. – *Bull New Zeal. Depart. Sci. Res.* **236**: 1–170.
- PINE, E.M., D. HIBBETT & M. DONOGHUE 1999: Phylogenetic relationship of cantharelloid and clavarioid homobasidiomycetes based on mitochondrial and nuclear rDNA sequences. – *Mycologia* **91**: 944–963.

- PORTUGAL, D., L. LÓPEZ-EUSTAQUIO, V. MORA & N. BAUTISTA 2010: Hongos comestibles. Diversidad fúngica. – In: BONILLA-BARBOSA, J., V. MORA, J. LUNA, H. COLÍN & S. SANTILLAN-ALARCON (eds) Biodiversidad, conservación y manejo en el Corredor Biológico Chichinautzin, condiciones actuales y perspectivas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 315 p.
- QUIÑÓNEZ-MARTÍNEZ, M. & F. GARZA-OCAÑAS 2003: Hongos macromicetes de Bosque Modelo, Chihuahua. – Ciencia en la frontera: Rev. Cienc. Tecnol. UACJ I: 63–69.
- QUIÑÓNEZ-MARTÍNEZ, M., P. LAVIN, F. GARZA-OCAÑAS, A. DE LA MORA, T. LEBGUE et al. 2009: Riqueza y frecuencia de hongos ectomicorrizógenos en el municipio de Urique, Chihuahua, México. – Ciencia en la frontera: Rev. Cienc. Tecnol. UACJ VII: 33–40.
- RAIDL, S. & L. SCATTOLIN 2006: *Ramaria formosa* (Pers.) Quél. + *Picea abies* (L.) Karst. – Descr. Ectomyc. 9/10: 143–149.
- REDELLE, P., V. GORDON & M. HOPKINS 1999: Ectomycorrhizae in *Eucalyptus tetrodonta* and *E. miniata* forest communities in tropical Northern Australia and their role in the rehabilitation of these forests following mining. – Austr. J. Bot. 47: 881–907.
- RZEDOWSKI, J. 1978: Vegetación de México. Limusa, México, D.F. 432 p.
- SCATTOLIN, L. & S. RAIDL 2006: *Ramaria flavo-saponarea* R.H. Petersen + *Fagus sylvatica* L. – Descr. Ectomyc. 9/10: 135–141.
- SAMMLER, P. 2004: Die Rot-Eiche (*Quercus rubra* L., Fagaceae) als stark mykotrophe Gehölzart – ein Vergleich der Makromyzetenflora unter Rot-Eichen und einheimischen Eichen in der Umgebung von Potsdam, Deutschland. Fedd. Repert. 115: 102–120.
- SIMS, K., R. WATLING, R. DE LA CRUZ & P. JEFFRIES 1997: Ectomycorrhizal fungi of the Philippines: a preliminary survey and notes on the geographic biodiversity of the Sclerodermatales. – Biodivers. Conserv. 6: 45–58.
- TORRES, E. 2009: Estudio ecológico y frecuencia de mención de los hongos silvestres en el parque nacional La Malinche, Tlaxcala. – Bachelor thesis. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- TRUDELL, S., P. RYGIEWICZ & R. EDMONDS 2004: Patterns of nitrogen and carbon stable isotope ratios in macrofungi, plants and soils in two old-growth conifer forests. – New Phytol. 164: 317–335.
- VALENZUELA, R., T. RAYMUNDO & M. PALACIOS 2004: Macromicetes que crecen sobre *Abies religiosa* en el Eje Neovolcánico Transversal. – Polibotánica 18: 33–52.
- VALENZUELA, V., T. HERRERA, M. GASO, E. PÉREZ-SILVA & E. QUINTERO 2004: Acumulación de radiactividad en hongos y su relación con roedores en el bosque del centro nuclear de México. – Rev. Intern. Contam. Amb. 20: 141–146.
- VILLARREAL, L. & J. PÉREZ-MORENO 1989: Los hongos comestibles de México, un enfoque integral. – Mic. Neotrop. Aplic. 2: 77–114.
- VILLARRUEL-ORDAZ, J. & J. CIFUENTES 2007: Macromicetos de la Cuenca del Río Magdalena y zonas adyacentes, Delegación la Magdalena Contreras, México, D.F. – Rev. Mex. Mic. 25: 59–68.
- VILLEGAS, M. & J. CIFUENTES 1988: Revisión de algunas especies del género *Ramaria* subgénero *Lentoramaria* en México. – Rev. Mex. Mic. 4: 185–200.
- VILLEGAS, M., E. DE LUNA, J. CIFUENTES & A. ESTRADA-TORRES 1999: Phylogenetic studies in Gomphaceae sensu lato (Basidiomycetes). – Mycotaxon 70: 127–147.
- VILLEGAS, M., J. CIFUENTES, A. ESTRADA-TORRES & A. KONG-LUZ 2010: The genus *Gomphus* in tropical and subtropical zones of Mexico. – Nova Hedwigia 90(3–4): 491–501.

- WALKER, J., O. MILLER & J. HORTON 2008: Seasonal dynamics of ectomycorrhizal fungus assemblages on oak seedlings in the southeastern Appalachian Mountains. – *Mycorrhiza* **18**: 123–132.
- WELDEN, A. 1966: *Stereum radicans*, *Clavariadelphus* and the Gomphaceae. – *Brittonia* **18**: 127–131.
- ZARCO, J. 1986: Estudio de la distribución ecológica de los hongos (principalmente Macromicetes) en el Valle de México, basado en los especímenes depositados en el herbario ENCB. – *Rev. Mex. Mic.* **2**: 41–72.
- ZHANG, Y., D. ZHOU, Q. ZHAO, T. ZHOU & K. HYDE 2010: Diversity and ecological distribution of macrofungi in the Laojun Mountain region, southwestern China. – *Biodivers. Conserv.* **19**: 3545–3563.
- ZHOU, Z., & T. HOGETSU 2002: Subterranean community structure of ectomycorrhizal fungi under *Suillus grevillei* sporocarps in a *Larix kaempferi* forest. – *New Phytol.* **154**: 529–539.

Manuscript submitted May 25, 2012; accepted September 11, 2012.

CAPÍTULO 2, Richness patterns of the order Gomphales in Mexico
and their implications for conservation

Richness patterns of the order Gomphales in Mexico and their implications for
conservation

Patricia Astrid González-Ávila¹, Isolda Luna-Vega¹ and Raúl Contreras-Medina²

¹Laboratorio de Biogeografía y Sistemática, Departamento de Biología Evolutiva,
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad
Universitaria 3000, Coyoacán, México, D. F., CP 04510, México

²Escuela de Ciencias, Universidad Autónoma 'Benito Juárez' de Oaxaca (UABJO),
Av. Universidad s/n, Ex Hacienda de Cinco Señores, Oaxaca de Juárez, Oaxaca,
CP 68120, México

*Correspondence author: luna.isolda@gmail.com, ilv@hp.fciencias.unam.mx

Abstract An analysis of the 96 species of Gomphales that inhabit Mexico was done in order to detect the areas with the greatest species richness and the highest endemism values. The study of the distribution of the species was carried out at three level areas: Mexican states, biogeographical provinces and grid-cells of one degree on each side. The richest zones in species and endemism are found in the central region of the country in the states of México, Hidalgo, Puebla and Tlaxcala, mainly in mountainous areas, many of which are located in the Trans-Mexican Volcanic Belt biogeographic province. Only some of these zones are related with the Mexican system of Protected Natural Areas (PNA). Unfortunately, fungi have never been taken into consideration when designating protected natural areas in Mexico. Furthermore, the inventory of these organisms in the country is decidedly incomplete. The areas with high richness in Gomphales are related with

the Mexican mountains chains and also with the localization of the main research centers of mycoflora in Mexico.

Keywords: Fungi, biogeography, endemism, diversity, Gomphales, richness

INTRODUCTION

Mycogeography *sensu* Lichtwardt (1995), also known as fungi biogeography, studies and explains their distribution patterns. This is a relatively new field with a short history in comparison to plants and animals. It has emerged slowly, but in recent decades it has been driven by the development of molecular taxonomic research (Demoulin 1973, Lange 1974, Eckblad 1981, Redhead 1989, Baroni *et al.* 1997, Wu and Mueller 1997, Hibbett 2001, Watling 2001, Pringle and Vellinga 2006, Lumbsch *et al.* 2008, Skrede *et al.* 2011).

Fungi distribution studies are complicated because of the ephemeral nature and periodicity of the species' life history which, added to their ecological limitations for growth and reproduction, make them difficult to sample (Demoulin 1973, Wicklow 1981, Hosaka *et al.* 2008, Wollan *et al.* 2008). Information on the distribution of certain fungi, when available, has taken second place in the monographs and general works of certain groups; occasionally, it is discussed together with certain pathogenic agents or related organisms such as mycorrhizas (e.g. Petersen 1981; Methven 1990; Kirk *et al.* 2008).

The number of studies of fungi distribution has recently increased, mainly those that inhabit the northern hemisphere; fungi of the southern hemisphere have been less studied (Grgurinovic 1997; Bougher and Syme 1998; Watling 2001; Matheny and Bougher 2006). These studies have principally been done on species

that are important to mankind such as those which are mycorrhizal (e.g. *Amanita Geml et al. 2008*; *Tricholoma sculpturatum* (Fr.) Quél. 1872: Carriconde *et al. 2008*; Hysterangiales: Hosaka *et al. 2008* and *Serpula* (Pers.) Gray 1821: Skerede *et al. 2011*), and have basically been phylogeographic in nature (e.g. Summerell *et al. 2010*).

Incomplete information on the biodiversity of macrofungi from such ecosystems is only available from scattered sources (Lodge and Cantrell 1995; Lodge 1997; Jiménez-Valverde and Hortal 2003; Piepenbring 2007; Schmit and Mueller 2007; Swapna *et al. 2008*). A major part of the global but unknown fungal biodiversity is assumed to occur in tropical regions, where the diversity of fungi may be higher than in temperate regions, because of more favorable environmental conditions throughout the year, a higher diversity of vascular plants that create niches and microhabitats for fungi, and the presence of many ecotones (Hawksworth 2001; Kark 2007).

Mexico is one of the countries with greatest biological diversity in the world (Mittermeier and Goettsch 1992; Flores-Villela and Gerez 1994; Ramamoorthy *et al. 1993*), due to a variety of factors such as its geographical position, geological, history, different climates and orography. It has also been considered as a transition zone between the Nearctic and Neotropical biogeographic regions (Halffter 1987). The geographic distribution of the elements that make up the Mexican biota is the result of vicariance, local dispersion and extinction events as well as Pleistocene climate changes and in situ speciation processes (Salinas-Moreno *et al. 2004*).

In a biological conservation sense, a total of 176 areas have been declared federal Protected Natural Areas (PNA) in Mexico (which correspond to 12.92% of the National territory), where the assumption is that the original environment has not been significantly impacted by human activities (CONANP 2012). Peterson *et al.* (2000) pointed out that the Mexican system of Protected Natural Areas is an old one and was developed considering different motives; the areas have not been properly chosen or were only selected for their natural beauty, like fresh-water reservoirs, recreational suitability or historical importance and, therefore, there are still many other important areas left out that are relevant to the conservation of biodiversity in Mexico. Protected Natural Areas are increasingly valued, not only from an ecological point of view, but from an economic and social standpoint as well, especially because endangered species inhabit them.

More recently in Mexico, selection of Protected Natural Areas has been based on the presence of organisms with biological meaning, that is, some species that are included in some risk category in the Mexican official publication named Official Mexican Norm NOM-059 (SEMARNAT 2010). In this list, species are included in some kind of risk category and was drawn up from surveys sent by specialist taxonomists. Despite this, the selection of species for inclusion in the NOM-059 has been subjective, because it is based in a risk evaluation method (MER), which is based in a subjective measure of the geographic range of these taxa in Mexico. Other elements considered in the MER are the habitat status with respect to the natural development of the taxon, the biological vulnerability intrinsic to the taxon, and the impact of the human activity on the taxon. In many cases, little is known about the accurate size of the distribution areas of these species.

The NOM-059 contains 46 species of fungi classified as endangered, in danger of extinction and subject to special protection. Unfortunately, none of the species of the order Gomphales is included in the list.

The order Gomphales is found in all vegetation types in Mexico, including tropical, subtropical and temperate, from sea level to 3900 m (González-Ávila *et al.* 2013a,b). The order is considered to be a monophyletic group according to the phylogenetic analyses done by Hosaka *et al.* (2006) and Giachini *et al.* (2010). The order's importance stems from the fact that many species of Gomphales are ectomycorrhizal and are associated with species of conifers that inhabit Mexico, belonging to the genera *Abies*, *Pseudotsuga*, *Picea* and *Pinus* (Estrada-Torres 1994), which are, in turn, dominant trees in certain types of vegetation in Mexico (Contreras-Medina and Luna-Vega 2007). These fungi are also important because they are considered edible by different ethnic groups in certain Mexican states (González-Ávila *et al.* 2013a,b).

The order Gomphales comprises three families, 18 genera and 336 species. Although the majority of the species have been found in temperate zones of the Northern Hemisphere, they also inhabit tropical and subtropical zones (Kirk *et al.* 2008). The three families of the order are found in Mexico as well as 10 of the 18 genera of Gomphales. The genus *Ramaria* has the largest number of species (53) in Mexico, followed by *Phaeoclavulina* with 16, *Clavariadelphus* with eight, *Gomphus* with five, *Gautieria*, *Gloeocantharellus*, *Lentaria* and *Turbinellus* with two and finally *Beenakia* and *Kavinia* with only one species. This gives a total of 92 species to be found in Mexico, which corresponds to 27% of the total known diversity of the group in the world (González-Ávila *et al.* 2013a).

The aim of this study is to analyze the distribution of the species and the genera belonging to the order Gomphales found in Mexico so as to determine the zones with greatest species richness and endemism in Mexico (grid-cells), as well as the Mexican states and biogeographic provinces where these taxa are concentrated. In addition, an effort was made to compare whether the distribution of Gomphales studied are related with the Mexican system of Protected Natural Areas.

MATERIALS AND METHODS

Distribution data

Information regarding the distribution of the species of Gomphales was obtained from different sources: specialized literature, data bases, revision of specimens in scientific collections and field collections in different Mexican states. Analyses of samples was carried out in the following scientific collections: The Mycology Herbarium at the Universidad Autónoma of the State of México, CHIP, ENCB, EBUM, FCME, FEZA, The Mycology Herbarium at the Universidad Autónoma of Morelos, IBUG, IZTA, MEXU, TLXM, UJAD, CIAD, ITCV and XAL (Index Herbariorum: <http://sweetgum.nybg.org/>). Specialized literature was also consulted, such as Castillo *et al.* (1979), León and Guzmán (1980), Guzmán (1983, 1985), Martínez *et al.* (1983), Zarco (1986), Díaz-Barriga *et al.* (1988); Villegas (1988), Cifuentes *et al.* (1990), Estrada-Torres (1994), Montoya (1997), Nava and Valenzuela (1997), Montoya *et al.* (2001, 2003, 2004), Herrera *et al.* (2002), Valenzuela *et al.* (2004); Garibay-Orijel (2006), González-Ávila (2006, 2010), Landeros *et al.* (2006), Chanona-Gómez *et al.* (2007), Villarruel-Ordaz and

Cifuentes (2007); Aguilar and Villegas (2010); Villegas *et al.* (2010) and González-Ávila *et al.* 2013a,b,c). Also institutional databases were consulted (REMIB). Finally, field exploration was carried out in the Mexican states of Chiapas, Distrito Federal, Durango, México, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca and Tabasco, in order to gather field data and specimens of some of the species studied here. A database containing 3483 records was put together using all of the above-mentioned information. The herbarium specimens and our field collections were identified at species level, with the exception of several specimens of the genus *Ramaria*, which were only identified at subgenus level mainly due to a lack of morphological data, especially their coloring, which is important for their identification. All records were georeferenced using topographic maps to a scale of 1:250,000 and 1:50,000 drawn up by the National Institute of Statistics and Geography (INEGI, initials in Spanish: *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática* 2009).

Distribution analysis

Areography is the study of taxa distribution areas (Rapoport 1975, Rapoport and Monjeau 2001) by means of which areas of richness and endemism for different organisms are identified. In Mexico, grid-cell analysis has been used to detect the richness and endemism of various groups of organisms (García-Mendoza 1995, Serrato *et al.* 2004; Contreras-Medina and Luna-Vega 2007, among others). Using this approach it is possible to generate useful spatial information such as biogeographic regionalization and the detection of important areas for conservation.

For the areographic analysis, the Mexican territory was divided into grid-cells of one degree per side, both for the richness and the endemism analysis of genera and species. Similar areographic studies have been done before using the same grid-cell size scale for different groups of Mexican biota (e.g. Kolhmann and Sánchez 1984; García-Mendoza 1995; Dávila-Aranda *et al.* 2004; Serrato *et al.* 2004; Ochoa-Ochoa and Flores-Villela 2006; Contreras-Medina and Luna-Vega 2007).

With the purpose of producing species and genus distribution maps of the order Gomphales, we used the software ArcView GIS version 3.3 (ESRI 2000). The sample sites for the collection of species and genera of the order Gomphales inhabiting Mexico were displayed on a digital map, scale 1:250,000, produced by the National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO, initials in Spanish: *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, 1998). Similarly, these locations were placed on the grid-cells and Mexican states (Figure 1a) generated by using the ArcView (ESRI 2000), as was the digital map of the biogeographic provinces (Arriaga *et al.* 1997), which represent a regionalization of the country based on four different sources (vascular plants, herpetofauna, mammals and morphotectonics, Figure 1b). Using this information, richness values were obtained for each of the grid-cells, Mexican states and biogeographic provinces, whereas endemism values were only obtained for grid-cells.

Species endemism was evaluated by following the proposal of Crisp *et al.* (2001) and Linder (2001) using the weighted endemism and the corrected weighted endemism methods. The value of each species was obtained for these

indexes and weighted according to the inverse of its distribution so that if a taxon is only present in one grid-cell, it is given a value of 1, whereas if a taxon is registered in four grid-cells its value is 0.25, and if found in 10 grid-cells, its assigned value is 0.1. Thereafter, to get the value of each grid-cell, the values of all the species in the grid-cell are added together; this index is called "weighted endemism".

Therefore, grid-cells containing many species showing restricted distribution are expected to have higher values than those grid-cells with many widely-distributed species. Nevertheless, a positive relationship between weighted endemism values and species richness in each grid-cell is noteworthy (Crisp *et al.* 2001, Linder 2001, Santa Anna del Conde *et al.* 2009).

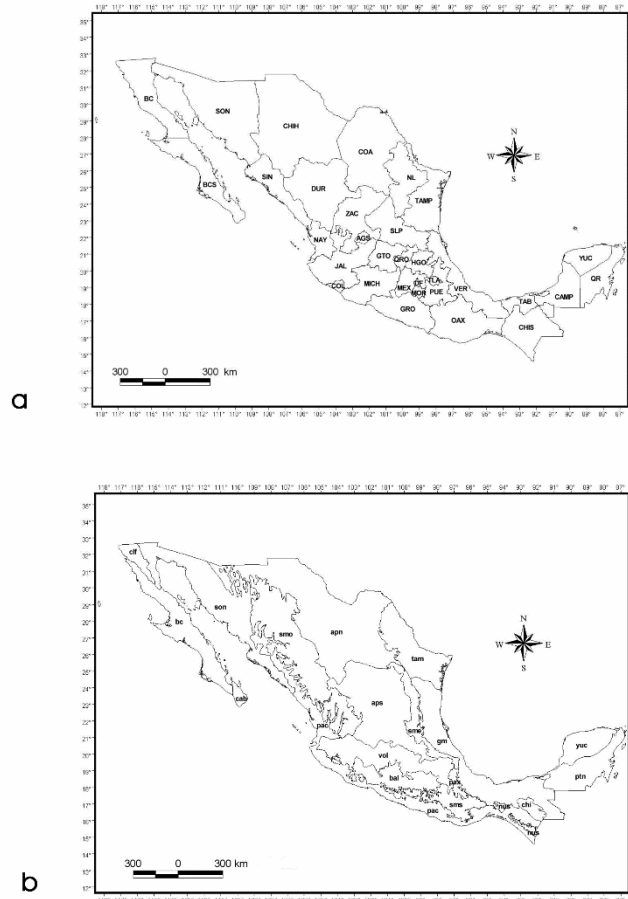


Figure 1. a. The 32 Mexican states; b. The 19 biogeographic provinces of Mexico according to Arriaga *et al.* (1997).

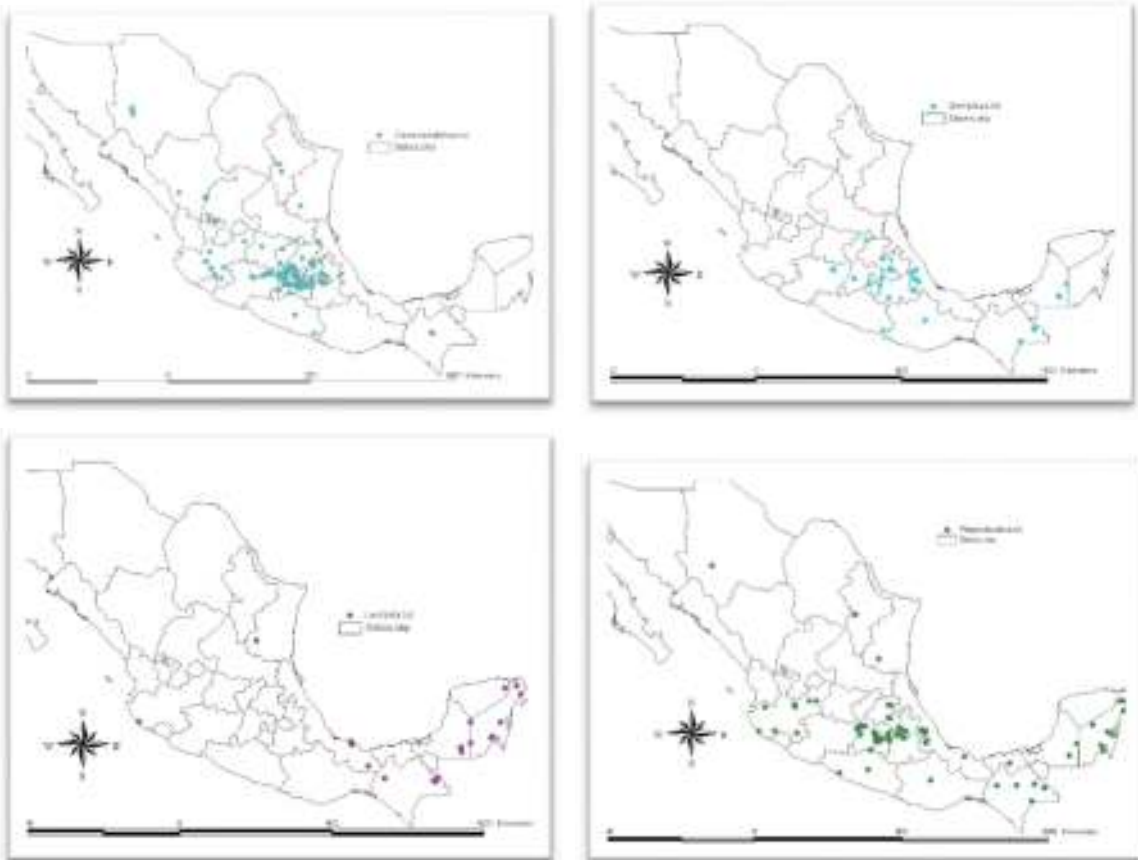
To get the corrected weighted endemism index, the weighted endemism value of each grid-cell was divided by the total number of species in that grid-cell. This operation "corrects" species richness so that grid-cells containing relatively few species, but all showing restricted distribution, should register higher values than those grid-cells registering high richness, but containing relatively few species showing restricted distribution. Although the total number of species in each grid-cell is also taken into consideration for corrected weighted endemism, unlike weighted endemism, it is not related to richness since there is a low correlation between the two variables (Crisp *et al.* 2001, Linder 2001, Santa Anna del Conde *et al.* 2009).

Previously, some authors have analyzed the geographic distribution of animals (Halffter, 1987) and plants (Rzedowski, 1991) of the Mexican biota in a global context in order to establish general patterns. Species and genera can be grouped in Nearctic, Neotropical, endemic, Mesoamerican and Cosmopolitan, among others, depending on their distribution. In this sense we analyzed the distributional patterns of the species of Gomphales found in Mexico in a global context. Unfortunately, these species have been poorly collected and studied in Mexico and worldwide, so their distributional analysis must be considered as preliminary.

Finally, we chose the grid-cells containing the most species of Gomphales and those that registered high endemism values for Mexico and compared them with the National System of Protected Natural Areas (CONANP 2012).

RESULTS

The database generated includes a total of 3,483 records comprising 10 genera and 96 species of the order Gomphales. The total number of records that represent the known distribution of all the species and genera of the order Gomphales in Mexico is shown in Figure 2. This figure shows that a large number of records are associated with the main Mexican mountain ranges (mainly in the center of the country, e.g. the Trans-Mexican Volcanic Belt), although certain species, especially those belonging to the genus *Lentaria* and *Phaeoclavulina* are concentrated in lowlands located in southeastern Mexico.



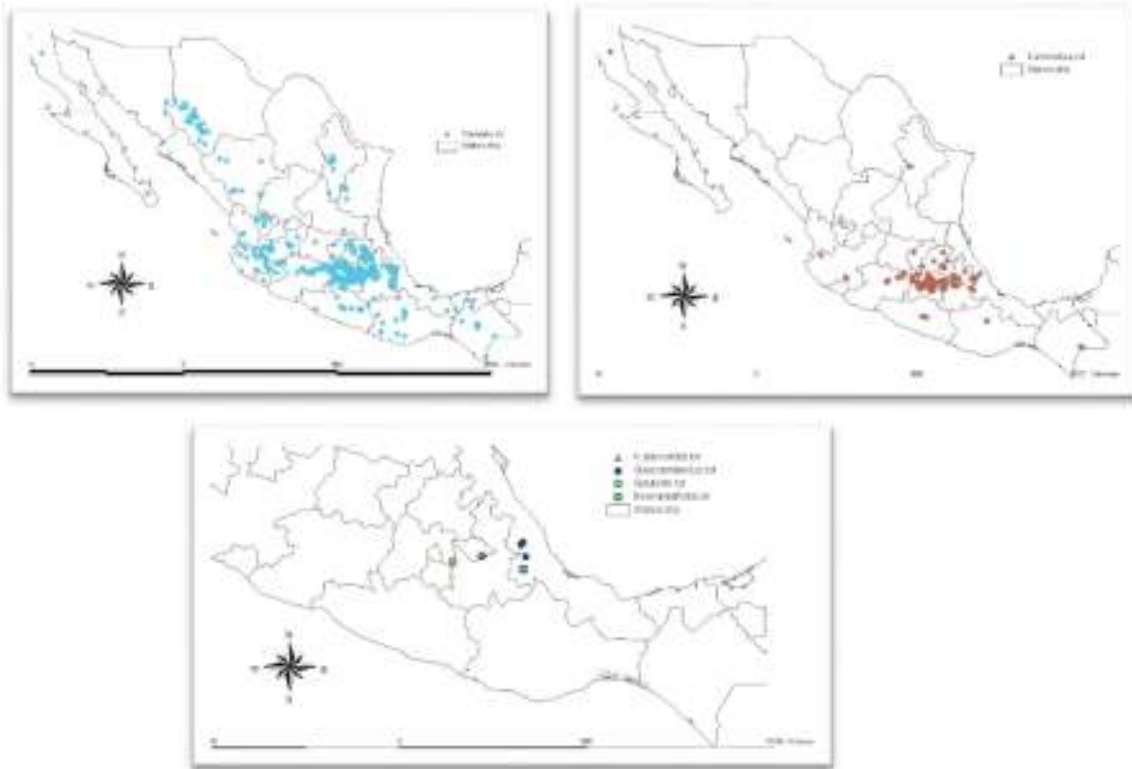


Figure 2. Records of the species belonging to the order Gomphales in Mexico.

The country was initially divided into a $1^\circ \times 1^\circ$ grid containing 240 grid-cells, of which only 79 registered at least one record of the order Gomphales; the grid-cells were labeled with letters (Figure 3). We chose squares of one geographical degree per side, partially to facilitate the data manipulation and to reduce the effect of sampling artifact, such as mapping errors and unsampled grids in sparsely inhabited areas (Crisp *et al.* 2001). Additionally, an analysis of the number of species and genera present was done at biogeographic provinces and Mexican state levels. We included a state level in the analysis because in Mexico, as well as in other countries, conservation decisions are generally undertaken considering political boundaries, rather than natural criteria (Dávila-Aranda *et al.* 2004), and

because in megadiverse countries distributional data tend to be organized on the basis of geopolitical units (Gaston and Williams 1996).

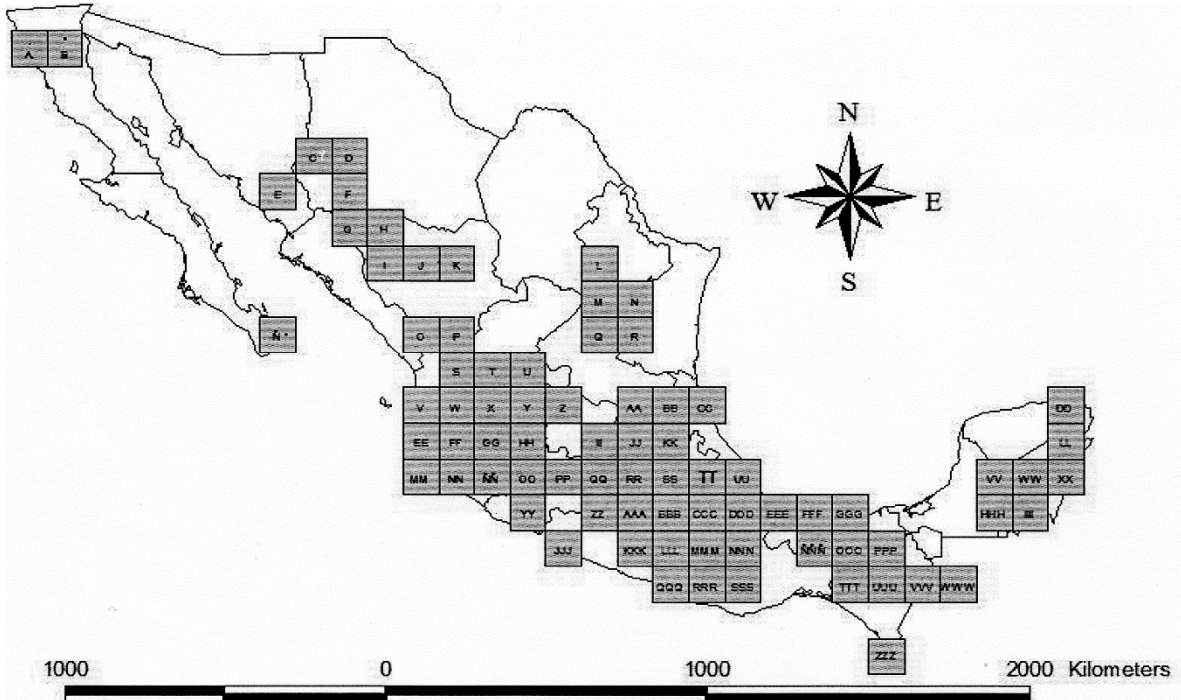


Figure 3. Grid-cells in which at least one taxon of Gomphales was recorded in Mexico.

Analysis at the generic level

The grid-cell containing the highest number of order Gomphales genera is TT, which registered seven genera (*Clavariadelphus*, *Gautieria*, *Gomphus*, *Kavinia*, *Phaeoclavulina*, *Ramaria* and *Turbinellus*) and includes portions of the states of Veracruz, Tlaxcala and Puebla (Figure 4). This grid-cell is part of the Protected Natural Area named Parque Nacional Cofre de Perote (Table 1). The next largest grid-cell in terms of order Gomphales genera is UU, which registered six genera (*Gomphus*, *Gloeocantharellus*, *Lentaria*, *Phaeoclavulina*, *Ramaria* and *Turbinellus*)

and is located in the central part of Veracruz, where there are no protected natural areas. Grid-cells KK (Hidalgo), QQ (México and Michoacán), RR (Distrito Federal, México and Hidalgo), SS (Distrito Federal, México, Hidalgo and Tlaxcala), AAA (Guerrero, Morelos and México) and VVV (Chiapas), each registering five genera; most of them are located in the center of the country, except for grid-cell VVV. These grid-cells are spread over part of the Protected Natural Areas listed in Table 1.

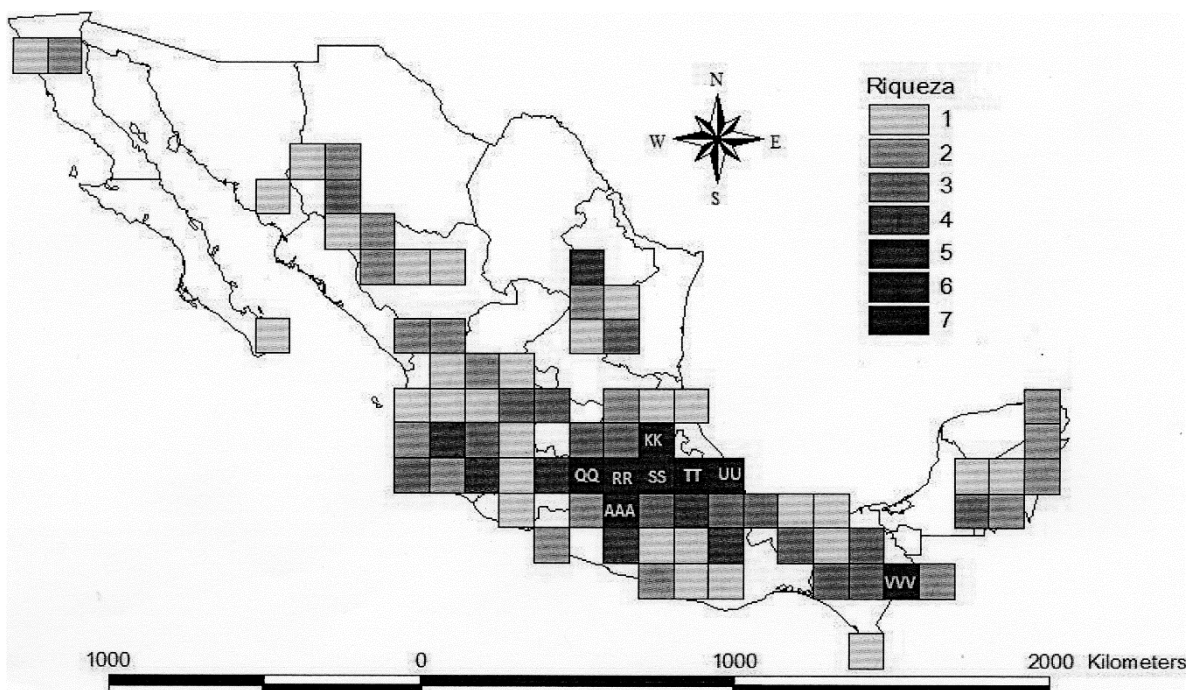


Figure 4. Order Gomphales diversity values in Mexico.

In the case of biogeographic provinces, the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Sierra Madre Oriental mountain chains register most of the genera found in the country with seven (*Gautieria*, *Kavinia*, *Clavariadelphus*, *Ramaria*, *Gomphus*, *Phaeoclavulina* and *Turbinellus*), while the Gulf of Mexico province has six (*Clavariadelphus*, *Gomphus*, *Lentaria*, *Phaeoclavulina*, *Ramaria* and *Turbinellus*)

(Table 2). Five of the provinces considered to be arid (Altiplano Norte, California, Del Cabo, Tamaulipeca and Yucatán) are poor in order Gomphales genera with one in each province. The biogeographic provinces that do not have any are Baja California, Sonorensense and Soconusco.

Table 2. Number of genera and species of Gomphales in the Mexican biogeographic provinces

Biogeographic province	Number of genera	Number of species
Altiplano Norte	1	1
Altiplano Sur	5	17
Baja California	0	0
California	2	3
Costa del Pacífico	5	9
Del Cabo	1	1
Depresión del Balsas	4	9
Eje Volcánico	7	27
Golfo de México	6	14
Los Altos de Chiapas	5	7
Oaxaca	5	7
Petén	4	15
Sierra Madre Occidental	3	8
Sierra Madre Oriental	7	21
Sierra Madre del Sur	5	9
Soconusco	0	0
Sonorensense	0	0
Tamaulipeco	1	1
Yucatán	1	1

As far as the states are concerned, eight genera are found in Veracruz (*Benakia*, *Clavariadelphus*, *Gloeocantharellus*, *Gomphus*, *Lentaria*, *Turbinellus*, *Ramaria* and *Phaeoclavulina*), followed by Tlaxcala with seven (*Clavariadelphus*, *Gautieria*, *Gomphus*, *Kavinia*, *Turbinellus*, *Phaeoclavulina* and *Ramaria*), and then Chiapas and state of México with six genera (*Clavariadelphus*, *Gomphus*, *Lentaria*,

Turbinellus, *Phaeoclavulina* and *Ramaria* in Chiapas and *Clavariadelphus*, *Gautieria*, *Gomphus*, *Ramaria*, *Turbinellus* and *Phaeoclavulina* in the state of México) (Table 3). The Mexican states with fewest genera are Baja California Sur, Colima, Nayarit, Sonora and Yucatán with a single genus each. The three states with a total absence of Gomphales are Sinaloa, San Luis Potosí and Aguascalientes, which is surprising because the first two have mountainous areas with suitable environments for the development of these fungi.

Table 3. Number of species of Gomphales in the different Mexican states

STATE	GENUS	SPECIES
Baja California Norte	2	3
Baja California Sur	1	1
Campeche	3	8
Coahuila	4	5
Colima	1	1
Chiapas	6	15
Chihuahua	3	5
Distrito Federal	4	11
Durango	3	7
Estado de México	6	19
Guanajuato	3	5
Guerrero	4	9
Hidalgo	5	17
Jalisco	5	17
Michoacán	5	15
Morelos	5	5
Nayarit	1	2
Nuevo León	2	4
Oaxaca	4	6
Puebla	5	9
Querétaro	5	7
Quintana Roo	4	10
Sonora	1	1
Tabasco	3	4
Tamaulipas	4	6
Tlaxcala	7	21
Veracruz	8	20

Yucatán	1	1
Zacatecas	2	3

Species level analysis

At state level, Tlaxcala, one of the smallest in Mexico in terms of surface area, is observed to have the largest number of species (21), followed by Veracruz with 20 species and state of México with 19, while Hidalgo and Jalisco have 17 species and Chiapas and Michoacán have 15. The states where one single species is found are Baja California Sur, Colima, Sonora and Yucatán (Table 3).

In relation to biogeographic provinces, the Trans-Mexican Volcanic Belt registers the highest number of species (27), followed by the Sierra Madre Oriental (21), Altiplano Sur (17) and Petén (15). No species are found in the provinces of Baja California, Soconusco and Sonorense, while the provinces of Altiplano Norte, Del Cabo, Tamaulipeca and Yucatán only register one species (Table 2).

The grid-cell containing the highest number of order Gomphales species is SS (21), which is located in the central region of the country comprising the states of México, Tlaxcala, Puebla and Hidalgo. The second most diverse grid-cell is KK which contains 19 species of Gomphales. This grid-cell is located in the state of Hidalgo, Veracruz and part of Puebla. The grid-cells in third place in terms of richness are grid-cell QQ (México and Michoacán) and RR (Distrito Federal, México and Hidalgo) with 15 species each. These grid-cells coincide with the PNAs shown in Table 1.

Table 1. Presence of species of Gomphales in the Mexican Protected Natural Areas (PNAs).

Grid-cell	Protected Natural Area	Category	Number genera /species
UU	---	---	6/ 11
TT	Cofre de Perote National Park	National Park	7 /11
SS	Iztaccíhuatl-Popocatepetl and La Malinche	National Park	5 /21
RR	Flora and fauna Protection Area of the Nevado de Toluca, Desierto de los Leones National Park, el Tepozteco and Lagunas de Zempoala National Parks	Flora and Fauna Protection area National Park	5 /15
QQ	Mariposa Monarca Biosphere Reserve	Biosphere reserve	5 /15
KK	El Chico National Park Barranca de Metztitlán Biosphere Reserve	National Park Biosphere Reserve	5 /19
DDD	---	---	3 /3
AAA	Chichinautzin	Biological corridor	5 /9
VVV	Lagunas de Montebello	National Park	3 /9

The grid-cells showing the highest weighted endemism values at a species level are SS (5.604), followed by grid-cells KK (4.757) and UU (3.551). As far as corrected weighted endemism is concerned, the grid-cells showing the highest values are YY (1.0) located in the south of Michoacán, preceded by grid-cells III (0.55), located in south Quintana Roo and DDD (0.5), which is spread across parts of Veracruz, Oaxaca and Puebla (Table 4).

Tabla 4. Richness, weighted endemism and corrected weighted endemism values of grid-cells based in the distribution of Gomphales

Grid-Cells	Richness	Weighted endemism	Corrected weighted endemism
A	1	0.02	0.020
B	2	0.07	0.035
C	2	0.038	0.019
D	3	0.106	0.035
E	1	0.018	0.018
F	5	0.268	0.054
G	2	0.038	0.019
H	1	0.018	0.018
I	1	0.018	0.018
J	1	0.018	0.018
K	1	0.018	0.018
L	5	0.26	0.052
M	2	0.065	0.033
N	3	1.143	0.381
Ñ	1	0.018	0.018
O	3	0.18	0.060
P	5	0.216	0.043
Q	1	0.018	0.018
R	4	0.388	0.097
S	1	0.018	0.018
T	3	0.083	0.028
U	1	0.018	0.018
V	1	0.02	0.020
W	2	0.038	0.019
X	2	0.061	0.031
Y	5	2.108	0.422
Z	4	0.56	0.140
AA	2	0.063	0.032
BB	1	0.142	0.142
CC	1	0.02	0.020
DD	3	0.7	0.233
EE	1	0.018	0.018
FF	7	0.565	0.081
GG	6	1.251	0.209
HH	2	0.061	0.031
II	4	0.135	0.034
JJ	10	0.86	0.086
KK	19	4.757	0.250
LL	4	0.794	0.199
MM	4	0.481	0.120
NN	4	0.649	0.162
ÑÑ	8	0.521	0.065
OO	2	0.038	0.019
PP	7	0.431	0.062
QQ	15	2.98	0.199
RR	15	2.16	0.144
SS	21	5.604	0.267
TT	11	2.785	0.253
UU	11	3.551	0.323
VV	1	0.1	0.100
WW	1	0.1	0.100
XX	4	1.211	0.303
YY	1	1	1.000
ZZ	6	0.479	0.080
AAA	9	0.632	0.070
BBB	5	0.244	0.049
CCC	4	0.423	0.106
DDD	3	1.52	0.507
EEE	3	0.231	0.077
FFF	1	0.02	0.020

GGG	1	0.02	0.020
HHH	8	3.533	0.442
III	2	1.1	0.550
JJJ	3	0.161	0.054
KKK	6	1.468	0.245
LLL	3	0.081	0.027
MMM	1	0.018	0.018
NNN	6	1.244	0.207
NNN	1	0.02	0.020
OOO	2	0.038	0.019
PPP	3	1.12	0.373
QQQ	2	0.156	0.078
RRR	1	0.02	0.020
SSS	2	0.038	0.019
TTT	4	0.329	0.082
UUU	4	0.583	0.146
VVV	9	2.456	0.273
WWW	1	0.1	0.100
XXX	1	0.02	0.020

Analysis of the species of genus *Ramaria*

The genus *Ramaria* is the most numerous in species of Gomphales in the country (59 species, see Table 8) and in the world. About 500 species are known. The wet, temperate rain forest of western North America is considered the main center of fungi species diversity sensu Exeter *et al.* (2006). Most species are associated with conifer forests and few with hardwood and tropical forest. In Mexico, few taxonomic and ecological studies have been undertaken (Cazares *et al.* 2011). We gathered for Mexico a database comprising 2,775 records, many of which have not been possible to identify at species level due to a lack of structures and defects in the collection process. The most diverse zones in species and/or subspecies of this genus are grid-cells RR (Table 5), located in parts of the states of México, Tlaxcala, Distrito Federal and Morelos. The *Ramaria* species/subspecies found in the PNAs are shown in Table 1.

Table 8 Distribution Gomphales

SPECIES IN MEXICO	
<i>C. fasciculatus</i> Methven & Guzmán (1989)	Endemicas
<i>Gomphus albidocarneus</i> M. Villegas (2010)	Endemicas
<i>G. calakmulensis</i> M. Villegas y J. Cifuentes (2010)	Endemicas
<i>G. pleurobrunnescens</i> M. Villegas y A. Kong (2010)	Endemicas
<i>R. bonni</i> Estrada (1995)	Endemicas
<i>R. persicina</i> Cázares 2010	Endemicas
<i>R. radicans</i> Cázares (2010)	Endemicas
<i>R. suaveolens</i> Cázares (2010)	Endemicas

Nearctic distribution

SPECIES IN MEXICO	OTHER DISTRIBUTIONS
<i>Clavariadelphus americanus</i> (Corner) Methven (1989)	Canadá, Este de Norte América.
<i>C. caespitosus</i> Methven (1989)	Oeste de Estados Unidos,
<i>C. cokeri</i> V.L. Wells & Kempton (1968)	Canadá, Estados Unidos
<i>C. occidentalis</i> Methven (1989)	Canadá, Estados Unidos
<i>C. subfastigiatus</i> V.L. Wells & Kempton 1968	Estados Unidos,
<i>C. unicolor</i> (Berk. & Ravenel) Corner (1950)	Estados Unidos
<i>Gloeocantharellus purpurascens</i> (Hesler) Singer (1945)	Costa este de Estados Unidos
<i>Phaeoclavulina longicaulis</i> (Peck) Giachini (2011)	Estados Unidos
<i>Turbinellus kauffmanii</i> (A.H. Sm.) Giachini (2011)	Norteamérica en el este y oeste de Estados Unidos
<i>Ramaria acris</i> (Peck) Corner (1961)	Estados Unidos
<i>R. araiospora</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos
<i>R. armeniaca</i> R. H.Petersen & Sacates (1988)	Estados Unidos
<i>R. cacao</i> (Coker) Corner (1950)	Estados Unidos Canadá
<i>Ramaria caulifloriformis</i> (Leathers) Corner (1970)	Estados Unidos
<i>R. coralcolor</i> (Coker) R.H. Petersen (1982)	Canadá
<i>R. crassipes</i> (Peck) R.H. Petersen (1967)	Estados Unidos
<i>R. flavigelatinosa</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos
<i>R. flavula</i> (G.F. Atk.) R.H. Petersen (1975)	Estados Unidos
<i>R. maculoapora</i> R.H. Petersen 1986	Estados Unidos
<i>R. purpurissima</i> R.H. Petersen & Scates (1988)	Estados Unidos
<i>R. rainierensis</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos
<i>R. rasilispora</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos
<i>R. rosella</i> R.H. Petersen (1986)	Estados Unidos
<i>R. rubiginosa</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos
<i>R. rubicarnata</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos-
<i>R. rubrievanescens</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos
<i>R. secunda</i> (Berk.) Corner (1950)	Estados Unidos

<i>R. subbotrytis</i> var. <i>intermedia</i> Corner (1950)	Estados Unidos
<i>R. tsugina</i> (Peck) Marr Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos
<i>R. vinosimaculans</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos
<i>R. xanthosperma</i> (Peck) Corner (1950)	Estados Unidos

Neotropical distribution

SPECIES IN MEXICO	OTHER DISTRIBUTIONS
<i>Gautieria chilensis</i> Zeller & C.W. Dodge (1934)	Chile
<i>Phaeoclavulina articulotela</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011)	Bolivia y Brasil
<i>P. campoi</i> (Speg.) Giachini (2011)	Sur de Sudamérica (Argentina y Brasil)
<i>P. insignis</i> (Pat.) Giachini (2011)	Caribe, Centro y Sudamérica.
<i>R. moelleriana</i> (Bres. & Roum.) Corner (1950)	Chile

Holarctic distribution

SPECIES IN MEXICO	OTHER DISTRIBUTIONS
<i>Gautieria mexicana</i> (E. Fisch.) Zeller & C.W. Dodge (1934)	España,
<i>Clavariadelphus truncatus</i> (Quél.) Donk (1933)	Alemania, Austria, Canadá, Checoslovaquia, China, España, Estados Unidos, Estonia, Finlandia, Francia, India, Italia, Japón, Montenegro, Norte de África, Noruega, Suecia, Suiza, Turquía.
<i>Gloeocantharellus pallidus</i> (Yasuda) Giachini (2011)	Guam, Hawaii, Japón, Rusia.
<i>Ghomphus clavatus</i> (Pers.) Gray (1821)	Austria, Canadá, China, España, Estados Unidos, Francia, Grecia, Italia, Japón, Lituania, Montenegro, Pakistán, Polonia, República Checa, Rusia, Suecia, Suiza, Turquía.
<i>Lentaria afflata</i> (Lagger) Corner (1950)	Dinamarca, Estonia Finlandia, Israel, Turquía.
<i>Phaeoclavulina abietina</i> (Pers.) Giachini (2011)	Zonas templadas del Norte (Estados Unidos, Estonia, España, Turquía, Pakistán)
<i>P. argentea</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011)	Canadá, Este de Estados Unidos y Suecia
<i>P. curta</i> R.H. Petersen & M. Zang (1986)	Canadá, China, Estados Unidos, Estonia, Europa, Israel, Rusia.
<i>P. eumorpha</i> (P. Karst.) Giachini (2011)	Escandinava, Estonia, noreste de América, norte de Europa, Israel.
<i>P. roellini</i> (Schild) Giachini (2011)	Alemania, Italia, noreste de Estados Unidos Suiza.
<i>Turbinellus floccosus</i> (Schwein.) Earle, Bull. N.Y. (1909)	Canadá, China, Corea, Estados Unidos, India, Japón, Nepal, Pakistán.
<i>Ramaria apiculata</i> (Fr.) Donk (1933)	España, Estados Unidos, Estonia, Pakistán.
<i>R. aurea</i> (Schaeff.) Quél. (1888)	España, Estados Unidos, Turquía.
<i>R. botrytis</i> (Pers.) Ricken (1918)	España, Estados Unidos, Estonia, Israel, Montenegro.
<i>R. candida</i> Corner (1970)	Japón.
<i>R. celerivirescens</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos, Israel.
<i>R. concolor</i> (Corner) R.H. Petersen (1975)	Canadá, Estados Unidos, Tailandia.
<i>R. cystidiospora</i> (Kauffman) Corner (1950)	Estados Unidos, Tailandia
<i>R. eryuanensis</i> R.H. Petersen & M. Zang (1989)	China

<i>R. fennica</i> (P. Karst.) Ricken (1920)	Estonia
<i>R. flava</i> (Schaeff.) Quél. (1888)	España, Estados Unidos, Estonia, Pakistán, Tailandia, Turquía.
<i>R. flavobrunnescens</i> (G.F. Atk.) Corner (1950)	Estados Unidos, Estonia
<i>R. flavescens</i>	Pakistán, Italia, Turkia, estonia
<i>R. formosa</i> (Pers.) Quél. (1888)	China, España, Estados Unidos, Estonia, Montenegro, Pakistán.
<i>R. hemirubella</i> R.H. Petersen & M. Zang (1986)	China
<i>R. lutea</i> (Vent.) Schild (1977)	Italia
<i>R. pallida</i> (Schaeff.) Ricken (1920)	Alemania, Italia, Pakistan, Suecia, Suiza
<i>R. pseudogracilis</i> R.H. Petersen (1975)	España, Holanda
<i>R. rubripermanens</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos, Tailandia
<i>R. rufescens</i> (Schaeff.) Corner (1950)	China
<i>R. sanguinea</i> (Coker) Corner, (1950)	España, Estonia, Tailandia
<i>R. strasseri</i> (Bres.) Corner (1950)	China
<i>R. stricta</i> (Pers.) Quél. (1888)	España (Gava, Galicia, Islas Canarias), Estados Unidos, Estonia, Pakistán, Turquía
<i>R. subbotrytis</i> (Coker) Corner (1950)	España
<i>R. suecica</i> (Fr.) Donk (1933)	España, Estados Unidos, Estonia,
<i>R. testaceoflava</i> (Bres.) Corner (1950)	España, Estados Unidos, Estonia, Italia
<i>R. velocimutans</i> Marr & D.E. Stuntz (1974)	Estados Unidos, Tailandia
<i>R. violaceibrunnea</i> (Marr & D.E. Stuntz) R.H. Petersen, in Petersen & Zang (1986)	China, Estados Unidos-

Pantropical distribution

SPECIES IN MEXICO	OTHER DISTRIBUTIONS
<i>Beenakia fricta</i> Maas Geest., (1967)	África (Zaire, Zambia)
<i>Gomphus brunneus</i> (Heinem.) Corner (1966)	Camerún, Uganda, Zaire.
<i>Phaeoclavulina cokeri</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011)	Canarias, Ceilán, Colombia, Estados Unidos, Indonesia, Isla Salomón, Japón, Java, Nueva Zelanda, Malasia, Pakistán, Papua Nueva Guinea, Sri Lanka, Sudamérica, Tailandia.
<i>P. grandis</i> (Corner) Giachini (2011)	Borneo del norte, Kinabalu.
<i>P. subclaviformis</i> (Berk.) Giachini (2011)	En el Amazonas (Panuré), Brasil, Trinidad y Tobago
<i>R. holorubella</i> (G.F. Atk.) Corner (1950)	India

Cosmopolita distribución

SPECIES IN MEXICO	OTHER DISTRIBUTIONS
<i>Kavinia alboviridis</i> (Morgan) Gilb. & Budington (1970)	Argentina, Brasil, China, Estados Unidos, Europa, Nueva Zelanda, Turquía.
<i>Lentaria surculus</i> (Berk.) Corner (1950)	Argentina, Bolivia, China, Cuba, Este de Brasil, Filipinas, Jamaica, Malasia, Norteamérica, Uganda.
<i>Phaeoclavulina cyanocephala</i> (Berk. & M.A. Curtis) Giachini (2011)	África, América y Asia (Tailandia)
<i>P. flaccida</i> (Fr.) Giachini (2011)	Alemania, Argentina, Australia, Austria, Canadá, Congo, Dinamarca, Este de África, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Gran Bretaña, Italia Java, Noruega, Nueva Zelanda.
<i>P. gigantea</i> (Pat.) Giachini (2011)	Borneo, Brasil, Estados Unidos, Guayana Francesa, Gabón, Malasia, Martinica, Nueva Zelanda, Puerto Rico.

<i>P. zippelii</i> (Lév.) Giachini (2011)	Australia, Borneo, Brasil, Colombia, Cuba, Estados Unidos, Filipinas, Francesa, Guayana, Hawái, India, Japón, Java, Malasia, Nueva Celedonio, Papua Nueva Guinea, Perú, Rusia, Sri Lanka,
<i>Ramaria botrytoides</i> (Peck) Corner, (1950)	Australia, Estados Unidos, Estonia, Tailandia-
<i>R. fumigata</i> (Peck) Corner (1950)	Turquía, Estonia, China, Australia
<i>R. gracilis</i> (Pers.) Quél.(1888)	Australia, China, España, Estados Unidos, Estonia.

Table 5. Richness, weighted endemism and corrected weighted endemism values of Mexican grid-cells based in the distribution of the subgenera of *Ramaria*.

Grid-cells	Richness (number of species in each grid-cell)	Weighted endemism values	Corrected weighted endemism values
A	1	0.021	0.021
B	1	0.018	0.018
C	2	0.039	0.0195
D	2	0.061	0.0305
E	1	0.018	0.018
F	3	0.082	0.02733333
G	2	0.039	0.0195
H	1	0.018	0.018
I	1	0.018	0.018
J	1	0.018	0.018
K	1	0.018	0.018
L	2	0.038	0.019
M	1	0.021	0.021
N	1	0.018	0.018
Ð	1	0.018	0.018
O	2	0.039	0.0195
P	3	0.082	0.02733333
Q	1	0.018	0.018
R	2	0.039	0.0195
S	1	0.018	0.018
T	2	0.039	0.0195
U	1	0.018	0.018
V	1	0.021	0.021
W	2	0.039	0.0195
X	2	0.061	0.0305
Y	2	0.064	0.032
Z	2	0.061	0.0305
AA	1	0.018	0.018
BB	0	0	0
CC	1	0.02	0.02
DD	0	0	0
EE	1	0.018	0.018
FF	3	0.082	0.02733333
GG	3	0.082	0.02733333
HH	2	0.061	0.0305
II	2	0.039	0.0195
JJ	3	0.082	0.02733333
KK	3	0.081	0.027
LL	0	0	0
MM	1	0.021	0.021
NN	2	0.039	0.0195
ÐÐ	3	0.082	0.02733333
OO	2	0.039	0.0195
PP	3	0.082	0.02733333
QQ	3	0.082	0.02733333

RR	4	0.415	0.10375
SS	3	0.415	0.10375
TT	3	0.082	0.02733333
UU	2	0.039	0.0195
VV	0	0	0
WW	0	0	0
XX	0	0	0
YY	0	0	0
ZZ	3	0.082	0.02733333
AAA	3	0.082	0.02733333
BBB	3	0.082	0.02733333
CCC	2	0.039	0.0195
DDD	1	0.021	0.021
EEE	1	0.021	0.021
FFF	1	0.021	0.021
GGG	1	0.021	0.021
HHH	0	0	0
III	0	0	0
JJJ	2	0.061	0.0305
KKK	3	0.372	0.124
LLL	3	0.082	0.02733333
MMM	1	0.018	0.018
NNN	3	0.082	0.02733333
ÖÖÖ	1	0.021	0.021
OOO	2	0.039	0.0195
PPP	1	0.021	0.021
QQQ	0	0	0
RRR	1	0.021	0.021
SSS	2	0.039	0.0195
TTT	1	0.018	0.018
UUU	2	0.039	0.0195
VVV	2	0.039	0.0195
WWW	0	0	0
XXX	1	0.021	0.021

Ramaria species may be lignicolous, humicolous or terricolous; certain species are ectomycorrhizal (Agerer 1996 a,b,c,d). In Mexico, species of *Ramaria* are mainly found in the central and mountainous regions of the country, at altitudes from 1,000 to 3,900 m inhabiting in coniferous, oak forests and cloud forests.

The subgenus *Laeticolora* of *Ramaria* is the most common in the country, mainly found in central Mexico and in mountainous zones, at altitudes between 1,000 and 3,900 m, principally in coniferous, oak and cloud forests. Three members of this subgenus are considered as endemic of central Mexico, e.g. *R. bonni* Estrada (1995), *R. persicina* Cázares 2010, *R. suaveolens* Cázares 2010 and *R. radicans* Cázares 2010 (Cázares *et al.* 2011). Next is the subgenus

Lentoramaria, found at altitudes of 1,200 to 3,500 m also found in coniferous, oak and cloud forests. The subgenus *Ramaria* is mainly found in the mountainous regions of central Mexico, at altitudes of 1,500 to 3,200 m in coniferous, oak and cloud forests. Finally, the subgenus *Echinoramaria* is to be found, apparently with one single species in Mexico (*Ramaria suecica* (Fr.) Donk 1933), distributed throughout the states of Tlaxcala and Guerrero in fir, pine, oak and cloud forests, at altitudes of 2200 to 2900 m.

The highest levels of weighted endemism are also to be found in grid-cells RR and SS in central Mexico. The next highest is grid-cell KKK located in part of the state of Guerrero. The grid-cell KKK has the highest corrected weighted endemism values (.0124), followed by grid-cells RR and SS with a value of 0.103 (Table 5).

We detected at least six general patterns of distribution in the species of Gomphales of Mexico. These are: Holarctic (36 species), Nearctic (28 species), Cosmopolitan (9 species), Pantropical (6 species), Neotropical (5 species), and endemic to Mexico (8 species). These general patterns of distribution confirms their association to temperate vegetation, mainly with northern affinities.

DISCUSSION

Phaeoclavulina is the only genus of the order Gomphales that has been the subject of richness and endemism studies in Mexico (González-Ávila *et al.* 2013b).

Species of the genus *Phaeoclavulina* have been reported in temperate, tropical and subtropical zones worldwide. In Mexico, they have been registered from sea level to 3200 m. The areas containing the greatest richness of species are to be

found in the Sierra Madre Oriental and the Trans-Mexican Volcanic Belt biogeographic provinces. The zones with the greatest richness of endemism are found in Jalisco (Costa del Pacífico and Trans-Mexican Volcanic Belt provinces), Guerrero and Oaxaca (Sierra Madre del Sur) and Chiapas (González-Ávila *et al.* 2013c). *Phaeoclavulina abietina* has been reported as an edible species of the state of Mexico locally known as brown little brooms (Burrola-Aguilar *et al.* 2012).

The genus *Ramaria* has the highest number of species and has been the most collected of the order in the world and in Mexico. *Ramaria* species are known as coral fungi due to their colorful and extensively branched basidiocarps (Humpert *et al.* 2001). This genus is not monophyletic (Humpert *et al.* 2001) and is widely distributed, mainly in the Northern Hemisphere (Exeter *et al.* 2006). It has been artificially divided into four subgenera (Marr and Stunz 1973), all of which are found in the country. In many cases, the members of this genus could not be identified at the species level due to a lack of macro and microscopic data, which meant that many taxa were only classified at the subgenus level. Species of this genus are commonly known as root brushes, birds' feet, feet, breasts and brooms. Some of the edible and ectomycorrhizae species in Mexico are shown in Table 6-7.

Ramaria aurea has been reported as anti-inflammatory, in treating liver disease and with anti-tumor properties (Yu-Cheng *et al.* 2009; Defate *et al.* 1988).

Table 6. Edible species of *Ramaria* in Mexico

Species	Reference
<i>Ramaria</i> aff. <i>apiculata</i>	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. cf. araiospora</i>	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013

<i>R. araiospora</i> var. <i>araiospora</i>	Aguilar y Villegas, 2010
<i>R. cf. aurea</i>	Jiménez-Ruiz M. <i>et al.</i> 2013
<i>R. aurea</i>	Herrera y Guzmán, 1961; Boa, 2005; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008
<i>R. bonii</i>	Montoya <i>et al.</i> 2004; Boa, 2005
<i>R. botrytis</i>	Herrera y Guzmán, 1961; Manzi, 1976; Guzmán, 1977; Aguilar-Pascual, 1988; Díaz-Barriga, 1992; Guzmán, 1997; Pellicer-González <i>et al.</i> 2002; Jarvis <i>et al.</i> 2004; Boa, 2005; Arteaga-Martínez y Moreno-Zarate, 2006; Garibay-Orijel, 2009; Portugal <i>et al.</i> 2010; Burrola-Aguilar <i>et al.</i> 2012
<i>R. botrytis</i> var. <i>purpurisima</i>	Hidalgo-Medina, 2010
<i>R. botrytoides</i>	Montoya 1997; Boa, 2005; Alonso-Aguilar <i>et al.</i> 2014
<i>R. aff. cacao</i>	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. celerivirescens</i>	Aguilar y Villegas, 2010
<i>R. concolor</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009; Aguilar y Villegas, 2010
<i>R. cyaneigranosa</i>	Burrola-Aguilar <i>et al.</i> 2013
<i>R. aff. cystidiophora</i>	Alonso-Aguilar <i>et al.</i> 2014
<i>R. cystidiophora</i>	Boa, 2005; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. cystidiophora</i> var. <i>fabiolens</i>	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. fennica</i>	Aguilar y Villegas, 2010; Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>R. fennica</i> var. <i>fennica</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. flava</i>	Manzi, 1976; Guzmán, 1977; Aguilar-Pascual, 1988; Díaz-Barriga, 1992; Guzmán, 1997; Pellicer-González <i>et al.</i> 2002; Quiñónez-Martínez y Garza-Ocañas, 2003; Boa, 2005; Martínez-Carrera <i>et al.</i> 2005; Arteaga-Martínez y Moreno-Zarate, 2006; Garibay-Orijel, 2009; López-Eustaquio <i>et al.</i> 2010; Portugal <i>et al.</i> 2010; Burrola-Aguilar <i>et al.</i> 2012
<i>R. flava</i> var. <i>aurea</i>	Garibay-Orijel, 2006, 2009; Garibay-Orijel <i>et al.</i> 2006, 2009
<i>R. flavobrunnescens</i>	Herrera y Guzmán, 1961; Montoya <i>et al.</i> 2001, 2004; Boa, 2005, Montoya <i>et al.</i> 2008
<i>R. flavigelatinosa</i>	Burrola-Aguilar <i>et al.</i> 2013
<i>R. formosa</i>	Aguilar-Pascual, 1988; Montoya <i>et al.</i> 2004; Garibay-Orijel, 2009
<i>R. aff. gelatinosa</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. gracilis</i>	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. hollurubella</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. kunzei</i>	Burrola-Aguilar <i>et al.</i> 2013

<i>R. maculospora</i>	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. pallida</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009; Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>R. persicina</i>	Alonso-Aguilar <i>et al.</i> 2014
<i>R.purpurissima</i> var. <i>purpurissima</i>	Garibay-Orijel, 2006, 2009; Garibay-Orijel <i>et al.</i> 2006, 2009; Hidalgo-Medina 2010
<i>R. rasilispora</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. rasilispora</i> var. <i>rasilispora</i>	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. rasilispora</i> var. <i>scatesiana</i>	Estrada-Torres, 2004; Montoya <i>et al.</i> 2004; Hidalgo-Medina, 2010
<i>R. rosella</i>	Montoya 1997; Estrada-Torres 2004; Boa, 2005
<i>R. rubiginosa</i>	Montoya <i>et al.</i> 2004; Boa, 2005; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. rubricarnata</i>	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. rubricarnata</i> var. <i>verna</i>	Garibay-Orijel, 2006; Garibay-Orijel <i>et al.</i> 2006
<i>R.aff.rubricarnata</i> var. <i>verna</i>	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009; Garibay-Orijel, 2009
<i>R. rubrievanescens</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009; Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>R. rubripermanens</i>	Montoya <i>et al.</i> 2001, 2004; Estrada-Torres, 2004; Boa, 2005, Montoya <i>et al.</i> 2008, Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. rubripermanens</i> var. <i>rubripermanens</i>	Aguilar y Villegas, 2010
<i>R. sanguínea</i>	Estrada-Torres, 2004; Montoya <i>et al.</i> 2004; Boa, 2005; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009 Burrola-Aguilar <i>et al.</i> 2013
<i>R. aff. spiculata</i>	Estrada- Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>Ramaria</i> sp.	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>Ramaria</i> sp. 1	Montoya <i>et al.</i> 2008
<i>Ramaria</i> sp. 2	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>Ramaria</i> sp. 3	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>Ramaria</i> sp. 4	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>Ramaria</i> sp. 5	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>Ramaria</i> sp. 6	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. aff. stricta</i>	Burrola-Aguilar <i>et al.</i> 2012
<i>R. stricta</i>	Herrera y Guzmán, 1961; Aguilar-Pascual, 1988; Boa, 2005; Arteaga-Martínez y Moreno-Zarate, 2006; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008; Garibay-Orijel, 2009; Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2009; Aguilar y Villegas, 2010
<i>R. stricta</i> var. <i>stricta</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008
<i>R. subbotrytis</i>	Pérez-Moreno <i>et al.</i> 2008
<i>R. suecica</i>	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013

<i>R. aff. testaceoflava</i>	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. velocimutans</i>	Hidalgo-Medina, 2010
<i>R. vinosimaculans</i>	Estrada-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. violaceibrunnea</i>	Hidalgo-Medina, 2010

Table 7. Species of *Ramaria* found as ectomycorrhizae in Mexico.

Species	Vegetation type or associated with	Mexican state	Reference
<i>Ramaria araiospora</i> cf.	_____	Several municipalities of Oax.	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>R. araiospora</i> var. <i>rubella</i>	<i>Pinus</i> forest	San Sebastián del oeste, Jal.	Herrera <i>et al.</i> 2002
<i>R. cf aurea</i>	-----	Several municipalities of Oax.	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>R. bonii</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. botrytis</i>	Conifer forest	Urique, Chih.	Quiñónez-Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. aff. botrytis</i>	<i>Quercus obtusata</i> forest	Sierra de Pachuca, Hgo.	Mendoza-Díaz <i>et al.</i> 2006
<i>R. aff. botrytis</i>	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris <i>et al.</i> 2009
<i>R. botrytoides</i>	Conifer forest	Several municipalities of Tlax.	Estrada-Torres, 2004
<i>R. caulifloriformis?</i>	<i>Quercus obtusata</i> forest	Sierra de Pachuca, Hgo.	Mendoza-Díaz <i>et al.</i> 2006
<i>R. cystidiophora?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. cystidiophora</i> var. <i>citronella</i>	<i>Pinus</i> and <i>Abies</i> forest	Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chis.	Estrada-Torres 2007
<i>R. cystidiophora</i> var. <i>fabiolens</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. fennica</i>	-----	Several municipalities of Oax.	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013

<i>R. fennica</i> var. <i>griseoilacina</i>	<i>Pinus</i> and <i>Abies</i> forest	Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chis.	Estrada-Torres 2007
<i>R. fennica</i> var. <i>fennica?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. aff. flava</i>	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris <i>et al.</i> 2009
<i>R. flavobrunnescens</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. formosa</i>	Conifer forest	Urique, Chih.	Quiñónez- Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. gracilis</i>	<i>Pinus-Alnus-Arbutus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. grandis</i> f. <i>cianocephala</i>	<i>Pinus</i> and <i>Abies</i> forest	Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas	Estrada-Torres 2007
<i>R. holorubella?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. aff. lutea</i>	Cloud forest	San Sebastián del Oeste, Jal.	Herrera <i>et al.</i> 2002
<i>R pallida?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. pallida</i>	-----	Several municipalities of Oax.	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>R. purpurisima</i>	Conifer forest	Urique, Chih.	Quiñónez- Martínez <i>et al.</i> 2009
<i>R. rasilispora?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. rasilispora</i> var. <i>scatesiana</i>	Conifer forest	Several municipalities of Tlax.	Estrada-Torres, 2004
<i>R. rasilispora</i> var. <i>scatesiana</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. rosella</i>	Conifer forest	Several municipalities of Tlaxcala	Estrada-Torres, 2004
<i>R. rubiginosa</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004

<i>R. rubiginosa?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. rubricarnata</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. rubrievanescens?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. rubrievanescens</i>	-----	Several municipalities of Oax.	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>R. rubripermanens</i>	<i>Abies</i> and probably <i>Pinus</i>	Several municipalities of Tlaxcala	Estrada-Torres, 2004
<i>R. rubripermanens</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. rubripermanens?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. sanguinea?</i>	Conifer forest	Izta-Popo and Zoquiapan National Parks	Peréz-Moreno <i>et al.</i> 2009
<i>R. sp. 1</i>	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris <i>et al.</i> 2009
<i>R. sp. 2</i> subgen. <i>Laeticolora</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. sp. 3</i>	<i>Quercus lauruna</i>	Taxco, Gro.	Morris <i>et al.</i> 2009
<i>R. sp. 4</i> , subgen. <i>Laeticolora</i>	<i>Abies-Pinus</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004
<i>R. sp. 5</i>	<i>Quercus laurina</i>	Taxco, Gro.	Morris <i>et al.</i> 2009
<i>R. stricta</i>	<i>Pinus-Quercus</i> forest	San Sebastián del Oeste, Jal.	Herrera <i>et al.</i> 2002
<i>R. suecica</i>	-----	Several municipalities of Oax.	Jiménez-Ruiz <i>et al.</i> 2013
<i>R. aff. testaceoflava</i>	<i>Abies</i> forest	La Malinche, Tlax.	Montoya <i>et al.</i> 2004

Based on available information, taxa of the genus *Ramaria* may be considered to mainly inhabit the central and mountainous regions of the country at

altitudes of between 1,000 and 3,500 m in conifer, oak and cloud forests (González-Ávila *et al.* 2013a). The most diverse grid-cells in the *Ramaria* species are RR and SS, both located in central Mexico, particularly in the Trans-Mexican Volcanic Belt biogeographic province.

In the United States of America, renewed attention was brought to *Ramaria* with the implementation of the Northwest Forest Plan, which was established to protect the habitat of the northern spotted owl (USDA *et al.* 1994a,b).

The genus *Clavariadelphus* is widely distributed in temperate zones worldwide, although there are species that inhabit both temperate and subtropical areas such as *C. truncatus* var. *truncatus*, *C. unicolor*, *C. cokeri* and *C. fasciculatus* (Methven 1990). Eleven different species (three of them new and to be described) have been identified in Mexico, while between 18 and 21 are known worldwide. This genus is possibly monophyletic (Hibbett *et al.* 1997, Pine *et al.* 1999, Villegas *et al.* 1999, Kim and Jung 2000, Hibbett and Thorn 2001, Hibbett *et al.* 2007). A large proportion of these species are mycorrhizal although some are saprobes. Despite this, Tedersoo *et al.* (2010) suggested that only the ectomycorrhizal species are monophyletic and that the saprobe ones are closely related with not mycorrhizal species of *Ramaria*. They have mainly been found in the central regions of the country at altitudes of between 1,400 and 3,900 m in oak, coniferous and cloud forests (González-Ávila *et al.* 2013a). The grid-cells with the greatest richness of species are SS and QQ with seven each, both located in central Mexico in the Trans-Mexican Volcanic Belt province. Some of the edible species are *Clavariadelphus cokeri*, *C. truncatus* and *C. unicolor*. Locally, these are called

fingers of the dead, nails, cow's udders or baby's bottles (González-Avila *et al.* 2013a).

The genus *Gomphus* is characterized by having an unipileate or merismatoid basidiomata, a fan- or funnel-shaped crown, brilliantly violet, lavender, brown or light-brown in color, but never the orange-brown or green color characteristic of *Gloeocantharellus*, *Phaeoclavulina* and *Turbinellus*, in addition to verrucose spores and hyphas with fibulas. The combination of its morphological characteristics makes it unique and therefore sets it apart from other genera of Gomphales. There are five species recorded in Mexico: *G. albidocarneus* M. Villegas (2010), *G. brunneus* (Heinem.) Corner (1966), *G. calakmulensis* M. Villegas and J. Cifuentes (2010), *G. clavatus* (Pers.) Gray (1821) and *G. pleurobrunnescens* M. Villegas and A. Kong 2010 (González-Ávila *et al.* 2013a). *G. albidocarneus*, *G. calakmulensis* and *G. pleurobrunnescens* are endemic to Mexico. In Mexican territory species of the genus are to be found in the central and southern regions of the country, at altitudes of between 300 and 3500 m, in oak, coniferous and cloud forests. There are also species associated with tropical vegetation types such as evergreen forests in the southern part of the country (e.g. *G. calakmulensis*, *G. pleurobrunnescens* and *G. albidocarneus* found at elevations between 300 and 1,500 m). Another group of species of *Gomphus* was found in Mexico at elevation of between 1,500 and 3,500 m in oak, coniferous and cloud forests in the mountainous region of central Mexico (González-Ávila *et al.* 2013a). The grid-cell with the largest number of species is VVV located in east Chiapas. *Gomphus clavatus* is widely distributed in temperate zones of the Northern

Hemisphere and is ectomycorrhizal in association with certain coniferous genera such as *Abies* (Pantidou 1980) and *Picea* (Agerer *et al.* 1998).

Gomphus brunneus, *G. clavatus* and *G. crassipes* have been cited mainly in North America and Europe, but are also found in Australia, Africa, and Central and South America, especially in coniferous forests (Giachini 2004; Kirk *et al.* 2008). *Gomphus clavatus* has been classified as endangered by the North-east Forestry Plan (USDA / USDI 1994a, b 2000, 2001) due to its close association with mature forests (Giachini and Castellano 2011), in addition to its being deemed rare in 17 countries in Europe (Dahlberg and Croneborg 2003). Some species of *Gomphus* are edible such as *G. clavatus*.

Turbinellus is one of the most common and widely-distributed genera of the Gomphales in North America and perhaps the world (Smith and Morse 1947; Corner 1950; Petersen 1971). The majority of studies and descriptions have been done on taxa in the west of the United States. Five species worldwide have been described according to an analysis of molecular and morphological data using 24 previously-described species and varieties (Giachini 2004). Certain species appear to be coniferous ectomycorrhizal (Masui 1926; Masui 1927; Khokhryakov 1956; Trappe 1960; Valdés-Ramírez 1972; Bulakh 1978; Kropp and Trappe 1982; Guzmán and Villarreal 1985).

The greatest abundance of *Turbinellus* species is found in North America, more specifically in the Pacific north-west region of the United States. In Mexico, it is mainly found in the central and southern regions of the country, at an elevation between 300 and 3,900 m, in coniferous, oak and cloud forests, but also in tropical environments such as evergreen and semi-evergreen forests.

Turbinellus floccosus and *T. kauffmanii* are classified as endangered by the 1994 North-east Forest Plan (USDA / USDI 1994) due to their close association with mature forests (Giachini and Castellano 2011). They are commonly known as horns or trumpets. The edible species reported are *Turbinellus floccosus* and *T. kauffmanii* (González-Ávila *et al.* 2013a).

Turbinellus floccosus is the most widely-distributed species and is found mainly in western North America where it is associated with several coniferous species. It has also been found in China, India, Korea, Pakistan and Tibet. In Mexico, it is found in the central region of the country in coniferous and deciduous forests. *Turbinellus kauffmanii* inhabits countries rich in conifers, mainly in the east and west of the United States. In Mexico, it has been found in coniferous forests principally in the central region.

The genus *Lentaria* is widely distributed in the world (Kirk *et al.* 2008). Only one species has been found in Mexico, located in the southern region of the country in the states of Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz and Yucatán, at elevation of between 10 and 1,860 m, in tropical, subtropical and temperate zones, in pine-oak forests, cloud forests and lowland forests.

Of the genus *Beenakia*, only *B. fricta* has been found in Mexico, in the central region of the country, at an elevation of 720 m in evergreen forests. This species is widely distributed in the world (Kirk *et al.* 2008).

There is a record of *Gautieria mexicana* and *G. chilensis* in Tlaxcala and the state of México respectively, in *Abies religiosa* and pine-fir forests, at an elevation of between 2,800 and 3,000 m.

The genus *Gloeocantharellus* and two of its species, *G. purpurascens* and *G. pallidus*, has four records in the country. These species are distributed in tropical and subtropical zones in the world (Giachini 2004, Kirk *et al.* 2008), but in Mexico they inhabit one locality in east-central Mexico (Xalapa, Veracruz), at an elevation of 1,488 m in cloud forest.

Kavinia alboviridis has been found in Europe and Mexico (Kirk *et al.* 2008). A total of 10 records were found in the same locality in central Mexico (La Malinche volcano in Tlaxcala) in fir and pine forests, at 3,100 m above sea level.

The zones with the greatest richness of species are found in grid-cells that cover part of the states of México, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo and Jalisco, while the greatest richness of genera is to be found nearby in Veracruz, Tlaxcala, Chiapas and México state. The richest grid-cell SS is located in part of the Tlaxcala state, which diversity condition is related with recollection efforts as discussed before. The second richest grid-cell is KK, which is also an important rich area for others groups of the Mexican biota (Ochoa-Ochoa and Flores-Villela 2006; Contreras-Medina and Luna-Vega 2007). In third place are grid-cells QQ and RR (with 15 species each); these grid-cells are located in the Trans-Mexican Volcanic Belt province and represents contiguous areas where high values of richness and endemism for several groups of the Mexican biota have been reported (Fa and Morales, 1993, Salinas-Moreno *et al.* 2004, Ochoa-Ochoa and Flores-Villela 2006, Contreras-Medina and Luna-Vega 2007).

The state with the largest number of species is Tlaxcala (21); the opposite condition has been observed with certain groups of plants (Luna-Vega *et al.* 2013) and animals (Ochoa-Ochoa and Flores-Villela 2006). This reflects the collection

efforts made in certain states in the specific case of macroscopic fungi, despite the fact that the state of Tlaxcala is one of the smallest in surface area in the country. Furthermore, the state of Tlaxcala has a tradition of consuming edible fungi, which is not so important in other Mexican states (González-Ávila *et al.* 2013a). The results obtained show the highest richness values located in the center of the country; however, it should not be forgotten that this zone boasts the highest number of mycoflora research centers and as a result more sample collection. Therefore, the results obtained may be modified in the future due that in many biological groups of the Mexican biota have proven that the states of Oaxaca, Chiapas and Veracruz have the greatest biodiversity in the country (Mittermeier and Goettsch 1992, Ramamoorthy *et al.* 1993, Flores-Villela and Gerez 1994) and have recently been recognized as megadiverse Mexican states (Luna-Vega *et al.* 2013). Other important state in several groups of Mexican biodiversity is Jalisco (Ochoa-Ochoa and Flores-Villela 2006, Contreras-Medina and Luna-Vega 2007), which occupies the fourth place (along with Hidalgo) in number of Gomphales species. Both states have in general high richness of conifers (Contreras-Medina and Luna-Vega 2007) and wide extensions of pine, oak and coniferous forests (Rzedowski 1978).

The biogeographical provinces showing the greatest diversity of species and genera are the Trans-Mexican Volcanic Belt (Eje Volcánico) and the Sierra Madre Oriental. We noted that of this two provinces, the Trans-Mexican Volcanic Belt is the main important richness province for Gomphales. It should come as no surprise since the Trans-Mexican Volcanic Belt is one of the most collected and biodiversity zones, corroborated with other groups of organisms, as Ternstroemiaceae (Luna-

Vega *et al.* 2004), mammals (Fa and Morales 1993), Boletaceae fungi (García and Garza 2001) and other groups of Mexican plants (Styles 1993, Villaseñor 2004, Luna-Vega *et al.* 2006; Contreras-Medina and Luna-Vega 2007), as well as animals (García and Navarro-Sigüenza 2004, Ochoa-Ochoa and Flores-Villela 2006, Navarro-Sigüenza *et al.* 2007). Those provinces where no records are cited are Baja California, Sonorensis and Soconusco, mainly because there are not research groups and specialists in those areas and scarce interest in the group. The Baja California peninsula deserves a special mention, because in other studies with different biological groups, it resulted as a poor area in richness (e.g. Fa and Morales 1993, Ochoa-Ochoa and Flores-Villela 2006, Contreras-Medina and Luna-Vega 2007) as in the case of Gomphales. A considerable area of this peninsula harbors an arid scrub, apparently not allowing the species of Gomphales to grow. In the distal portions of the Baja California peninsula are present some Gomphales species, where conifers inhabits (Styles 1993) and mycorrhizal associations are possible.

Most of the species (64 species) found of Gomphales in Mexico are concentrated in two patterns of distribution, Holarctic and Nearctic, which represents the 68% (Table 8). These two general patterns of distribution confirm their association to temperate vegetation types such as fir, pine and oak forests. Halffter (1987) noted that the Nearctic and Holarctic patterns in insects are related to mountainous systems of Mexico and northern Central America, which is also observed in species of Gomphales. In the case of the Trans-Mexican Volcanic Belt, this mountain chain has been considered as a diversification center for animals (Halffter, 1987) and plants (Styles 1993); this situation that can also be suggested

for species of Gomphales based in the current available information and our results of richness analysis.

CONCLUSIONS

A great diversity of species of the order Gomphales is found in both temperate and tropical zones; in Mexico, the most studied zones are in the center of the country and typified by temperate montane forests. Furthermore, the largest amount of the species of macroscopic fungi kept in herbaria were collected in these areas, which is evidence that Mexican coniferous forests are the richest in fungi (Guzmán 1977, Guzmán-Dávalos and Guzmán 1979, Frutis and Guzmán 1983). However, it is worth noting that the tropical zones have yet to be properly explored and some authors such as Giachini (2004) suggest that diversity must be greater in these ecosystems.

Collection efforts must be continued, especially in those partially-studied zones; as suggested by Guzmán (1998 a,b) only 3-5% of fungi diversity in Mexico has been catalogued, which underlines the need to undertake intensive scientific research and to take proper care of the samples since this has been a limiting factor in the search for its knowledge. A case in point is the genus *Ramaria*, where the coloring of the different parts of the fresh basidiocarps is essential for identification, and most of the samples lack this datum, making their identification difficult; furthermore, there are many species that have not been clearly defined, which leads to the supposition that are species complexes, for example, *Ramaria botrytis*.

There are very few specialists -not to mention a limited budget- in Mexico to carry out taxonomic fungi studies (Guzmán 1998a,b, Guzmán-Dávalos 1998) and, in consequence, there is a lack of knowledge, in this case, of the Gomphales systematics. If we compare the diversity of this group in other places like the temperate forests of the north-west of the United States, whose fungal diversity leads us to infer that diversity in Mexico has still to be discovered (Exeter *et al.* 2006).

Mexican Gomphales appear in very diverse ecological conditions, where the greatest number of records corresponds to temperate montane vegetation, such as coniferous forests, pine-oak forests, cloud forests and oak forests, while a far lower proportion corresponds to lowland areas such as deciduous and evergreen forests.

In the case of grid-cells, most of the richest in genera and species grid-cells (QQ, RR, SS, TT, UU) are located in the Trans-Mexican Volcanic Belt, which in turn is one of the richest areas in conifer forests in Mexico (Rzedowski 1978). Grid-cell KK (harboring conifer forests) is located in the Sierra Madre Oriental and represents the richest grid-cell in this mountain range.

Our results show that many grid-cells with the greatest richness, and those showing the highest endemism values, contain at least one Protected Natural Area. It is worth noting that, in general, PNAs have a very small surface area and that, in all cases, these areas of conservation were determined for reasons other than fungi, since there are very few studies done in Mexico that mention the mycological diversity they possess.

The zones with the greatest richness of species and genera were located in the center of the country, which reflects the amount of sample collecting that took

place in the state of México and Tlaxcala, two states very close to the Distrito Federal, where the majority of mycoflora research centers are located. For its part, the Distrito Federal is one of the better-sampled areas, in spite of having a smaller surface area than all Mexican states.

In the case of state richness we noted two situations, one related with the sampling effort, which is clearly exemplified with the state of Tlaxcala: the species of this state have been strongly collected by Arturo Estrada Torres (1994), a Mexican state not recognized as a diverse one. A second situation is noted in the case of the states of Veracruz and Jalisco, which have been strongly collected and also they have been considered as two of the richest Mexican states for several groups of plants and animals (Mittermeier and Goettsch 1992, Ochoa-Ochoa and Flores-Villela 2006, Contreras-Medina and Luna-Vega 2007, Luna-Vega *et al.* 2013). There are states in Mexico where records of the order have not been cited - e.g. Aguascalientes, San Luis Potosí and Sinaloa- which is quite remarkable if we consider that these states and their territories include mountainous zones with suitable environments for these fungi to prosper. In this sense, there are no work groups dedicated to the study of fungi in these states. This situation calls out for future studies and specimen field collections in these states.

The results found conducted us to the fundamental question in conservation biology, that is, what do we have to elect for conservation: sites with more species richness or with more concentration of endemic species (Myers *et al.* 2000). We may consider that in some cases many of the important components of biodiversity are not present in areas with species richness, due to the fact that many of them

can be of wide distribution, and with this they show a great adaptability, so they are not immediately endangered (Thirgood and Heath 1994).

The conservation of the members of the order Gomphales is important to maintain the delicate balance of the different ecosystems, since a large number of species comprising the order form mycorrhizal associations mainly with conifers, and foment the development of several species of trees that are important to the forest structure (for example, *Pinus culminicola* Andresen et Beaman, Garza-Ocañas *et al.* 2002) which, in turn, are dominant or co-dominant elements in several vegetation types in Mexico. Also conservation of the members of this order is necessary in temperate montane forests, principally those inhabited by conifers that need association with fungi for their survival. Furthermore, there are species like *Ramaria*, *Phaeoclavulina*, *Lentaria* and *Kavinia*, which are involved in the organic decomposition process (mainly wood), where it is important for the incorporation and nutrients recycling in ecosystems, and others where their fruiting bodies or basidiocarps are consumed by different ethnic groups, such as species of *Ramaria*, *Gomphus*, *Turbinellus* and *Clavariadelphus*. These fungi form part of these groups' diets, especially during the rainy season, which may be picked directly on field or bought in local markets at reasonable prices.

One of the basic problems to be faced in mycogeography is a lack of state or regional inventories since, as opposed to plants and animals, the treatment given to fungi is far from appropriate. It is evident that, without this information, it will be difficult to specify the ecological preferences and the current state of their populations, in addition to the complication of determining the geographic distribution of a great part of the Mexican mycoflora.

None of the species of the Order Gomphales is included in a risk category in the current Mexican Official Norm NOM-059 (SEMARNAT 2010), and it is therefore indispensable to do other kinds of research like demographic studies, of species into this taxon. Gomphales species, like many other species of fungi, plants and animals that inhabiting our country, face the problem of accelerated forest destruction, principally due to the expansion of livestock breeding, farming and urban boundaries which, in addition to global warming and aquifer and soil pollution, pose a serious threat (Sánchez-Cordero *et al.* 2005, Luna-Vega *et al.* 2006, Gómez-Mendoza and Arriaga 2007, Contreras-Medina *et al.* 2010).

Fungi are an important component of terrestrial ecosystems. They comprise a large proportion of species richness and are major contributors to key ecosystem processes. However, in contrast to the animal and plant kingdoms, fungi have been overlooked in nature conservation and are not included in any international biodiversity agreements. The reasons for this are largely historic; fungi have been considered an weird of organisms, poorly understood and difficult to study due to their cryptic nature and frequently sporadic an often short-lived sporocarps (Dahlberg 2010). In this context, Mexico is not the exception and fungi have never been taken into consideration when designating protected natural areas in Mexico.

Fungi generally attract scant attention in biological conservation and among decision-makers. Additionally, mycological knowledge has been limited in the context of conservation due to incomplete data regarding the degree of rarity, state of risk and habitat requirements of most fungi (Molina *et al.* 2011). However, recent gains in our knowledge of taxonomy, biogeography and ecology have led them

being included in European conservation programs (Moore *et al.* 2001; Senn-Irlet *et al.* 2007; Heilmann and Vesterholt 2008).

In the worldwide Red List of threatened species (IUCN, 2014) which comprises almost 45,000 species, only three fungi are listed. Recently, 33 European countries have produced Red List including them and noting that at least 10% of them are threatened, mainly due to changes in land use and the deposition of nitrogen (Dahlberg 2010).

The biodiversity of fungi can be benefitted by programs and actions to promote their conservation. To achieve this, a greater promotion of fungi and their conservation values are needed together with ecosystem services, the creation of a global Red List, and their inclusion in conservation discourse along with animals and plants (Dahlberg *et al.* 2010, Dahlberg and Mueller 2011).

Acknowledgements. Ricardo García-Sandoval made constructive suggestions to the manuscript. To the people in charge of the collections mentioned in the text for their courtesy during the review of their specimens; to the Posgrado en Ciencias Biológicas at the Universidad Nacional Autónoma de México; to the National Science and Technology Council (CONACYT, Spanish acronym: *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*, Mexico) for the grant (number 207211) awarded to the first author. The financial resources for field trips and herbaria visits came from PAPIIT project IN215914.

References

- Agerer, R. 1996a. *Ramaria aurea* (Schaeff.: Fr.) Quel. + *Fagus sylvatica* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 1: 107-112.
- Agerer, R. 1996b. *Ramaria largentii* Marr & D. E. Stuntz + *Picea abies* (L.) Karst. Descriptions of Ectomycorrhizae 1: 113-118.
- Agerer, R. 1996c. *Ramaria spinulosa* (Fr.) Quel. + *Fagus sylvatica* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 1: 119-124.
- Agerer, R. 1996d. *Ramaria subbotrytis* (Coker) Corner + *Quercus robur* L. Descriptions of Ectomycorrhizae 1: 125-130.
- Agerer, R., Beenken, L., and Christian, J. 1998. *Gomphus clavatus* (Pers.: Fr.) S. F. Gray + *Picea abies* (L.) Karst. Descriptions of ectomycorrhizae 3: 25–29.
- Aguilar-Pascual, O. 1988. Análisis sobre la comercialización de los hongos silvestres comestibles en la ciudad de México: correlación entre selectividad y valor nutricional. Bachelor thesis. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City.
- Aguilar, Y. and Villegas, M. 2010. Especies de Gomphales comestibles en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México. Revista Mexicana de Micología 31: 1-8.
- Alonso-Aguilar, L.E., Montoya, A., Kong-Luz, A., Estrada-Torres, A., and Garibay-Orijel, R. 2014. The cultural significance of wild mushrooms in San Mateo Huexoyucan, Tlaxcala, Mexico. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 10(1): 12-27.

- Arriaga, L., Aguilar, C., Espinosa, D. and Jiménez, R. 1997. Regionalización ecológica y biogeográfica de México. Taller de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Mexico City.
- Arteaga-Martínez, B. and Moreno-Zárate, C. 2006. Los hongos comestibles silvestres de Santa Catarina del Monte, estado de México. Revista Chapingo, serie ciencias forestales y del ambiente, Universidad Autónoma de Chapingo 12: 125-131.
- Boa, E. 2005. Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importación para la población. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Rome.
- Baroni, J.T., Lodge, D.J. and Canrell, S.A. 1997. Tropical connections: sister species and species in common between the Caribbean and the Eastern United States. *Mcllvainea* 13: 5-18.
- Bougher, N.L. and Syme, K. 1998. Fungi of Southern Australia. Perth: University of Western Australia Press.
- Bulakh, E.M. 1978. Macromycetes of fir forests. Biocenotic studies at the Berklmeussuriysk Station. The academy of Yuauk of the USSR far-eastern scientific center biological-soil institute. pp. 73-81.
- Burrola-Aguilar, C., Montiel, O., Garibay-Orijel, R., and Zizumbo-Villarreal, L. 2012. Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Amanalco, estado de México. *Revista Mexicana de Micología*: 35: 1-16.
- Burrola-Aguilar, C., Garibay-Orijel, R. and Argüelles-Moyao, A. 2013. *Abies religiosa* forests harbor the highest species density and sporocarp

productivity of wild edible mushrooms among five different vegetation types in a Neotropical temperate forest region. *Agroforestry systems* 87(5): 1101-1115.

Carriconde, F., Gardes, M., Jargeat, P., Heilmann-Clausen, J., Mouhamadou, B. and Gryta, H. 2008. Population evidence of cryptic species and geographical structure in the cosmopolitan ectomycorrhizal fungus, *Tricholoma scalpturatum*. *Microbial Ecology* 56: 513-524.

Cázares, E., Guevara, G., García J., Estrada A. and Trappe, J.M. 2011. Three new *Ramaria* species from central Mexican oak forests. *Revista Mexicana de Micología* 33: 1-4.

Castillo, J., García, J. and San Martín, F. 1979. Algunos datos sobre la distribución ecológica de los hongos principalmente los micorrícicos en el centro del estado de Nuevo León. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 13: 229-237.

Chanona-Gómez, F., Andrade-Gallegos, R. H., Castellanos-Albores, J. and Sánchez, J. E. 2007. Macrofungi from Parque Educativo Laguna Belgica, Municipality of Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(2): 369-381.

Cifuentes, J., Villegas, M., Pérez-Ramírez, L., Bulnes, M., Corona, V., González, M., Jiménez, I., Pompa, A. and Vargas, G. 1990. Observación sobre la distribución, hábitat e importancia de los hongos de Los Azufres, Michoacán. *Revista Mexicana de Micología* 6: 133-149.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2012. *Diario Oficial de la Federación*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

- Contreras-Medina, R. and Luna-Vega, I. 2007. Species richness, endemism and conservation of Mexican gymnosperms. *Biodiversity and Conservation* 16: 1803-1821.
- Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I. and Ríos-Muñoz, C. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83(3): 421-433.
- Corner, E. 1950. A monograph of *Clavaria* and allied genera. Dawsons of Pall Mall, London.
- Crisp, M.D., Laffan, S. Linder, H.P. and Monro, A. 2001. Endemism in the Australian flora. *Journal of Biogeography* 28: 183-198.
- Dahlberg, A. and Croneborg, H. 2003. 33 threatened fungi in Europe. Complementary and revised information on candidates for listing in Appendix I of the Bern Convention. T-PVS document (2001) 34 rev. 2. Council of Europe, Strasbourg.
- Dahlberg, A., Genney, D.R. and Heilmann-Clausen, J. 2010. Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecology* 3(2): 50-64.
- Dahlberg, A. and Mueller, G.M. 2011. Applying IUCN red-listing criteria for assessing and reporting on the conservation status of fungal species. *Fungal Ecology* 4: 147-162.
- Dávila-Aranda, P., Lira-Saade, R. and Valdés-Reyna, J. 2004. Endemic species of grasses in Mexico: a phytogeographic approach. *Biodiversity and Conservation* 13: 1101-1121.

- Defaye, J., Kohlmunzer, S., Sodzawiczny, K, and Wong, E. 1988. Structure of an antitumor, water-soluble D-glucan from the carpophores of *Tylophilus felleus*. Carbohydrate Research 173: 316-323
- Demoulin, V. 1973. Phytogeography of the fungal genus *Lycoperdon* in relation to the opening of the Atlantic. Nature 242: 123-125.
- Díaz-Barriga, H. 1988. Contribución al conocimiento de los Macromicetes del estado de Michoacán. Acta Botanica Mexicana 2: 21-44.
- Díaz-Barriga, H. 1992. Hongos comestibles y venenosos de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (CIDEM). Instituto de Ecología, A.C.
- Eckblad, F.E. 1981. Soppgeografi. Universitetsforlaget, Oslo.
- Estrada-Martínez, E., Guzmán, G. Cibrián, D. and Ortega, R. 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la Sierra Nevada (México). Interciencia 34: 25-33.
- Estrada-Torres, A. 1994. La familia Gomphaceae (Aphyllophorales Fungi) en el estado de Tlaxcala. Tesis de Doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Mexico City.
- Estrada-Torres, A. 2007. Hongos ectomicorrizógenos y myxomycetes del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas. Final report SNIB-CONABIO project BK043. Mexico City.
- ESRI 2000. ArcView Gis ver. 3.3.3 Environmental Systems Research Institute Inc., California.

- Exeter, R.L., Norvell, L. and Cázares, E. 2006. *Ramaria* of the Pacific Northwestern United States. United States Department of Interior, Bureau of Land Management: Salem, OR. 157 p.
- Fa, J.E. and Morales, L.M. 1993. Patterns of mammalian diversity in Mexico. In: Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. and Fa, J. (eds.). Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press. New York. pp. 319-361.
- Flores-Villela, O. and Gerez, P. 1994. Biodiversidad y Conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. CONABIO-Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City.
- Frutis, I. and Guzmán G. 1983. Contribución al conocimiento de los hongos del estado de Hidalgo. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 18: 219–265.
- García, J. and F. Garza. 2001. Conocimiento de los hongos de la familia Boletaceae de México. Ciencia (UANL) 4: 336-343.
- García-Mendoza, A. 1995. Riqueza y endemismos de la familia Agavaceae en México. Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques. In: Linares, E., Dávila, P. Chiang, F. Bye, R. and Elias, T. (eds.). Conservación de plantas en peligro de extinción: diferentes enfoques. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 51-75.
- García-Trejo, E.A. and Navarro, A.G. 2004. Patrones biogeográficos de la riqueza de especies y el endemismo de la avifauna en el oeste de México. Acta Zoológica Mexicana 20(2): 167-185.

- Garibay-Orijel, R. 2006. Análisis de la relación entre la disponibilidad del recurso fúngico y la importancia cultural de los hongos en los bosques de pino-encino de Ixtlán, Oaxaca. Doctoral dissertation. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City.
- Garibay-Orijel, R. 2009. Los nombres zapotecos de los hongos. *Revista Mexicana de Micología* 30: 43-61.
- Garibay-Orijel, R., Cifuentes, J., Estrada-Torres, A. and Caballero, J. 2006. People using macro-fungal diversity in Oaxaca, Mexico. *Fungal Diversity* 21: 41-67.
- Garibay-Orijel, R., Martínez-Ramos, M. and Cifuentes, J. 2009. Disponibilidad de esporomas de hongos comestibles en los bosques de pino-encino de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 521-534.
- Garza-Ocañas, F., García-Jiménez, J., Estrada-Castillón, A.E. and Villalón-Mendoza, H. 2002. Macromicetos, ectomicorrizas y cultivos de *Pinus culminicola* en Nuevo León. *Ciencia UANL* 5(2): 204- 210
- Gaston, K. and Williams, P. 1996. Spatial patterns in taxonomic diversity. In: Gaston K. (ed.). *Biodiversity: a biology of numbers and difference*. Blackwell Science Lid. Cambridge, pp 202-229.
- Geml, J., Tulloss, R.E., Laursen, G.A., Sazanova, N.A. and Taylor, D. L. 2008. Evidence for strong inter-and intracontinental phylogeographic structure in *Amanita muscaria*, a wind-dispersed ectomycorrhizal basidiomycete. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 48(2): 694-701.

- Giachini, A.J. 2004. Systematics of the Gomphales: the genus *Gomphus* Pers. *sensu lato*. Ph. D. Dissertation, Oregon State University, Corvallis, OR, USA. 446 p.
- Giachini, A.J., Hosaka, K., Nouhra, E., Spatafora, J.W. and Trappe J.M. 2010. Phylogenetic relationships of the Gomphales based on Nuc-25S-rDNA, Mit-12S-rDNA, and Mit-atp6-DNA combined sequences. *Fungal Biology* 114: 224-234.
- Giachini, A. and Castellano M. 2011. A new taxonomic classification for species in *Gomphus sensu lato*. *Mycotaxon* 115: 183-201.
- Gómez-Mendoza, L. and Arriaga, L. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology* 21(6): 1545-1555.
- González-Ávila, P.A. 2006. Contribución al conocimiento del género *Ramaria* subgénero *Echinoramaria* y *Ramaria* en México. Bachelor thesis. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City.
- González-Ávila, P.A. 2010. Estudio taxonómico del género *Ramaria* subgénero *Echinoramaria* (Fungi: Basidiomycetes) en México. Master in Sciences Thesis. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City.
- González-Ávila, P.A., Luna-Vega, I., Villegas Ríos, M., Lira Saade, R. and Cifuentes-Blanco, J.: 2013a. Current knowledge and importance of the order Gomphales (Fungi: Basidiomycota) in Mexico. *Nova Hedwigia* 97 (1-2): 55-86.

- González-Ávila, P.A., Torres-Miranda, A., Luna-Vega, I., Villegas-Ríos, M. 2013b. Patterns of diversity and endemism: an example with Mexican species of *Echinoramaria*. North American Fungi 8: 1-32.
- González-Ávila, P.A., Villegas Ríos M. y Estrada Torres A. 2013c. Especies del género *Phaeoclavulina* en México. Revista Mexicana de la Biodiversidad 84: 91-110.
- Grgurinovic, C.A. 1997. Larger fungi of south Australia. The Botanic Gardens of Adelaide and State Herbarium and the Flora and Fauna of South Australia Handbooks Committee. Adelaide.
- Guzmán-Dávalos, L. and Guzmán, G. 1979. Estudio ecológico comparativo entre los hongos (Macromicetos) de los bosques tropicales y los de coníferas del sureste de México. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 13: 89-126.
- Guzmán-Dávalos, L. 1998. Los estudios sobre Agaricales en México. IBUG 6: 279-295.
- Guzmán, G. 1977. Identificación de los hongos comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de la madera. Ed. Limusa. Mexico City. 236 p.
- Guzmán, G. 1983. Los hongos de la Península de Yucatán, II. Nuevas exploraciones y adiciones micológicas. Biótica 8: 71-100.
- Guzmán, G. 1985. Hongos. Ed. Limusa, Mexico City. 75 p.
- Guzmán, G. 1997. Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz. 356 p.
- Guzmán, G. 1998a. Inventoring the fungi of Mexico. Biodiversity and Conservation 7: 369-392.

- Guzmán, G. 1998b. Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (ensayo sobre el inventario fúngico del país). In: Halffter, G. (ed.). La diversidad biológica de Iberoamérica II. Acta Zoológica Mexicana, nueva serie, volumen especial, CYTED e Instituto de Ecología, Xalapa. pp. 111-175.
- Guzmán, G. and Villarreal, L. 1985. Estudios sobre los hongos, líquenes y mixomicetos del Cofre de Perote, Veracruz, I: Introducción a la micoflora de la región. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 19: 107–124.
- Halffter, G. 1987. Biogeography of the montane entomofauna of Mexico and Central America. Annual Review of Entomology 32: 95-114.
- Heilmann-Clausen, J., and Vesterholt, J. 2008. Conservation: selection criteria and approaches. In: Boddy, I., Frankland, J.C and van West, P. (eds.). Ecology of saprotrophic Basidiomycetes. Elsevier Academic Press. Oxford pp. 325-347.
- Herrera, T. and Guzmán, G. 1961. Taxonomía y ecología de los principales hongos comestibles de diversos lugares de México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México 32: 33-135.
- Herrera, M., Guzmán-Dávalos, L. and Rodríguez, O. 2002. Contribución al conocimiento de la micobiota de la región de San Sebastián del oeste, Jalisco, México. Acta Botanica Mexicana 58: 19-50.
- Hibbett, D.S. 2001. Shiitake mushrooms and molecular clocks: historical biogeography of *Lentinula*. Journal of Biogeography 28: 231-241.
- Hibbett, D.S., Pine, E., Langer, E., Langer, G. and Donoghue, M.J. 1997. Evolution of gilled mushrooms and puffballs inferred from ribosomal DNA

sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94: 12002-12006.

Hibbett, D.S. and Thorn, R.G. 2001. Basidiomycota: Homobasidiomycetes. In: McLaughlin, D.J., McLaughlin, E.G. and Lemke, P.A. (eds.). *The Mycota VII, Part B. Systematics and Evolution*, Springer-Verlag, Berlin. pp. 121-168.

Hibbett, D.S., Binder, M., Bischoff, J.F., Blackwell, M., Cannon, P.F., Eriksson, O.E., Huhndorff, S., James, T., Kirk, P., Lücking, R., Lumbsch, H., Lutzonig, F., Matheny, P., McLaughlin, D., Powell, M., Redhead, S., Schoch, C., Spatafora, J., Stalpers, J., Vilgalys, R., Aime, M., Aptroot, A., Bauero, R., Begerow, D., Benny, G., Castlebury, L., Crous, P., Dair, Y., Gams, W. and Geiser, D. 2007. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research* 111: 509-547.

Hidalgo-Medina, V. 2010. Contribución al estudio taxonómico de clavarioides comestibles en México. Bachelor thesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City.

Hosaka, K., Bates, S.T., Beever, R.E., Castellano, M.A., Colgan, W., Domínguez, L., Nouhra, S., Geml, J., Giachini, A., Kenney, S., Simpson, N., Spatafora, J. and Trappe, J.M. 2006. Molecular phylogenetics of the gomphoid-phalloid fungi with an establishment of the new subclass Phallomycetidae and two new orders. *Mycologia* 98: 949-959.

- Hosaka, K., Castellano, M.A., Spatafora, J.W. 2008. Biogeography of Hysterangiales (Phallomycetidae, Basidiomycota). *Mycological Research* 112: 448-462.
- Humpert, A.J., Muench, E.L., Giachini, A.J., Castellano, M.A. and Spatafora, J.W. 2001. Molecular phylogenetics of *Ramaria* and related genera: evidence from a nuclear large subunit and mitochondrial small subunit rDNA sequences. *Mycologia* 93(3): 465-477.
- Jarvis, M., Miller, A., Sheahan, J., Ploetz, K., Ploetz, J., Watson, R., Palma, M., Pascario, C., García, J., López, A. and Orr, B. 2004. Edible wild mushrooms of the Cofre de Perote region, Veracruz, Mexico: an ethnomycological study of common names and uses. *Economic Botany* 58: 111-115.
- Jiménez-Ruiz, M., Pérez-Moreno, J., Almaraz-Suárez, J.J., and Torres-Aquino, M. 2013. Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(2): 199-213.
- Khokhryakov, M.K. 1956. Mycorrhiza. In: Gorlenko, M.V. and Voronkevich, I.V. (eds.). *Fungi-friends and enemies of man*. Gosud. Izdatel. Sovyetskaya Nauka, Moscow. pp. 178-181.
- Kim, S.Y. and Jung, H.S. 2000. Phylogenetic relationships of the Aphylophorales inferred from sequence analysis of nuclear small subunit ribosomal DNA. *Journal of Microbiology* 38(3): 122-131.
- Kirk, P., Cannon, P., Winter, D. and Stalper, J. 2008. *Dictionary of the fungi*. CAB International, Wallingford.

- Kohlmann, B. and Sánchez, S. 1984. Estudio areográfico del género *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) en México: una síntesis de métodos. Métodos cuantitativos en la biogeografía In: Métodos cuantitativos en la biogeografía, Publ. 12. Instituto de Ecología, A. C., Xalapa. pp. 41-120.
- Kropp, B.R. and Trappe, J.M. 1982. Ectomycorrhizal fungi of *Tsuga heterophylla*. *Mycologia* 74: 479-488.
- Landeros, F., Castillo, J., Guzmán, G. and Cifuentes, J. 2006. Los hongos (Macromicetes) conocidos en el Cerro el Zamorano (Querétaro-Guanajuato), México. *Revista Mexicana de Micología* 22: 25-31.
- Lange, L. 1974. The distribution of Macromycetes in Europe. *Dansk Botanisk Arkiv* 30: 7-15.
- León, G. and Guzmán, G. 1980. Las especies de hongos micorrícicos conocidas en la región de Uxpanapa-Coatzacoalcos-LosTuxtlas-Papaloapan-Xalapa. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 14: 27-37.
- Lichtwardt, R. 1995. Biogeography and fungal systematics. *Canadian Journal of Botany* 73 (Suppl. 1): 731-737.
- Linder, H.P. 2001. Plant diversity and endemism in sub-Saharan tropical Africa. *Journal of Biogeography* 28: 169-182.
- López-Eustaquio, L., Portugal, D. Mora, V. and Bautista, N. 2010. Diversidad fúngica. In: Bonilla-Barbosa, J., Mora, V., Luna, J., Colín, H. and Santillán-Alarcón, S. (eds.). Biodiversidad, conservación y manejo en el Corredor Biológico Chichinautzin, condiciones actuales y perspectivas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 315 p.

- Lumbsch, T.H., Buchanan, P.K., May, T.W. and Mueller, G.M. 2008.
Phylogeography and biogeography of fungi. *Mycological Research* 112:
423-424.
- Luna-Vega, I., Alcántara, O. and Contreras-Medina, R. 2004. Patterns of diversity,
endemism and conservation: an example with Mexican of
Ternstroemiaceae Mirb. ex DC. (Tricolpates: Ericales). *Biodiversity and
Conservation* 13: 2723-2739.
- Luna-Vega, I., Alcántara, O., Contreras-Medina, R. and Ponce, A. 2006.
Biogeography, current knowledge and conservation of threatened
vascular plants characteristics of Mexican temperate forest. *Biodiversity
and Conservation* 15: 3773-3799.
- Luna-Vega, I., Espinosa, D., Rivas, G. and Contreras-Medina, R. 2013.
Geographical patterns and determinants of species richness in Mexico
across selected families of vascular plants: implications for conservation.
Systematics and Biodiversity 11: 237-256.
- Manzi, J. 1976. Hongos: contribución al conocimiento de las especies comestibles
y venenosos del área central del estado de Jalisco, México. Ed. Misiones
Culturales de B.C., A.C. México.
- Marr, C. and Stuntz, D.E. 1973. *Ramaria* of western Washington. J. Cramer, Lehre.
- Martínez, A., Pérez-Silva, E. and Aguirre-Acosta, E. 1983. Etnomicología y
exploración micológica en la Sierra Norte de Puebla. *Boletín de la
Sociedad Mexicana de Micología* 18: 51-68.
- Martínez-Carrera, D., Nava, D., Sobal, M., Bonilla, M. and Mayett, Y. 2005.
Marketing channels for wild and cultivated edible mushrooms in

developing countries: the case of Mexico. *Micología Aplicada International* 17: 9-20.

- Masui, K. 1926. A study of the mycorrhiza of *Abies firma* S. et Z., with special reference to its mycorrhizal fungus, *Cantharellus floccosus* Schw. *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University, Series B*, 2: 15-84.
- Masui, K. 1927. A study of the ectotrophic mycorrhizas of woody plants. *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University, Series B*, 3: 149-279.
- Matheny, P.B. and Bougher, N.L. 2006 The new genus *Auritella* from Africa and Australia (Inocybaceae, Agaricales): molecular systematics, taxonomy and historical biogeography. *Mycological Progress* 5: 217.
- Methven, A.S. 1990. Genus *Clavariadelphus* in North America. *J. Cramer*.
- Mendoza-Díaz, M., Zavala, F. and Estrada, M. 2006. Hongos asociados con encinos de la porción noreste de la sierra de Pachuca, Hidalgo. *Revista Chapingo, Serie forestales y del ambiente* 12: 13-18.
- Mittermeier, R.A. and Goettsch de Mittermeier, C. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. In: Sarukhán, J. and Dirzo, R. (eds.). *México ante los retos de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico City. pp. 63-73.*
- Molina, R., Horton, T.R., Trappe, J.M. and Marcot, B.G. 2011. Addressing uncertainty: how to conserve and manage rare or little-known fungi. *Fungal Ecology* 4: 134-146.

- Montoya, A. 1997 Estudio etnomicológico en San Francisco de Temezontla, estado de Tlaxcala. Master in Sciences Thesis. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City.
- Montoya, A., Estrada-Torres, A., Kong-Luz, A. and Juárez, L. 2001. Commercialization of wild mushrooms during market days of Tlaxcala, Mexico. *Micología Aplicada International* 13: 31-40.
- Montoya, A., Hernández-Totomoch, O., Estrada-Torres, A. and Kong-Luz, A. 2003. Traditional knowledge about mushrooms in Nahua community in the state of Tlaxcala, México. *Mycologia* 99: 793–806.
- Montoya, A., Kong-Luz, A., Estrada-Torres, A., Cifuentes, J. and Caballero, J. 2004. Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fungal Diversity* 17: 115-143.
- Montoya, A., Hernández, N., Mapes, C., Kong-Luz, A. and Estrada-Torres, A. 2008. The collection and sale of wild mushrooms in a community of Tlaxcala, Mexico. *Economic Botany* 62: 413-424.
- Moore, D. Nauta, M.M., Evans S. E. and Rotheroe, M. 2001. *Fungal Conservation: issues and solutions*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Morris, M., Pérez-Pérez, M., Smith, M. and Bledsoe, C. 2008. Multiple species of ectomycorrhizal fungi are frequently detected on individual oak root tips in a tropical cloud forest. *Mycorrhiza* 18: 375-383.
- Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., Da Fonseca G.A.B. and Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

- Nava, R. and Valenzuela, R. 1997. Los Macromicetes de la Sierra de Nanchititla, México. *Polibotánica* 5: 21-36.
- Navarro-Sigüenza, A.G., Lira-Noriega, A., Peterson, A.T., Oliveras-Delta, A. and Gordillo-Martínez, A. 2007. Diversidad, endemismo y conservación de las aves. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City. pp. 461-484.
- Ochoa-Ochoa, L. and Flores-Villela, O. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México and Comisión Nacional para el uso y conocimiento de la Biodiversidad. Mexico City. 211 p.
- Pantidou, M.E. 1980. Macrofungi in forests of *Abies cephalonica* in Greece. *Nova Hedwigia* 32: 709-723.
- Pellicer-González, E., Martínez-Carrera, D., Sánchez, M., Aliphat, M. and Estrada-Torres, A. 2002. Rural management and marketing of wild edible mushrooms in Mexico. Proceedings IV International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products. Cuernavaca, Morelos. pp. 433-443.
- Pérez-Moreno, J., Martínez-Reyes, M., Yescas-Pérez, A., Delgado-Alvarado, A. and Xoconostle-Cázares, B. 2008. Wild mushroom markets in central Mexico and a case study at Ozumba. *Economic Botany* 22: 1-12.
- Pérez-Moreno, J., Martínez-Reyes, M., Lorenzana, A., Carrasco, V. and Mendez-Neri, M. 2009. Social and biotechnological studies of wild edible mushrooms in Mexico, with emphasis in the Izta-Popo and Zoquiapan National Parks. *Acta Botanica Yunnanica Suppl XVI*: 55-61.

- Petersen, R.H. 1981 *Ramaria* subgenus *Echinoramaria*. *Bibliotheca Mycologica* 79: 1-261.
- Petersen, R.H. 1971. Interfamilial relationships in the clavarioid and cantharelloid fungi. In: Petersen R.H. (ed.). *Evolution in the higher Basidiomycetes*. University of Tennessee Press, Knoxville. pp. 345-374.
- Peterson, A., Eghert, S., Sánchez-Cordero, V. and Prince, K. 2000. Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93: 85-94.
- Pine, E.M., Hibbett, D.S. and Donoghue, M.J. 1999. Phylogenetic relationships of cantharelloid and clavarioid Homobasidiomycetes based on mitochondrial and nuclear rDNA sequence. *Mycologia* 91: 944-963.
- Portugal, D., López-Eustaquio, I., Mora, V. and Bautista, N. 2010. Hongos comestibles. Diversidad fúngica. In: Bonilla-Barbosa, J., Mora, V., Luna, J., Colín, H. and Santillán-Alarcón, S. (eds.). *Biodiversidad, conservación y manejo en el Corredor Biológico Chichinautzin, condiciones actuales y perspectivas*. Universidad Autónoma del estado de Morelos. 315 p.
- Pringle, A. and Vellinga, E.C. 2006. Last chance to know? Using literature to explore the biogeography and invasion biology of the death cap mushroom *Amanita phalloides* (Vaill. ex Fr.: Fr.) Link. *Biological Invasions* 8: 1131-1144.
- Quiñónez-Martínez, M., Lavin, P., Garza, F., De la Mora, A., Lebgue, T. and Woocay, A. 2009. Riqueza y frecuencia de hongos ectomicorrizógenos en el municipio de Urique, Chihuahua, México. *Ciencia en la frontera: Revista de Ciencia y Tecnología UACJ* VII: 33-40.

- Ramamoorthy, T.P., Bye, R. Lot, A. and Fa, J. 1993. Diversidad biológica de México: orígenes y distribución. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City. 792 p.
- Rapoport, E.H. 1975. Areografía: estrategias geográficas de las especies. Fondo de Cultura Económica. Mexico City.
- Rapoport, E.H. and Monjeau, J.A. 2001. Areografía. In: Llorente, J. and Morrone, J.J. (eds.). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico City. pp. 23-30.
- Redhead, S.A. 1989. A biogeographical overview of the Canadian mushroom flora. Canadian Journal of Botany 67: 3003-3062.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Acta Botanica Mexicana 14: 3-21.
- Salinas-Moreno, Y., Mendoza, M.G., Barrios, M.A., Cisneros, R., Macías-Sámano, J. and Zúñiga, G. 2004. Areography of the genus *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. Journal of Biogeography 31: 1163-1177.
- Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Linaje, M., Sarkar, S., and Peterson, A. T. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. Biological Conservation, 126(4): 465-473.
- Santa Anna del Conde, H., Contreras-Medina, R. and Luna-Vega, I. 2009. Biogeographic analysis of endemic cacti of the Sierra Madre Oriental, Mexico. Biological Journal of the Linnean Society 97: 373-389.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Mexico City. December 30.
- Smith, A.H. and Morse, E.E. 1947. The genus *Cantharellus* in western United States. *Mycologia* 39: 497-534.
- Senn-Irlet, B. Heilmann-Clausen, J. Genney, D. Danhlberg, A.2007. Guidance for the conservation of fungi. Prepared for the Convention on the Conservation of European and natural habitats. European Council. Document T-PVS 13 (rev). Strasbourg 17 Oct 2007 (accessed 20.02.14).
- Serrato, A., Ibarra-Manríquez, G. and Oyama, K. 2004. Biogeography and conservation of the genus *Ficus* (Moraceae) in Mexico. *Journal of Biogeography* 31: 475-485.
- Skrede, I., Engh, I., Binder, M., Carlsen, T., Kauserud, H. and Bendiksby, M. 2011. Evolutionary history of Serpulaceae (Basidiomycota): molecular phylogeny, historical biogeography and evidence for a single transition of nutritional mode. *BMC Evolutionary Biology* 11: 230-243.
- Styles, B.T. 1993. Genus *Pinus*: a Mexican purview. In: Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. and Fa, J. (eds.). *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press. New York. pp. 397-420.
- Summerell, B.A., Laurence, MH, Liew, E.C.Y., Leslie, J.F. 2010. Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. *Fungal Diversity* 43: 3-13.

- Trappe, J.M. 1960. Some probable mycorrhizal associations in the Pacific Northwest. II. Northwest Science 34(4): 113-117.
- Tedersoo, L. and Nara, K. 2010. General latitudinal gradient of biodiversity is reversed in ectomycorrhizal fungi. New Phytologist 185(2): 351-354.
- Thirgood, T.S. and Heath, M.F. 1994. Global patterns of endemism and the conservation of biodiversity. In: Forey, P.L., Humphries, C.J. and Vane-Wright, R.I. (eds.). Systematics and Conservation Evaluation. Systematics Association Special Vol. No. 50, Clarendon Press, Oxford, UK, pp. 207-227.
- USDA/USDI [U.S.D.A. Forest Service; U.S.D.I. Bureau of Land Management].
1994a. Final supplemental environmental impact statement on management of habitat for late-successional and old-growth forest related species within the range of the northern spotted owl (northwest forest plan). Portland, OR.
- USDA/USDI [U.S.D.A. Forest Service; U.S.D.I. Bureau of Land Management].
1994b. Record of decision on management of habitat for late-successional and old-growth forest related species within the range of the northern spotted owl (northwest forest plan). Portland, OR.
- USDA/USDI [U.S.D.A. Forest Service; U.S.D.I. Bureau of Land Management].
2000. Final supplemental environmental impact statement for amendment to the survey and manage, protection buffer, and other mitigation measures standard and guidelines. Volume 1, chapters 1-4. Portland, OR.

- USDA/USDI [U.S.D.A. Forest Service; U.S.D.I. Bureau of Land Management].
2001. Record of decision and standards and guidelines for amendments to the survey and manage, protection buffer, and other mitigation measures standards and guidelines. Portland, OR.
- Valdés-Ramírez, M. 1972. Microflora of a coniferous forest of the Mexican basin. *Plant and Soil* 36: 31–38.
- Valenzuela, R., Raymundo, T. and Palacios, M. 2004. Macromicetes que crecen sobre *Abies religiosa* en el Eje Neovolcánico Transversal. *Polibotánica* 18: 33-52.
- Villarruel-Ordaz, J. and Cifuentes, J. 2007. Macromicetos de la Cuenca del Río Magdalena y zonas adyacentes, Delegación la Magdalena Contreras, México, D.F. *Revista Mexicana de Micología* 25: 59-68.
- Villaseñor, J.L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 105-135.
- Villegas, M. and Cifuentes, J. 1988. Revisión de algunas especies del género *Ramaria* subgénero *Lentoramaria* en México. *Revista Mexicana de Micología* 4: 185–200.
- Villegas, M., De Luna, E., Cifuentes, J. and Estrada-Torres, A. 1999. Phylogenetic studies in Gomphaceae sensu lato (Basidiomycetes). *Mycotaxon* 70: 127-147.
- Villegas, M., Cifuentes, J., Estrada-Torres, A. and Kong-Luz, A. 2010. The genus *Gomphus* in tropical and subtropical zones of Mexico. *Nova Hedwigia* 90: 491-501.

- Watling, R. 2001. The relationships and possible distributional patterns of boletes in south-east Asia. *Mycological Research* 105: 1440-1448.
- Wicklow, D.T. 1981. Biogeography and conidial fungi. In: Cole, G. and Kendrick, B. (eds.). *Biology of conidial fungi*. Vol. I. Academic Press. London. pp. 414-447.
- Wollan, A., Bakkestuen, V., Kauserud, H., Gulden G. and Halvorsen, R. 2008. Modelling and predicting fungal distribution patterns using herbarium data. *Journal of Biogeography* 35: 2298-2310.
- Wu, Q.-X. and Mueller, G.M. 1997. Biogeographic relationships between the macrofungi of temperate eastern Asia and eastern North America. *Canadian Journal of Botany* 75(12): 2108-2116.
- Yu-Cheng, D., Zhu-Liang, Y., Bao-Kai, C., Chang-Jun, Y. and Li-Wei, Z. 2009. Species diversity and utilization of medicinal mushrooms and fungi in China (Review). *International Journal of Medicinal Mushrooms* 11(3):287-302.
- Zarco, J. 1986. Estudio de la distribución ecológica de los hongos (principalmente Macromicetes) en el Valle de México, basado en los especímenes depositados en el herbario ENCB. *Revista Mexicana de Micología* 2: 41-72.

CAPÍTULO 3, Riqueza y endemismo de las especies de
Clavariadelphus (Clavariadelphaceae, Gomphales) en la Faja
Volcánica Transmexicana.

Riqueza y endemismo de las especies de *Clavariadelphus* (Clavariadelphaceae, Gomphales) en la Faja Volcánica Transmexicana

Patricia González-Ávila¹, Margarita Villegas-Ríos², Juan Andrés Pérez-Trejo² e
Isolda Luna-Vega¹³

¹Laboratorio de Biogeografía y Sistemática, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Apartado Postal 70-399, Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México 04510, D.F., México

²Laboratorios de Micología, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México 04510, D.F., México

³ corresponding author: luna.isolda@gmail.com, ilv@hp.fciencias.unam.mx

Resumen. Las especies del género *Clavariadelphus* se desarrollan en las regiones templadas del hemisferio norte, con solo algunas especies que llegan a habitar zonas subtropicales. Se reconocen entre 19 y 21 especies de este taxón para el mundo. Poco se sabe acerca de sus patrones de distribución debido al escaso conocimiento que se tiene de él y la falta de recolecciones intensivas. En este trabajo se llevó a cabo un estudio de la distribución de las especies presentes en la Faja Volcánica Transmexicana para conocer sus patrones de riqueza y endemismo, mismos que son relevantes en el conocimiento y entendimiento de su historia evolutiva, permitiendo generar información biogeográfica útil en la delimitación de regiones y áreas importantes para la conservación de México. El área de estudio

fue dividida en una cuadrícula de 0.5° x 0.5° de latitud/longitud donde fueron ubicados los 240 registros obtenidos de 14 colecciones nacionales y bases de datos institucionales. Se concluye que la Faja es una zona biodiversa en especies de *Clavariadelphus*, concentrándose en ella el 68.4% de las especies registradas para el mundo. Se encuentran en esta área todas las especies actualmente conocidas para México. Nuestros datos muestran que la riqueza de especies está distribuida de forma heterogénea, siendo la porción central y oriental de la Faja las que concentran el mayor número de registros, en la que la mayor diversidad y el valor mas alto de endemismo se ubicaron en el Área Natural Protegida conocida como corredor biológico Chichinautzin-Tepozteco, Morelos-DF-Estado de México. Los resultados obtenidos nos permiten discernir que la diversidad y riqueza de especies de *Clavariadelphus* se encuentra asociada con factores históricos complejos, como son una geología intrincada, climas templados y presencia de tipos de vegetación de montaña, además de que han sido las áreas más recolectadas, mismas que tienen una buena representación de bosques de coníferas y de encino-pino.

Palabras clave: Distribución, clavarioides, biogeografía, conservación

Key words: Distribution, clavarioides, biogeography, conservation

INTRODUCCIÓN

El género *Clavariadelphus* (Clavariadelphaceae, Gomphales) tiene una amplia distribución en las regiones templadas del mundo, con sólo algunas especies (v.gr. *C. truncatus*, *C. unicolor*, *C. cokeri* y *C. fasciculatus*) que llegan a habitar zonas subtropicales (Methven 1990). Actualmente se reconocen entre 18 y 21 especies en

el mundo (Methven 1990, Kirk et al. 2008) segregadas en los subgéneros *Ligulus* (con esporas elipsoides, con ancho promedio menor a 2.5 μm) y *Clavariadelphus* (con esporas ovadas cuyo ancho promedio es mayor a 2.5 μm). La mayoría de sus especies son ectomicorrizógenas (entre el 86 y 95% de sus especies), con pocos representantes saprobios (Tedersoo et al. 2010).

La monofilia de *Clavariadelphus* no ha sido confirmada; pocas especies han sido representadas en análisis filogenéticos morfológicos y moleculares, en los que ha sido ubicado dentro del clado Gomphoide-Phalloide y en particular dentro del Orden Gomphales y familia Clavariadelphaceae (Hibbett et al. 1997, Pine et al. 1999, Villegas et al. 1999, Kim y Jung 2000, Hibbett y Thorn 2001, Hibbett et al. 2007). Tedersoo et al. (2010) sugieren que sólo las especies ectomicorrízicas son monofiléticas y que las saprobias están más cercanamente relacionadas con especies no micorrízicas del género *Ramaria*.

A la fecha, no existen análisis sobre los patrones de distribución geográfica de las especies de *Clavariadelphus*. Trabajos como los de Methven (1990), Shiryayev (2009) y Tedersoo et al. (2010) incluyen sólo notas breves sobre la distribución de las especies de este género en zonas templadas en el hemisferio norte. Para México, la información disponible proviene de listados taxonómicos elaborados para diferentes regiones del país, en los cuales se han encontrado ocho especies distribuidas preferentemente en bosques de coníferas, encinos, abetos y mesófilos de montaña, principalmente en la parte central y norte del país, a altitudes entre 1400-3900 msnm (González-Ávila et al. 2013a).

La micogeografía “Mycogeografía *sensu* Lichtwardt (1995)” también llamada biogeografía de los hongos, estudia y explica los patrones de distribución de los

mismos. Es un campo relativamente nuevo con una historia reciente, en comparación con la de otros grupos de organismos, aunque en las últimas décadas ha sido fuertemente impulsada por la taxonomía molecular (Demoulin 1973; Lange 1974; Eckblad 1981; Redhead 1989; Baroni et al. 1997; Wu y Mueller 1997; Hibbett 2001; Watling 2001; Pringle y Vellinga 2006; Lumbsch et al. 2008; Skrede et al. 2011).

Se deben considerar al menos dos hechos importantes para entender la biogeografía de hongos: 1) estos organismos se desarrollan en diferentes hábitats y sustratos, por lo que ciertos factores como el tipo de suelo, régimen de lluvias, los intervalos de temperatura y la composición de las comunidades vegetales, entre otros, influyen en las áreas donde se encuentran y 2) varios de ellos se asocian de forma obligada con otros organismos como parásitos o simbioses, por lo que es de esperarse que sus patrones de distribución estén restringidos de acuerdo con su hospedero u organismo asociado (Horak 1983; Lichtwardt 1995; Halling et al. 2008). Los hongos saprobios, que generalmente no tienen una distribución geográficamente restringida, pueden atribuir sus patrones de distribución a otros factores, como lo han sugerido Baker y Meeker (1972).

La areografía es el estudio de las áreas de distribución de taxones (Rapoport 1975; Rapoport y Monjeau 2001), por medio del cual se obtienen áreas de riqueza y endemismo para diferentes zonas basadas en diferentes organismos. En México se han utilizado los análisis de cuadrícula para detectar riqueza y endemismo de varios grupos de organismos en función de su presencia (Serrato et al 2004, Contreras-Medina y Luna-Vega 2007, González-Ávila et al. 2013b entre otros).

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es un conjunto de volcanes alineados sobre una franja que cruza el territorio mexicano de oeste a este, desde Cabo Corrientes, Nayarit hasta la sierra Chinconquiaco, Veracruz (Ferrusquía-Villafranca 2007). Tiene aproximadamente 1000 km de longitud y una amplitud irregular entre los 80 y 230 km cuyas coordenadas extremas son al norte 21°38'24", al sur 18°23'24", al este -96°22'12" y al oeste -105°45'. Esta provincia se extiende desde las costas del Pacífico, en los estados de Nayarit (San Blas) y Jalisco (Bahía de Banderas), hasta las costas del Golfo de México, en Palma Sola, en el estado de Veracruz (Gómez-Tuena et al. 2005). Es un área muy compleja en origen y medio físico; por ello, casi todos los tipos de vegetación están presentes, aunque predominan los bosques de coníferas (31%) y de encinos (28%); el resto está compuesto por pastizales, matorrales subalpinos, bosques mesófilos de montaña (en áreas de cañadas), bosques de galería y tierras urbanas y de cultivo (Espinosa et al. 2008). Esta cordillera está reconocida como centro de diversificación, endemismo y transición biogeográfica para una gran variedad de taxones, lo que la hacen una de las provincias más heterogéneas y complejas del país (Navarro-Sigüenza et al. 2007, Morrone 2010; Flores-Villela y Canseco-Márquez 2007). Al igual que en otras provincias, la distribución de especies en la FVTM no es azarosa, siguiendo patrones que responden a diferentes procesos históricos y ecológicos comunes (Morrone 2009).

El objetivo central de este trabajo es reconocer los patrones de riqueza de endemismos y distribución de las especies del género *Clavariadelphus* en la FVTM, mismos que son relevantes en el conocimiento y entendimiento de su historia

evolutiva, permitiendo generar información biogeográfica útil en la delimitación de regiones y áreas importantes para la conservación del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los registros de las especies del género *Clavariadelphus* se obtuvieron a partir de la revisión de ejemplares de los herbarios CIRB, ENCB, EBUM, FCME, FEZA, HEMIM, IBUG, IZTA, MEXU, TLMX, UJAD, CIAD, UTCV y XAL (Index Herbariorum, <http://sweetgum.nybg.org/ih>), bases de datos institucionales (REMIB), revisión de literatura especializada y ocho colectas realizada por los autores. La determinación específica se realizó con base en la revisión de 240 ejemplares y utilizando bibliografía adecuada para este fin.

Se conjuntó una base de datos del género *Clavariadelphus* compuesta por diferentes campos, que comprenden entre otros nombre científico, altitud, coordenadas geográficas, tipos de vegetación, localidad, nombre común, usos, hábitat, recolector, determinador y herbario de depósito del ejemplar. Fueron excluidos de esta base aquellos ejemplares obtenidos en mercados debido a lo incierto de los datos de la localidad. Para identificar los patrones de riqueza y endemismo, todos los registros fueron georreferenciados a partir de mapas topográficos de escala 1:250,000 y 1:50,000 elaborados por el INEGI (2009).

El análisis de la distribución de las especies y las representaciones gráficas se realizaron por medio del software ArcView GIS versión 3.3.3 (ESRI 1999). Las localidades fueron sobrepuestas en un mapa a escala 1:250,000 generado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO

1998). Para ello, la región de la FVTM fue dividida mediante un sistema de cuadrícula, de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ de latitud/longitud. Para reconocer los patrones de riqueza de especies en cada sitio, las localidades en donde se ubicó a cada especie fueron sobrepuestas en la cuadrícula en la que fue dividida la FVTM.

El endemismo de las especies fue medido con base en el índice de Crisp et al. (2001) y Linder (2001), empleando el método de endemismo ponderado y el de endemismo ponderado corregido, el cual utiliza los inversos del intervalo en la distribución de las especies, mismo que fue corregido para eliminar de éste la influencia de la riqueza de especies y obtener así valores del endemismo ponderado. Es decir, si una especie se ubica en un solo cuadro su peso máximo será de 1, en cambio, si una especie es ubicada por ejemplo en cuatro cuadros, su peso será de 0,25 y si una especie se distribuye en 50 cuadros tendrá un peso de 0.02. Posteriormente, para obtener el valor de cada celda, se suman los valores de todas las especies que se encuentren en esa celda, denominándose a este índice como "endemismo ponderado". De esta manera se espera que celdas con muchas especies de distribución restringida tengan valores mayores que aquellas celdas con muchas especies de amplia distribución.

La obtención del peso total de cada cuadro se obtuvo sumando los pesos de cada especie presentes en ese cuadro y dividido entre el número total de especies en el cuadro, para generar así un índice conocido como endemismo ponderado corregido, la distribución restringida, deberían presentar valores más altos que aquellas celdas con alta riqueza, pero con relativamente pocas especies de distribución restringida. (Linder 2001).

Por último, se seleccionaron los cuadros con mayor número de especies y más altos niveles de endemismo de *Clavariadelphus* en la FVTM y se compararon con las Áreas Naturales Protegidas (CONANP 2012). Los cuadros resultantes se compararon con los obtenidos en los estudios de Alcántara y Paniagua (2007), Navarro-Sigüenza et al. (2007), Escalante et al. (2007), Gámez et al. (2012) y Suárez-Mota et al. (2013), con la finalidad de evaluar si los datos obtenidos para *Clavariadelphus* son concordantes con los obtenidos para otros taxones de plantas y animales.

RESULTADOS

Diversidad de especies Clavariadelphus en la FVTM

Los 240 registros de *Clavariadelphus* que se ubicaron en la FVTM corresponden a 11 especies diferentes; tres de ellas al parecer son especies nuevas para la ciencia, ya que presentan diferencias morfológicas con las especies hasta ahora descritas (Tabla 1). Seis de estas especies se habían registrado previamente para México (González-Ávila et al. 2013b). *Clavariadelphus americanus* (que había sido registrada para el este de Estados Unidos y Canadá sensu Methven 1990) y *C. caespitosus* (previamente registrada en el oeste de los Estados Unidos sensu Methven 1990) son hallazgos nuevos para el país. Todas las especies revisadas provienen de bosques de coníferas, encinos y mesófilos de montaña. La especie que presenta mayor cantidad de registros es *C. truncatus* (174 ejemplares pertenecientes a tres diferentes variedades) y también corresponde con la más citada para el país (González-Ávila et al. 2013b). Sólo se obtuvo un registro de *C.*

americanus para la FVTM y de las tres especies consideradas como posibles nuevas especies.

Tabla 1. Número de registros de las especies del género *Clavariadelphus* en la Faja Volcánica Trasmexicana

Especie	Número de ejemplares registrados en la FVTM	Altitud en msnm en la FVTM	Tipos de vegetación en la FVTM	Registros en otros estados de la República Mexicana	Registros en otras partes del mundo
<i>Clavariadelphus americanus</i>	1	2600	Bosque de encino	Durango y Nuevo León	Este de Norte América, Canadá
<i>C. caespitosus</i>	13	2400-3500	Bosque de encino, bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de pino- abeto-encino, bosque mesófilo de montaña	Ninguno	Oeste de Estados Unidos
<i>C. cokeri</i>	2	2000-2700	Bosque de encino, bosque de pino-encino	Guanajuato	Estados Unidos, Canadá
<i>C. fasciculatus</i>	13	2500-3400	Bosque de abeto, bosque de pino, bosque de encino-pino, bosque de abeto-pino, bosque de pino-encino y bosque de encino	Durango	Ninguno
<i>C. occidentalis</i>	17	1900-3300	Bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de abeto y bosque de encino	Durango	Canadá, Estados Unidos
<i>Clavariadelphus</i> sp. 1	1	3900	Bosque de pino	Ninguno	Ninguno
<i>Clavariadelphus</i> sp. 2	1	2500	Bosque de pino-encino	Ninguno	Ninguno
<i>Clavariadelphus</i> sp. 3	1	2900	Bosque de abeto-pino	Ninguno	Ninguno
<i>C. subfastigiatus</i>	7	1700-3800	Bosque de abeto-encino, bosque de pino-abeto y bosque de encino	Guanajuato	Estados Unidos
<i>C. truncatus</i> <i>C. truncatus</i> var. <i>lovejoyae</i> <i>C. truncatus</i> var. <i>truncatus</i> <i>C. truncatus</i> var. <i>umbonatus</i>	174	1700-3900	Bosque de abeto-pino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de abeto, bosque de abeto-junipero, bosque de abeto-encino,	Zacatecas, Nuevo León, Guerrero, Chihuahua, Chiapas, Coahuila	Estados Unidos, Austria, Canadá, China, Checoslovaquia,

			bosque de pino-abeto-encino y bosque de encino		Finlandia, Francia, Alemania, India, Italia, Noruega, Suecia, Suiza, norte de África, Japón
<i>C. unicolor</i>	10	2400-3100	Bosques de pino-abeto, bosque de pino-encino, bosque de abeto, bosque de encino y bosque mesófilo de montaña	Tamaulipas	Estados Unidos

Riqueza de especies

La FVTM fue dividida en 95 cuadros de 0.5° x 0.5°. En 25 de estos cuadros se registró al menos una especie de *Clavariadelphus*. Para ello, a cada cuadro se le asignó secuencialmente un código único para su identificación. La figura 1 ilustra el patrón de distribución de las especies en la FVTM.

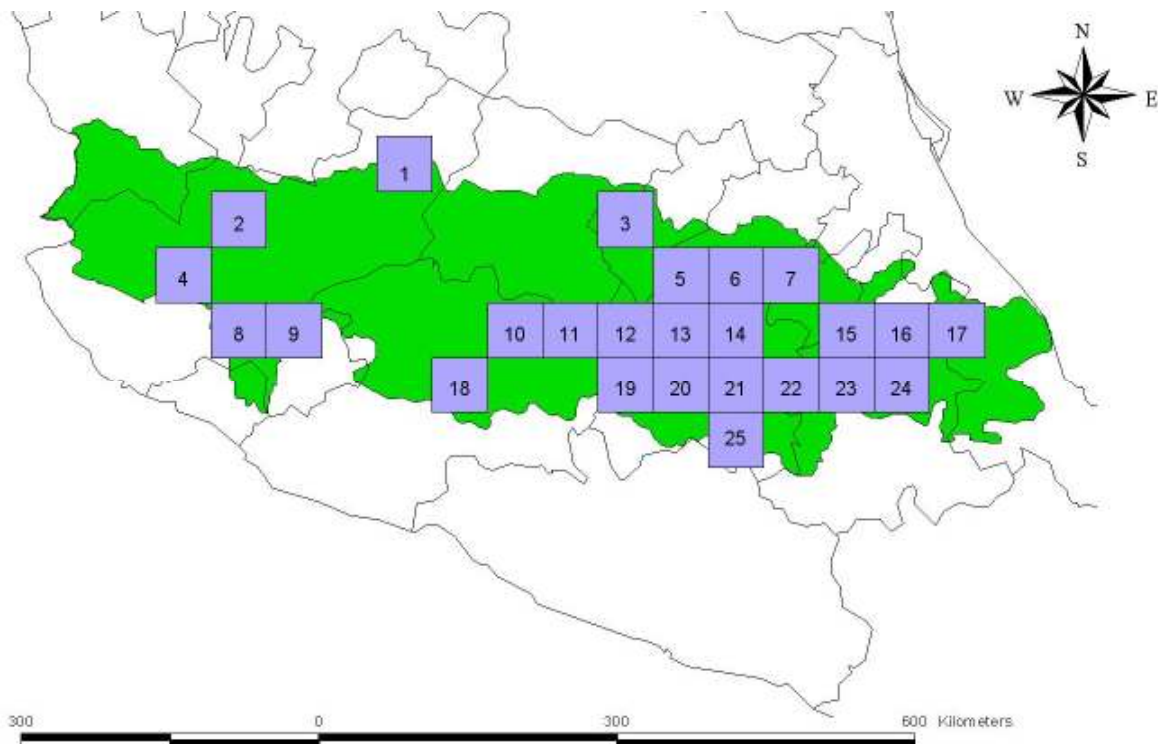


Figura 1. Cuadros de la FVTM donde fueron encontradas especies de *Clavariadelphus*.

En la figura 2 se muestra la riqueza de especies en la FVTM. El sitio con mas alta riqueza de especies corresponde con el cuadro 21 en donde fueron encontradas el 61.5% de las especies; éstas son: *Clavariadelphus americanus*, *C. caespitosus*, *C. fasciculatus*, *C. occidentalis*, *C. subfastigiatus*, *C. truncatus* y *C. unicolor*, principalmente en bosques de encinos y bosques de coníferas en altitudes entre 2000-3800 msnm. Este cuadro se encuentra localizado en parte del Distrito Federal, Estado de México y Morelos. Los siguientes cuadros con mayor riqueza de especies son el 11 y el 13 que concentran cada uno el 54.5% de las especies. Estos dos cuadros únicamente difieren entre sí en que en el primero además de *C. caespitosus*, *C. fasciculatus*, *C. occidentalis*, *C. truncatus* y *C. unicolor* está presente *C. cokeri* y en el segundo *C. subfastigiatus*. El cuadro 11 se encuentra ubicada en el estado de Michoacán, en sitios con bosques de encinos y de coníferas, en altitudes entre 2000-2800 msnm. El cuadro 13 está ubicado en los estados de México e Hidalgo, en sitios con bosques de coníferas, en altitudes de 1800-3000 msnm. Otro cuadro importante es el 23 que concentra el 38.5% de las especies, donde pueden encontrarse a *C. caespitosus*, *C. fasciculatus*, *C. occidentalis*, *C. truncatus* y *C. unicolor*; este cuadro se localiza en el estado de Tlaxcala, en sitios con bosques de encinos y de coníferas en altitudes de 2500-2900 msnm (ver Tabla 2).

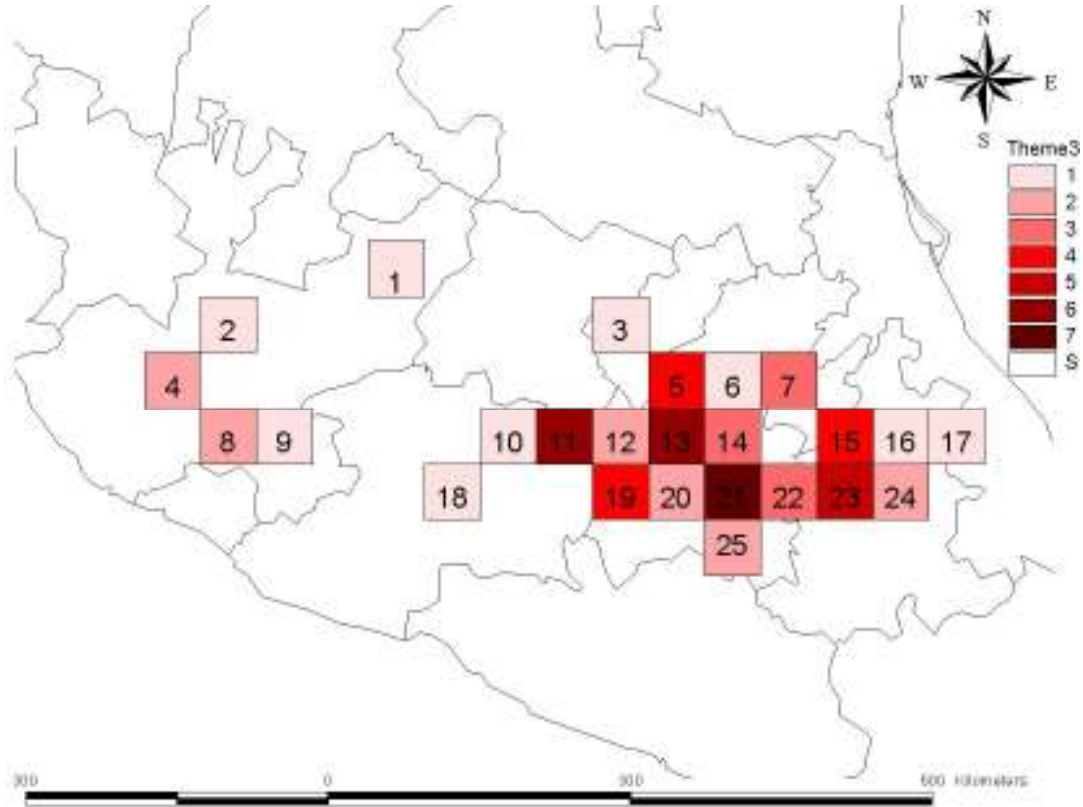


Figura 2. Riqueza de especies de *Clavariadelphus* en la Faja Volcánica Trasmexicana.

Endemismo y endemismo ponderado de las especies de Clavariadelphus en la FVTM

El cuadro con mayor concentración de endemismos (1.732) se ubica también en el sector central de la FVTM (cuadro 21), coincidiendo con el cuadro de mayor riqueza. En este cuadro las especies de *Clavariadelphus* se encuentran en bosques de coníferas y encinos a altitudes de 2000 a 3800 msnm, aspecto que permite catalogarlas como especies montanas. A diferencia de lo observado en el análisis de riqueza, el siguiente cuadro con una mayor concentración de endemismos es el 19 con un valor de 1.316, mismo que se ubica en el sureste de la FVTM (Figura 3), comprendiendo parte del estado de México y el de Michoacán, en bosques de

encino, pino-encino, abeto-pino y encino-pino a altitudes de 1800-3500 msnm. El cuadro 20 tiene un valor de 1.248 y se localiza en el estado de México, en bosques de encino, pino-encino, abeto, abeto-pino y abeto-encino, en altitudes de 1800 a los 3800 msnm.

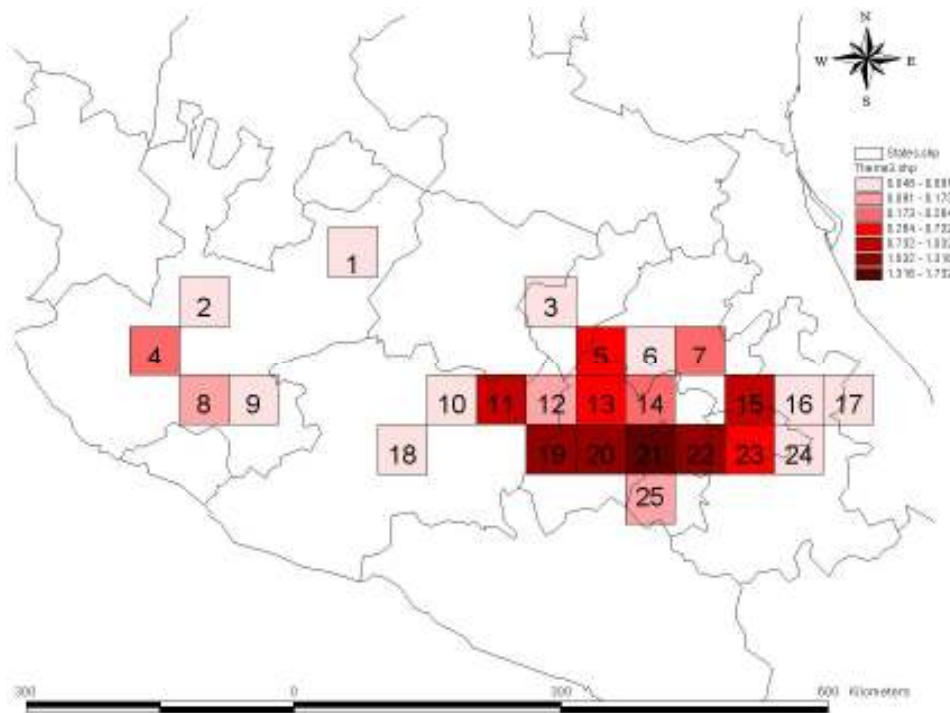


Figura 3. Valores de endemismo de las especies de *Clavariadelphus* en la Faja Volcánica Trasmexicana

Cuando se ponderan los valores de endemismo para eliminar la influencia de la riqueza de especies (Figura 4 y Tabla 2), los resultados cambian, ya que el cuadro con el valor más alto de endemismo ponderado es el 20 (0.416) ubicado en la parte oriental de la FVTM, en el estado de México; otros cuadros con valores altos son el 22 (Distrito Federal, estado de México y Puebla) con un valor de 0.391 y el cuadro 19 con un valor de 0.329 (Michoacán y estado de México).

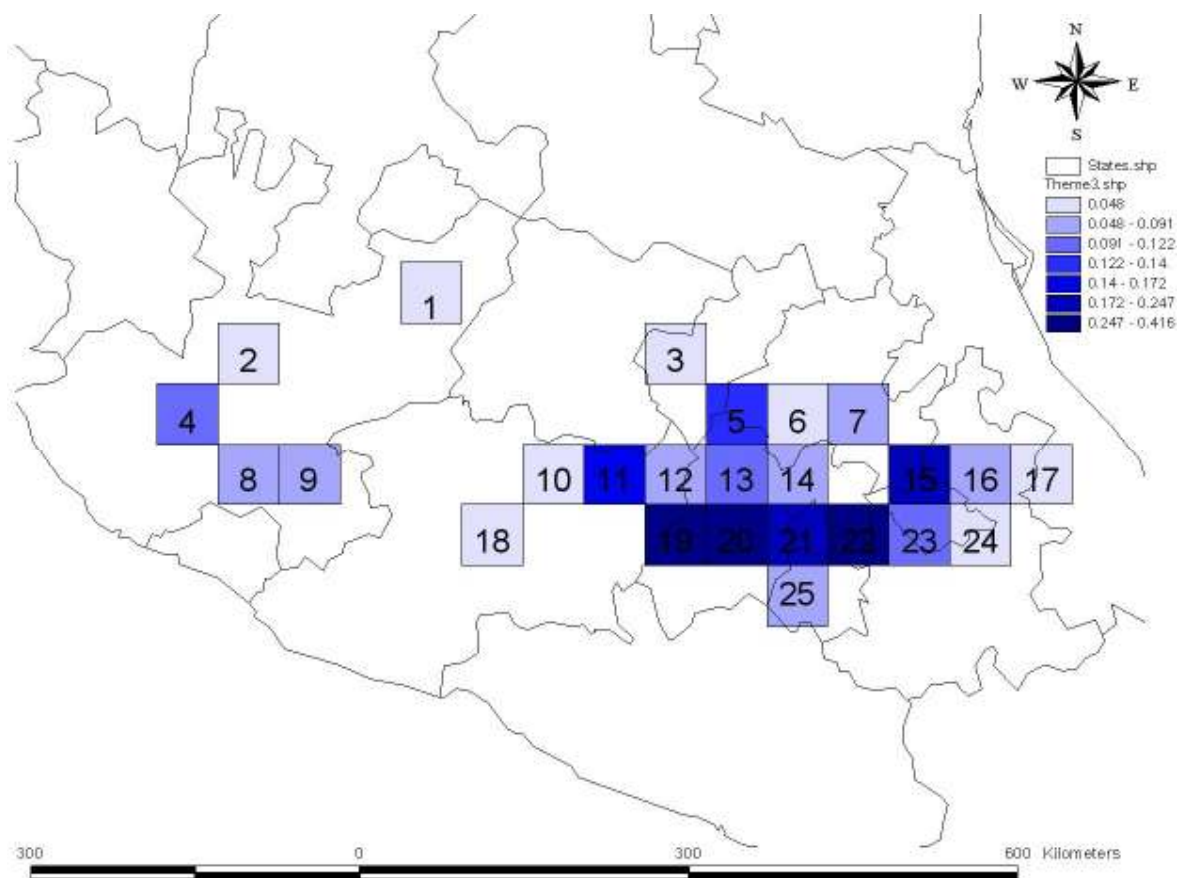


Figura 4. Valores de endemismo ponderado de las especies de *Clavariadelphus* en la Faja Volcánica Trasmexicana

Tabla 2. Riqueza, endemismo y endemismo ponderado de las especies de *Clavariadelphus* en la Faja Volcánica Trasmexicana

Número de cuadro	Número de especies (riqueza)	Valor de endemismo	Valor de endemismo ponderado	Tipo de vegetación predominante	Altitud predominante (msnm)
1	1	0.048	0.048	Bosque mesófilo de montaña	2240
2	1	0.048	0.048	Bosque de encino	2700
3	1	0.048	0.048	Bosque de encino	2800
4	2	0.216	0.108	Bosque de pino-encino	2000-2250
5	4	0.559	0.140	Bosque de abeto, bosque de encino,	2600

6	1	0.048	0.048	bosque de pino-encino	2900
7	3	0.264	0.088	bosque de abeto Bosque de abeto, bosque de encino,	2700-2900
8	2	0.173	0.087	bosque de pino-encino Bosque de pino-encino	1800
9	1	0.091	0.091	Bosque de pino-encino	2000
10	1	0.048	0.048	Bosque de abeto-enebro	2800
11	6	1.032	0.172	Bosque de pino-encino, bosque de pino-abeto-encino	2000-2400
12	2	0.173	0.087	Bosque de encino, bosque de pino-encino	2400-2600
13	6	0.732	0.122	Bosque de abeto-encino, bosque de pino, bosque de encino	2700-3500
14	3	0.264	0.088	Bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de abeto	2500-3200
15	4	0.891	0.223	Bosque de abeto, bosque de abeto-pino, bosque de pino-encino	2500-2900
16	1	0.091	0.091	Bosque de pino-encino	2400
17	1	0.048	0.048	Bosque de pino	2400
18	1	0.048	0.048	Bosque mesófilo de montaña	2300
19	4	1.316	0.329	Bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña	2400
20	3	1.248	0.416	Bosque de abeto-pino, bosque de abeto, bosque de pino-abeto	2600-3500
21	7	1.732	0.247	Bosque de pino-encino,	2300-3500

22	3	1.173	0.391	bosque abeto-encino, bosque de abeto, bosque de mesófilo de montaña Bosque de encino-pino, bosque de abeto, bosque de pino, bosque de pino-encino	1800-3400
23	5	0.532	0.106	Bosque de abeto-pino, bosque de encino-pino, bosque de pino-encino, bosque de encino	2500-3200
24	1	0.048	0.048	Bosque de abeto-pino	2800
25	2	0.139	0.070	Bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña	2000-2300

DISCUSIÓN

Se puede considerar que la FVTM es una zona biodiversa en especies de *Clavariadelphus*, ya que en ella se concentran el 68.4% de las especies registradas para el mundo (Methven 1990, Kirk et al. 2008). En la FVTM están representadas todas las especies actualmente conocidas para México. Estos resultados son congruentes con los obtenidos con otros grupos de organismos, v.gr. plantas y animales varios (Espinosa et al. 2008, Morrone 2010) y mamíferos (Gámez et al. 2012). Estos hechos apoyan la hipótesis de que la complejidad geológica, climática y de vegetación presentes en esta cordillera generan una alta riqueza de especies.

Los datos hasta ahora obtenidos muestran que la riqueza de especies está distribuida en forma heterogénea, siendo la porción central y oriental de la FVTM las que concentran el mayor número de registros. Esto puede deberse, en parte, a que son las áreas más recolectadas del área de estudio y que en esta área existe

una mayor representación de bosques de coníferas y en general de bosques montanos. El cuadro 21 contiene la diversidad más alta de *Clavariadelphus* en la FVTM, mismo que se ubica en el Área Natural Protegida conocida como corredor biológico Chichinautzin-Tepozteco, que se localiza en parte de los estados de Morelos, Distrito Federal y estado de México. Este cuadro también es el que presenta un valor más alto de endemismo. Otro de los cuadros que contiene una alta diversidad de especies de *Clavariadelphus* es el 11, que se encuentra ubicado en el Área Natural Protegida de la “Mariposa Monarca” en el estado de Michoacán. Por el contrario, el cuadro 13, ubicado en los estados de México e Hidalgo, no pertenece a ningún área protegida que resguarde su diversidad. En la zona occidental de la Faja sólo se registraron una o dos especies, lo cual puede deberse a lo poco exploradas que se encuentran las áreas del noroeste de Michoacán, norte de Jalisco, sur de Nayarit y Guanajuato. En esta zona occidental existen extensas zonas agrícolas, pastizales, selvas bajas caducifolias o zonas urbanas, aspectos que limitan el desarrollo de especies de *Clavariadelphus*.

Estos datos nos conducen a considerar que la diversidad y riqueza de especies de *Clavariadelphus* se encuentra asociada a factores como el clima y la vegetación, así como a la existencia de especies de plantas con las que tienen una asociación micorrizógena, principalmente coníferas y ciertas latifoliadas. De acuerdo con Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya (2007), las zonas de la FVTM más húmedas (con precipitaciones superiores a 1500 mm), con temperatura máxima promedio de 20-26°C se localizan en las regiones montañosas que miran hacia el Golfo de México. Las especies de *Clavariadelphus* se desarrollan predominantemente en estas áreas, donde son frecuentes los bosques montanos.

Lo encontrado en este estudio está apoyado por Rinaldi et al. (2008), quien ha sustentado que una alta proporción de especies de *Clavariadelphus* establecen una asociación ectomicorrizógena con coníferas. Por otra parte, el estudio de Contreras-Medina y Luna-Vega (2007) muestra que las gimnospermas se distribuyen principalmente en el intervalo altitudinal que va de los 1200 a 3200 msnm, en los que los tipos de vegetación de pino-encino son los mejor representados.

El cuadro con valor más alto de endemismo ponderado no coincide con ningún área protegida que resguarde a las especies de *Clavariadelphus*, por lo que las especies que habitan en estos sitios están en riesgo alto de desaparecer.

Los resultados obtenidos por Morales-Torres y Villegas-Ríos (2007) para el género *Amanita*, un taxón ectomicorrizógeno, coinciden con el presente estudio en el sentido de que la mayor riqueza de especies se encuentra en bosques mixtos de pino-encino, siendo la región oriental de la FVTM la que concentra el mayor número de registros. Los bosques templados del estado de Hidalgo son diversos no sólo en especies de *Clavariadelphus*, sino que también albergan una riqueza extraordinaria de otros hongos, v. gr. especies de *Phaeoclavulina*. De manera coincidente, los bosques templados del estado de Tlaxcala representan áreas con alto valor de endemismo para especies de *Phaeoclavulina* (González-Ávila et al. 2013b).

CONCLUSIONES

Se tenía reportado que las especies del género *Clavariadelphus* eran habitantes de las zonas templadas del hemisferio norte; no obstante, en este estudio fue evidente que algunas de ellas también se encuentran en montañas tropicales, principalmente en los estados de Chiapas y Oaxaca. La mayoría de ellas son

ectomicorrizógenas y crecen en bosques de coníferas, de encinos, pinos, mesófilos de montaña y otros bosques mixtos. Al parecer sólo *C. fasciculatus* es endémica de México.

La distribución de las especies de *Clavariadelphus* alcanza la Zona de Transición Mexicana *sensu* Morrone (2010) y llega a rebasar este límite, donde habitan en bosque de pino-encino y bosque de encino-pino, en altitudes de 2200 a 2300 msnm, por lo que en este estudio encontramos que el género no es exclusivo de las zonas templadas del hemisferio norte. Hasta la fecha no han sido registradas especies para América Central.

Los resultados de este estudio permiten concluir que la riqueza de especies de algunos grupos de hongos, plantas y animales que habitan en la FVTM son congruentes y muestran una mayor concentración de especies en las áreas orientales de la FVTM, donde son comunes los bosques de coníferas, de encino y pino-encino húmedos y otros tipos de vegetación menos frecuentes en la zona occidental (García-Trejo y Navarro-Sigüenza 2004, Navarro-Sigüenza et al. 2007, Contreras-Medina y Luna-Vega 2007).

Ninguna de las especies de *Clavariadelphus* está incluida en alguna categoría de riesgo dentro la Norma Oficial Mexicana vigente (SEMARNAT 2010), por lo que es indispensable llevar a cabo otro tipo de estudios para este taxón, como son los demográficos. Las especies de *Clavariadelphus*, al igual que otras muchas de las especies de hongos que se desarrollan en nuestro país, enfrentan el problema de la destrucción acelerada de los bosques, debido principalmente a la expansión de las fronteras ganaderas, agrícolas y urbanas que aunados a la contaminación atmosférica y de los acuíferos representan una grave amenaza.

Los hongos no son considerados en las iniciativas de conservación de la mayoría de los países y además no se emplean en los acuerdos internacionales de diversidad biológica. Esto es debido a que es considerado como un grupo extraño, mal atendido y difícil de estudiar (Dahlberg 2010).

Los hongos generalmente tienen un perfil bajo entre los actores de la conservación y tomadores de decisiones, además el conocimiento micológico ha sido limitado en un contexto de conservación debido a que se carece del conocimiento del grado de rareza, estado de riesgo y los requerimientos del hábitat de la mayoría de los hongos (Molina et al. 2011), sin embargo los avances recientes en el conocimiento de su taxonomía, distribución y ecología permiten ahora incluirlos dentro de los programas europeos de conservación (Moore et al. 2001; Senn-Irlet et al. 2007; Heilmann y Vesterholt 2008).

En la lista roja mundial que comprende casi 45 000 especies solamente se enumeran tres hongos, aunque 33 países europeos han producido listas rojas incluyéndolos, indicándose que al menos el 10% están amenazados, debido principalmente a los cambios en el uso del suelo y la deposición de nitrógeno (Dahlberg 2010).

La biodiversidad fúngica puede participar en la conservación, para ellos es necesario una mayor promoción de los hongos y sus valores de conservación y servicios a los ecosistemas, la producción de listas rojas en el mundo y la necesidad de integrarlos con los animales y plantas en los temas de conservación (Dahlberg et al, 2010; Dahlberg y Mueller 2011).

Las especies de *Clavariadelphus* que se han registrado como comestibles en México son: *C. cokeri*, *C. truncatus*, *C. truncatus* var. *lovejoyae* y *C. unicolor*

(González-Ávila et al. 2013a), en los estados de Tlaxcala, Estado de México, Oaxaca y Michoacán Además *C. truncatus* es un importante indicador biológico de contaminación (González-Ávila et al. 2013a).

Se sugieren estudios de tipo demográfico de las especies para conocer el estado actual de sus poblaciones y asociaciones particulares con plantas vasculares, así como el estudio de las especies crípticas sobre todo del complejo *truncatus*, donde pueden estar involucradas varios linajes.

En este estudio se reportan, al parecer, tres especies nuevas para la ciencia, por lo que sería interesante llevar a cabo análisis de ADN ribosomal y un estudio más profundo a nivel micromorfológico, incluyendo otros caracteres como características del apéndice hilar, composición de los cristales presentes en las hifas, metabolitos secundarios en los esporomas, desarrollo de los basidiomas y características de las micorrizas, entre otros.

Durante la época de lluvias existe formación de esporomas, por lo que es necesaria la recolección de estas especies en esas épocas para garantizar su identificación taxonómica y registro de distribución. Las diferentes especies forman esporomas en distintas épocas del año, evidenciándose la mayoría de ellas entre los meses de agosto a octubre, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Meses de fructificación de las especies del género *Clavariadelphus* presentes en México.

Especie	junio	julio	Agosto	Septiembre	octubre	noviembre
<i>Clavariadelphus americanus</i>				X		
<i>C. caespitosus</i>	X	X	X	X	X	X
<i>C. cokeri</i>			X			
<i>C. fasciculatus</i>			X	X	X	X
<i>C. occidentalis</i>			X	X	X	

<i>Clavariadelphus</i> sp. 1 (sin datos)							
<i>Clavariadelphus</i> sp. 2						X	
<i>Clavariadelphus</i> sp. 3						X	
<i>C. subfastigiatus</i>			X	X	X	X	
<i>C. truncatus</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>C. unicolor</i>		X	X	X	X	X	

Agradecimientos. Los autores agradecen a los curadores de las colecciones: Cristina Burrola Aguilar (CIRB), Mario Ishiki (ECOSUR, San Cristóbal), Elvira Aguirre (MEXU), Víctor Manuel Gómez Reyes (EBUM), Marco Antonio Hernández (Feza), Lilia Ramírez (FCME), Lourdes Acosta Urdapilleta (HEMIM), Irene Frutis (Izta), Laura Guzmán (IBUG), Ricardo Valenzuela (ENCB), Raúl Díaz (UJAD), Jesús García (UTCV), Silvia Capello (UJAT), Martín Ezqueda (CIAD), Gastón Guzmán (XAL) y Alejandro Kong (TLMX). Al proyecto DGAPA PAPIIT IN215914 por el financiamiento para la revisión de colecciones. PGA agradece a la beca CONACYT 216021 de estudios de posgrado.

Literatura citada

- Áreas Naturales Protegidas Federales de México. 2012. Diario Oficial de la Federación. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Agosto 2012. México, D.F.
- Alcántara, O., & Paniagua, M. 2007. Patrones de distribución y conservación de plantas endémicas. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF, 421-438.

- Baker, G.E. and Meeker, J.A. 1972. Ecosystems, mycologists and the geographical distribution of fungi in the central Pacific. *Pacific Science* 26: 418-432.
- Baroni, J.T., Lodge, D.J. and Cantrell, S.A. 1997. Tropical connections: sister species and species in common between the Caribbean and the eastern United States. *Mcllvainea* 13: 5-18.
- Contreras-Medina, R. and Luna-Vega I. 2007. Species richness, endemism and conservation of Mexican gymnosperms. *Biodiversity and Conservation* 16: 1803-1821.
- Crisp, M.D., S. Laffan, H.P. Linder and Monro A. 2001. Endemism in the Australian flora. *Journal of Biogeography* 28: 183-198.
- Dahlberg, A., Genney, D.R. and Heilmann-Clausen, J. 2010. Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecology* 3(2): 50-64.
- Dahlberg, A. and Mueller, G.M. 2011. Applying IUCN red-listing criteria for assessing and reporting on the conservation status of fungal species. *Fungal Ecology* 4: 147-162.
- Demoulin, V. 1973. Phytogeography of the fungal genus *Lycoperdon* in relation to the opening of the Atlantic. *Nature* 242: 123-125.
- Escalante, T., Rodríguez G., Gámez N., León L., Barrera O. y Sánchez-Cordero V. 2007. Biogeografía y conservación de los mamíferos. In: I. Luna, J. J. Morrone y D. Espinosa (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, Universidad Nacional Autónoma de México/Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. pp. 485-502.

- Eckblad, F.E. 1981. Soppgeografi. Universitetsforlaget, Oslo.
- ESRI (1999) ArcView Gis ver. 3.2. Environmental Systems Research Institute Inc., California.
- Espinosa, D., Ocegueda S., Aguilar, C., Flores-Villela, O. y Llorente, J. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. En: Capital Natural de México. Vol. I. Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio. México, pp. 33-65.
- Flores-Villela, O. y Canseco-Márquez, L. 2007. Riqueza de la herpetofauna. In: Luna-Vega, I., J.J. Morrone y D. Espinosa (eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Trasmexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. pp. 407-420.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 2007. Ensayo sobre la caracterización y significación biológica. In: Luna-Vega I., Morrone J.J. y Espinosa D. (eds.). Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. pp. 7-24.
- Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M., y Morrone, J.J. 2012. Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. Revista Mexicana de Biodiversidad 83(1): 258-272.
- García-Trejo, E. A., y Navarro, A. G. 2004. Patrones biogeográficos de la riqueza de especies y el endemismo de la avifauna en el oeste de México. Acta Zoológica Mexicana (ns), 20(2), 167-185.

- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M. T., y Ferrari, L. 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 57(3): 227-283.
- González-Ávila, P., Luna-Vega, I., Ríos, M., Saade, R., y Blanco, J.a (2013). Current knowledge and importance of the order Gomphales (Fungi: Basidiomycota) in Mexico. *Nova Hedwigia*, 97(1-2), 1-2.
- González-Ávila, P., Torres-Miranda, A., Luna-Vega, I. y Villegas-Ríos M b. 2013. Richness patterns and ecological differentiation of genus *Phaeoclavulina* in Mexico and their implications for conservation. *North American Fungi* 8(16): 1-32.
- Halling, R.E., Osmundson, T.W. and Neves, M.A. 2008. Pacific boletes: implications for biogeographic relationships. *Mycological Research* 112: 437-447.
- Hernández-Cerda, M.E., y Carrasco-Anaya, G. 2007. Rasgos climáticos más importantes. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, Universidad Nacional Autónoma de México, 57-72.
- Hibbett, D.S., Pine, E., Langer, E., Langer, G. and Donoghue, M.J. 1997. Evolution of gilled mushrooms and puffballs inferred from ribosomal DNA sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94: 12002-12006.
- Hibbett, D.S. 2001. Shiitake mushrooms and molecular clocks: historical biogeography of *Lentinula*. *Journal of Biogeography* 28: 231-241.
- Hibbett, D.S. y Thorn, R.G. 2001. Basidiomycota: Homobasidiomycetes In: D.J. McLaughlin, E.G. McLaughlin, P.A. Lemke (eds.). *The Mycota VII, Part B. Systematics and Evolution*, Springer-Verlag, Berlin. pp. 121–168.

- Hibbett, D.S., Binder, M., Bischoff, J.F., Blackwell, M., Cannon, P.F., Eriksson, O.E., Huhndorff, S., Jamesg, T., Kirkd, P., Lückingf, R., Lumbsch, H., Lutzonig, F., Mathenya, P., McLaughlinh, D., Powell, M., Redheadj, S., Schoch, C., Spataforak, J., Stalpersl, J., Vilgalysg, R., Aimem, M., Aptrootn, A., Bauero, R., Begerowp, D., Bennyq, G., Castleburym, L., Crousl, P., Dair, Y., Gamsl, W. and Geiser, D., 2007. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological research* 111: 509-547.
- Horak, E. 1983. Mycogeography in the south Pacific region: Agaricales, Boletales. *Australian Journal of Botany, Supplementary Series, Supplement 10*: 1-41.
- Kim, S.Y. and Jung, H.S. 2000. Phylogenetic relationships of the Aphylophorales inferred from sequence analysis of nuclear small subunit ribosomal DNA. *Journal of Microbiology* 38(3): 122-131.
- Kirk, P.M., Cannon P.F., Minter D.W., Stalpers J.A. 2008. *Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi*. 10 Ed. International Mycological Institute, CAB International, Wallingford.
- Lange, L. 1974. The distribution of Macromycetes in Europe. *Dansk Botanisk Arkiv* 30: 7-15.
- Lichtwardt, R.W. 1995. Biogeography and fungal systematics. *Canadian Journal of Botany* 73 (Suppl. 1): 731-737.
- Linder, H.P. 2001. Plant diversity and endemism in sub-Saharan tropical Africa. *Journal of Biogeography* 28: 169-182.
- Lumbsch, T.H., Buchanan, P.K., May, T.W. and Mueller, G.M. 2008. Phylogeography and biogeography of fungi. *Mycological Research* 112: 423-424.

- Methven, A.S. 1990. Genus *Clavariadelphus* in North America. J. Cramer.
- Molina, R., Horton, T.R., Trappe, J.M. and Marcot, B.G. 2011. Addressing uncertainty: how to conserve and manage rare or little-known fungi. *Fungal Ecology* 4: 134-146.
- Moore, D., Nauta, M.M., Evans, S.E. and Rotheroe, M. 2008. Fungal conservation: issues and solutions. Cambridge University Press. United States of America.
- Morrone, J.J. 2009. Evolutionary biogeography: an integrative approach with case studies. Columbia University Press, New York. 301 p.
- Morrone, J.J. 2010. Fundamental biogeographic patterns across the Mexican Transition Zone: an evolutionary approach. *Ecography* 33: 355-361.
- Navarro-Sigüenza, A.G., Lira-Noriega, A., Peterson, A.T., Oliveras-Delta, A. y Gordillo-Martínez, A. 2007. Diversidad, endemismo y conservación de las aves. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. pp. 461-484.
- Pine, E.M., Hibbett, D.S. and Donoghue, M.J. 1999. Phylogenetic relationships of cantharelloid and clavarioid Homobasidiomycetes based on mitochondrial and nuclear rDNA sequence. *Mycologia* 91: 944-963.
- Pringle, A. and Vellinga, E.C. 2006. Last chance to know? Using literature to explore the biogeography and invasion biology of the death cap mushroom *Amanita phalloides* (Vaill. ex Fr.: Fr.) Link. *Biological Invasions* 8: 1131-1144.
- Rapoport, E.H. 1975. Areografía: estrategias geográficas de las especies. Fondo de Cultura Económica. México.
- Rapoport, E.H. y Monjeau, J.A. 2001. Areografía. In: Llorente, J. and Morrone J.J. (eds.). Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos,

- métodos y aplicaciones. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp. 23-30.
- Redhead, S.A. 1989. A biogeographical overview of the Canadian mushroom flora. *Canadian Journal of Botany* 67: 3003-3062.
- Rinaldi, A.C., Comandini, O. and Kuyper, T.W. 2008. Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal Diversity* 33: 1-45.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario oficial de la Federación. México, 30 de diciembre.
- Senn-Irlet, B. Heilmann-Clausen, J. Genney, D. Danhlberg, A. 2007. Guidance for the conservation of fungi. Prepared for the Convention on the Conservation of European and natural habitats. European Council. Document T-PVS 13 (rev). Strasbourg 17 Oct 2007 (accessed 20.02.14).
- Serrato, A., Ibarra-Manríquez G. and Oyama K. 2004. Biogeography and conservation of the genus *Ficus* (Moraceae) in México. *Journal of Biogeography* 31: 475-485.
- Shiryaev, A. 2009. Diversity and distribution of clavarioid fungi in Estonia. *Folia Cryptogamica Estonica* 45: 65-80.
- Skrede, I., Engh, I., Binder, M., Carlsen, T., Kauserud, H. and Bendiksby, M. 2011. Evolutionary history of Serpulaceae (Basidiomycota): molecular phylogeny, historical biogeography and evidence for a single transition of nutritional mode. *BMC Evolutionary Biology* 11: 230-243.

- Suárez-Mota M, Téllez-Valdés O, Lira-Saade R y Villaseñor J.L. 2013. Una regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences* 91(1): 93-105.
- Tedersoo, L., and Nara, K. 2010. General latitudinal gradient of biodiversity is reversed in ectomycorrhizal fungi. *New Phytologist* 185(2): 351-354.
- Villegas-Ríos M., De Luna, E., Cifuentes, J. y Estrada-Torres, A. 1999. Phylogenetic studies in Gomphaceae sensu lato (Basidiomycetes). *Mycotaxon* 70: 127-147.
- Watling, R. 2001. The relationships and possible distributional patterns of boletes in south-east Asia. *Mycological Research* 105: 1440-1448.
- Wu, Q.-X. and Mueller, G.M. 1997. Biogeographic relationships between the macrofungi of temperate eastern Asia and eastern North America. *Canadian Journal of Botany* 75 (12): 2108-2116.

CAPÍTULO 4, Análisis de trazos de las especies pertenecientes al
orden Gomphales (Fungi: Basidiomycota) en México

Análisis de trazos de las especies pertenecientes al orden Gomphales (Fungi: Basidiomycota) en México

Resumen. El orden Gomphales es considerado un grupo monofilético. Está constituido por tres familias, que incluyen aproximadamente 18 géneros y 336 especies con una amplia distribución mundial, aunque la mayoría de los registros son del hemisferio norte. El objetivo de este trabajo es llevar a cabo un análisis panbiogeográfico de las especies del orden Gomphales que habitan en México, con el fin de ahondar en el conocimiento de su distribución y proponer con base en este grupo de organismos zonas de conservación. Se conjuntó una base de datos a partir de la revisión de literatura especializada, bases de datos institucionales y ejemplares de los herbarios. Posteriormente, se dibujaron los trazos individuales de cada una de las especies utilizando el programa ArcView 3.2 y la extensión del programa trazos. A partir de la superposición y comparación de cada uno de los trazos individuales, se generaron los trazos generalizados y donde convergen estos últimos se detectaron los nodos panbiogeográficos. La base de datos está compuesta por 3484 registros, donde están representados 10 géneros y 63 especies de Gomphales para México. Los ejemplares pertenecientes al género *Ramaria* solamente se determinaron a nivel de subgénero. De 34 taxones no se obtuvieron los trazos individuales, debido a que se distribuyen en México en sólo una o dos localidades de recolecciones. Finalmente, se obtuvieron 37 trazos individuales de ocho de los géneros y de 29 especies. Se obtuvieron seis trazos generalizados.

Palabras clave: Conservación, biogeografía, *Ramaria*, *Gomphus*, *Clavariadelphus*, distribución

Key words: Conservation biogeography, *Ramaria*, *Gomphus*, *Clavariadelphus*, distribution

INTRODUCCIÓN

La biogeografía de los hongos llamada también “Mycogeografía *sensu* Lichtwardt (1995)” ha emergido lentamente, pero en las últimas décadas ha estado impulsada por un auge en la investigación taxonómica molecular, teniendo una historia reciente en comparación con la de otros grupos de organismos (Demoulin 1973; Lange 1974; Eckblad 1981; Redhead 1989; Baroni *et al.* 1997; Wu y Mueller 1997; Hibbett 2001; Watling 2001; Pringle y Vellinga 2006; Lumbsch *et al.* 2008; Skrede *et al.* 2011).

La historia biogeográfica de los hongos ha estado influida de manera importante por las ideas dispersionistas, ya que desde un principio se pensaba que los organismos que se dispersan fácilmente por medio de esporas (como es el caso de los hongos) tienen una distribución amplia, por lo que no poseen patrones biogeográficos interesantes (Peay *et al.* 2010). En casi todos los grupos, se ha asumido que la dispersión a larga distancia es el principal agente que ha causado una distribución amplia. Estos estudios han sido más bien escasos, pero en la última década han tenido cierto auge. Se tienen por ejemplo los estudios de *Schizophyllum commune* (James *et al.* 1999) *Lentinula* (Hibbet 2001), *Gonoderma* (Moncalvo y Buchanan 2008), *Amanita muscaria* (Geml *et al.* 2008), *Tylopilus* (Halling *et al.* 2008)

Hysterangiales (Hosaka *et al.* 2008), *Heterbasidion annosum* (Lizard *et al.* 2008), *Fusarium* (Summerell *et al.* 2010), *Serpula* (Skrede *et al.* 2011) y *Morchella* (O'Donnell *et al.* 2011), entre otros. Los factores y agentes responsables de esta distribución todavía son poco conocidos (Coetzee *et al.* 2000; Kerrigan *et al.* 1995) y se ha asumido que el agente principal ha sido el viento (anemocoria). En la mayoría de los casos se han malinterpretado los eventos de vicarianza o éstos no han sido considerados. Por ejemplo Skrede *et al.* (2011) consideran que las especies del género *Serpula* tuvieron su centro de origen en América del Norte y después se dispersaron a Eurasia, a través de un corredor que conectó a ambas masas continentales (el estrecho de Bering) que después se rompió, al menos parcialmente. A este proceso de aislamiento lo reconocen como un proceso de vicarianza (sic).

Recientemente y mediante investigaciones más profundas basadas en nuevas tecnologías, como son los estudios moleculares y biogeográficos, es que han empezado a cambiar las ideas sobre la distribución de los hongos (Lumbsch *et al.* 2008; O'Donnell *et al.* 2011).

Los procesos biogeográficos como la dispersión, la vicarianza y la extinción, influyen en la distribución geográfica de los hongos, como en todos los organismos vivos (Vilgalys y Sun 1994; Mueller *et al.* 2001; Luna-Vega 2008; Morrone 2009; Skrede *et al.* 2011). Existen evidencias que sugieren que las mismas barreras geográficas que limitan a las plantas y a los animales en su distribución, también afectan a los hongos, como son los océanos y las cadenas montañosas (Lumbsch *et al.* 2008; Peay *et al.* 2010; Skrede *et al.* 2011).

El orden Gomphales es considerado un grupo monofilético de acuerdo con las hipótesis de Hosaka *et al.* (2006) y Giachini *et al.* (2010). Está constituido por tres familias, que incluyen aproximadamente 18 géneros y 336 especies de amplia distribución mundial, aunque la mayoría de los registros son del hemisferio norte (Kirk *et al.* 2008). *Ramaria* es el más diverso del orden Gomphales, pues a nivel mundial se han descrito cerca de 180 especies (Kirk *et al.* 2008; Giachini 2011), pero se especula que deben existir muchas más (Exeter *et al.* 2006). Dentro del orden Gomphales existen géneros monoespecíficos como *Austrogautieria*, *Kavinia*, *Protogautieria*, *Pseudogomphus* y *Terenodon*. Los integrantes de este orden presentan una gran variación morfológica, ya que pueden ser organismos hipógeos o epígeos, solitarios o gregarios, infundibuliformes, coraliformes, clavados o irregularmente ramificados. Las hipótesis filogenéticas basadas en datos moleculares sugieren una relación cercana a los órdenes Geastrales, Phallales e Hysterangiales (Colgan *et al.* 1997; Hibbett *et al.* 1997; Humpert *et al.* 2001; Hosaka *et al.* 2006; Giachini 2004; Giachini *et al.* 2010).

La panbiogeografía fue propuesta por Croizat (1958, 1964). Este programa de investigación enfatiza el análisis de las localidades a todo lo largo de la distribución de los taxones (Craw *et al.* 1999) y presupone que existe una estrecha correlación entre la historia de la biota y la Tierra. La idea principal de Croizat consiste en la superposición de dos etapas en la historia de cualquier área biogeográfica: en la etapa de movilidad en ausencia de barreras y bajo condiciones favorables, los organismos expanden su área de distribución; y la etapa de inmovilidad, una vez que las áreas de dispersión alcanzan los límites establecidos por barreras infranqueables, puede ocurrir fragmentación por surgimiento de

barreras intermedias, lo que a través del tiempo da lugar a la formación de nuevas especies, proceso que se conoce como vicarianza (Craw *et al.* 1999; Ramírez-Barahona *et al.* 2009).

El análisis panbiogeográfico consiste, en primer lugar, en unir puntos (los registros puntuales de un taxón) en un mapa con el criterio de distancia mínima, formando líneas denominadas trazos individuales, que constituyen las coordenadas primarias de un taxón en un lugar y representan la distribución espacial en la que la evolución del taxón ha tenido y sigue teniendo lugar (Contreras-Medina y Eliosa 2001; Grehan 2001). En este método inicialmente se localizan las dos localidades más cercanas y se conectan por medio de una línea recta; luego, este par de localidades se conectan con la más cercana a cualquiera de las dos; después, se une la localidad más cercana a cualquiera de las tres, y así sucesivamente hasta terminar con todos los puntos de registro (Morrone 2004).

Posteriormente, al superponer diferentes trazos individuales se buscan sus coincidencias, obteniendo trazos generalizados que representan patrones de distribución actuales de una biota ancestral ampliamente distribuida en el pasado y fragmentada por eventos físicos como fenómenos tectónicos, climáticos, cambios en el nivel del mar, entre otros (Craw *et al.* 1999). En los sitios donde diferentes trazos generalizados convergen se identifican los nodos, que indican áreas complejas donde biotas ancestrales tuvieron contacto biótico y/o físico (Contreras-Medina y Eliosa 2001; Grehan 2001).

Las áreas naturales protegidas cada día son más valoradas, no solamente desde el punto de vista ecológico, sino económico y social, sobre todo porque en ellas habitan especies amenazadas. Las primeras listas de especies en alguna

categoría de riesgo para México se lograron a partir de encuestas enviadas por los taxónomos especialistas de los grupos, sin embargo estas asignaciones son subjetivas y deben incluir los hábitats amenazados (Orlans 1993). Existe una publicación en donde se enumeran las especies protegidas la llamada “Norma Oficial Mexicana NOM-059”, (SEMARNAT 2012) donde se publican 46 especies de hongos en la categoría de amenazadas, en peligro de extinción y sujetas a protección especial.

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo un análisis panbiogeográfico de las especies del orden Gomphales que habitan en México, con el fin de ahondar en el conocimiento de su distribución y proponer con base en este grupo de organismos zonas de conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de la revisión de literatura especializada, bases de datos institucionales (REMIB), además de la revisión de ejemplares de los herbarios CIRB, ENCB, EBUM, FCME, FEZA, HEMIM, IBUG, IZTA, MEXU, TLMX, UJAD, CIAD, UTCV y XAL (Index Herbariorum, <http://sweetgum.nybg.org/ih>), se conjuntó una base de datos de géneros, subgéneros y especies de hongos Gomphales compuesta por diferentes campos, que comprenden entre otros, altitud, coordenadas geográficas, tipos de vegetación, localidad, nombre y uso común, hábitat, recolector, determinador y herbario donde está depositado el ejemplar. Fueron excluidos de esta base los ejemplares obtenidos en mercados debido a lo incierto de los datos originales de la localidad. El material fue determinado en lo posible a especie. Con

el fin de facilitar la elaboración de los mapas de distribución para México, todos los registros fueron georreferenciados a partir de mapas topográficos de escala 1:250,000 y 1:50,000 elaborados por el INEGI (2012).

Para llevar a cabo el análisis panbiogeográfico, se dibujaron los trazos individuales de cada una de las especies utilizando el programa ArcView 3.2 (ESRI 1999) y la extensión del programa trazos (Rojas 2004). Especies con dos localidades no se utilizaron en el análisis debido a que el árbol resultante es la única posibilidad y no es informativo relaciones sobre biogeográficas (Craw *et al.* 1999). A partir de la superposición y comparación de cada uno de los trazos individuales, se generaron los trazos generalizados y donde convergen estos últimos se detectaron los nodos panbiogeográficos

A partir del análisis de trazos, se identificaron las posibles áreas para conservar para el orden Gomphales, además de comparar estos resultados con otros grupos de organismos.

RESULTADOS

Se conjuntó una base de datos compuesta por 3484 registros, donde están representados 10 géneros y 63 especies de Gomphales para México (Cuadro 1). Los ejemplares pertenecientes al género *Ramaria* solamente se determinaron a nivel de subgénero, debido a que se carecía de la suficiente información sobre todo de la coloración en freco de los ejemplares carácter sumamente importante para su identificación. De 34 taxones no se obtuvieron los trazos individuales, debido a que el conocimiento actual de su distribución en México se restringe solo una o dos

localidades de recolecciones. Finalmente, se obtuvieron 37 trazos individuales de ocho de los géneros y de 29 especies. .

Cuadro 1. Especies de Gomphales incluidas en este trabajo

Género	Especie
<i>Beenakia</i>	<i>B. fricta</i> Maas Geest. (1967)
<i>Clavariadelphus</i>	<i>C. americanus</i> (Corner) Methven (1989)
	<i>C. caespitosus</i> Methven (1989)
	<i>C. cokeri</i> V.L.Wells & Kempton (1968)
	<i>C. fasciculatus</i> Methven & Guzmán (1989)
	<i>C. occidentalis</i> Methven (1989)
	<i>C. subfastigiatus</i> V.L. Wells & Kempton 1968
	<i>C. truncatus</i> (Quél.) Donk (1933)
	<i>C. unicolor</i> (Berk. & Ravenel) Corner (1950)
	<i>Clavariadelphus</i> sp. 1
	<i>Clavariadelphus</i> sp. 2
	<i>Clavariadelphus</i> sp. 3
<i>Gautieria</i>	<i>G. mexicana</i> (E.Fisch.) Zeller & C.W. Dodge (1934)
	<i>G. chilensis</i> Zeller & C.W. Dodge (1934)
<i>Gloeocantarellus</i>	<i>G. pallidus</i> (Yasuda) Giachini & Castellanos (2011)
	<i>G. purpurascens</i> (Hesler) Singer (1945)
<i>Gomphus</i>	<i>G. albidocarneus</i> Villegas (2010)
	<i>G. bonarii</i> (Morse) Singer (1945)
	<i>G. calakmulensis</i> Villegas & Cifuentes (2010)
	<i>G. clavatus</i> (Pers.) Gray (1821)
	<i>G. pleurobrunnescens</i> Villegas & Kong (2010)
	<i>Gomphus</i> sp. 1
	<i>Gomphus</i> sp. 2
	<i>Gomphus</i> sp. 3
	<i>Gomphus</i> sp. 4
<i>Kavinia</i>	<i>K. alboviridis</i> (Morgan) Gilb. & Budington (1970)
<i>Lentaria</i>	<i>L. surculus</i> (Berk.) Corner (1950)
	<i>Lentaria</i> sp. 1
	<i>Lentaria</i> sp. 2
	<i>Lentaria</i> sp. 3
<i>Phaeoclavulina</i>	<i>P. abietina</i> (Pers.) Giachini (2011)
	<i>P. argentea</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011)
	<i>P. articulotela</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011)
	<i>P. campoi</i> (Speg.) Giachini (2011)
	<i>P. cokeri</i> (R.H. Petersen) Giachini (2011)
	<i>P. curta</i> R.H. Petersen & M.Zang (1986)
	<i>P. cyanocephala</i> (Berk. & M.A.Curtis) Giachini (2011)
	<i>P. flaccida</i> (Fr.) Giachini (2011)
	<i>P. eumorpha</i> (P.Karst.) Giachini (2011)

P. gigantea (Pat.) Giachini (2011)
P. insignis (Pat.) Giachini (2011)
P. longicaulis (Peck) Giachini (2011)
P. roellinii (Schild) Giachini (2011)
P. zippelii (Lév.) Giachini (2011)
Phaeoclavulina sp. 1
Phaeoclavulina sp. 2
Phaeoclavulina sp. 3
Phaeoclavulina sp. 4
Phaeoclavulina sp. 5
Phaeoclavulina sp. 6
Phaeoclavulina sp. 7
Phaeoclavulina sp. 8
Turbinellus *T. floccosus* (Schwen.) Earle (1909)
T. kaufmanii (A. H. Sm.) Giachini (2011)

A partir de los trazos individuales se dibujaron los trazos generalizados, sobreponiendo y comparando cada uno de los trazos individuales de tal forma que existiera congruencia en su distribución. Los trazos generalizados sugieren historias comunes en la composición de sus biotas. Se obtuvieron seis trazos generalizados (Figuras 1-6).

El trazo generalizado uno incluye a las especies de los géneros *Clavariadelphus*, *Gloeocantarelus*, *Gautieria*, *Ramaria*, *Phaeoclavulina* y *Turbinellus*, se ubica principalmente en la zonas montanas del país en altitudes entre los 1000 a 39000 msnm en bosque de coníferas, encino y mesófilo de montaña, estos géneros principalmente se han ubicado en zonas templadas del hemisferio norte.

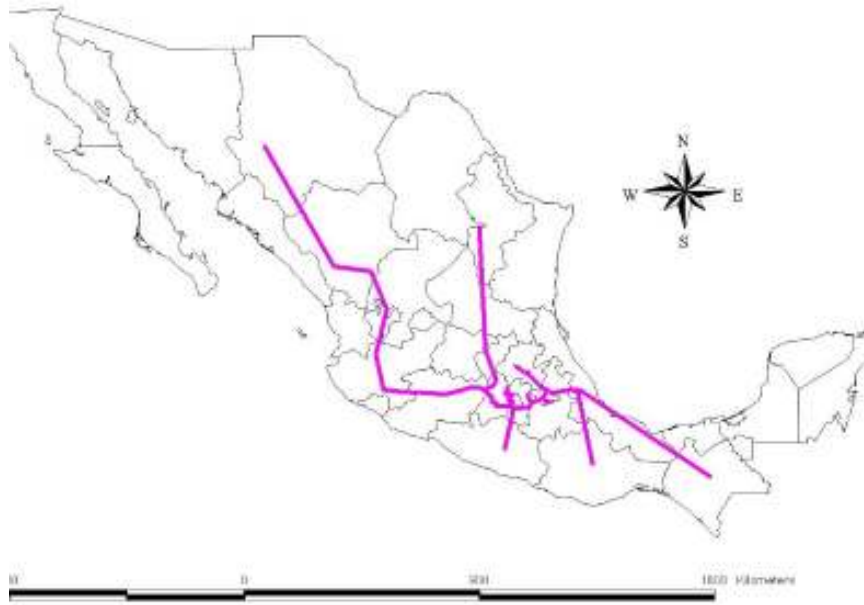


Figura 1. Trazo generalizado uno

Trazo generalizado dos. Incluye a *Gomphus albidocarneus*, *G. pleurobrunnescens*, *Phaeoclavulina zippelii*, *P. cokeri*, *P. roellini*, *P. sp. 5*, *Lentaria surculus*, *L. sp. 1* y *L. sp. 3*, ubicado en el sureste del país, especies que se desarrollan principalmente en zonas tropicales y subtropicales.



Figura 2. Trazo generalizado dos

Trazo generalizado tres incluye a *Phaeoclavulina articulotela* y *P. cyanocephala*, se ubica en el sur del país de oeste a este, son especies que se desarrollan en zonas tropicales y subtropicales.

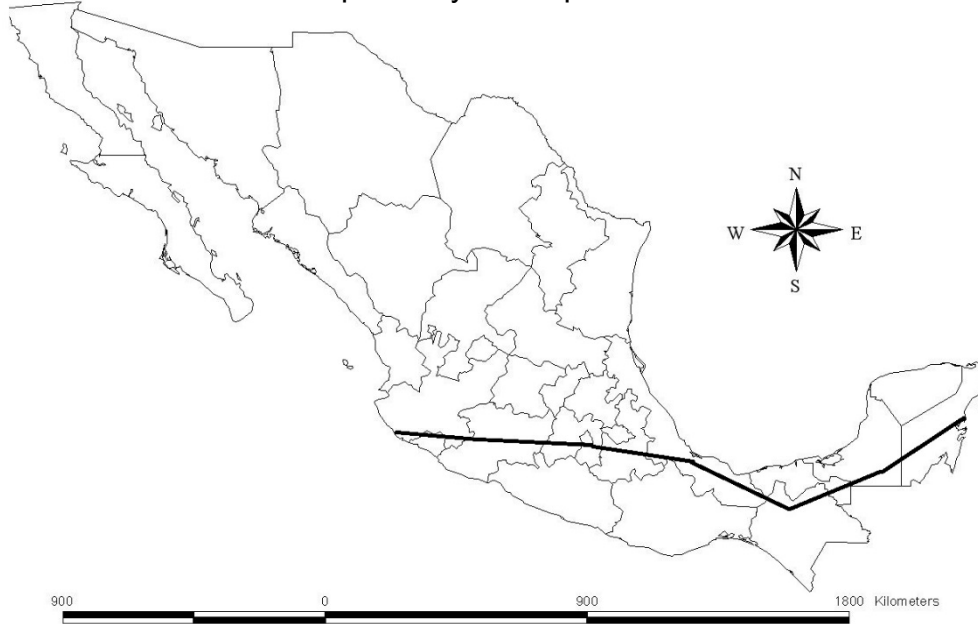


Figura 3. Trazo generalizado tres

Trazo generalizado cuatro *Phaeoclavulina campoi*, *P. argentea*, *P. sp. 7*, *Clavariadelphus cokeri*, *C. subfastigiatus* y *Turbinellus kauffmanii*, ubicado en la parte central del país, especies que se desarrollan en zonas templadas.

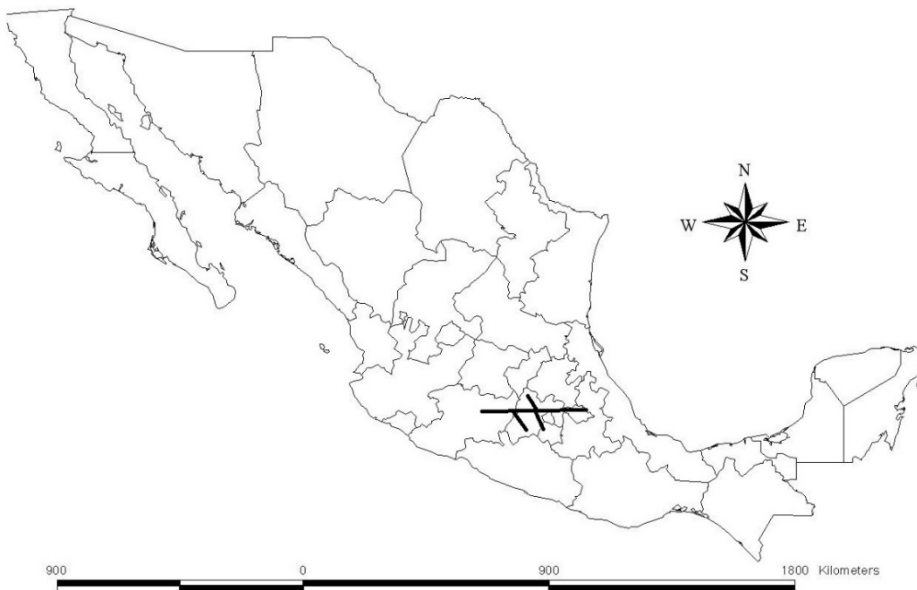


Figura 4. Trazo generalizado cuatro

Trazo generalizado quinto *Phaeoclavulina abietina*, *Gomphus* sp. 1 *Clavariadelphus caespitosus* y *C. occidentalis*, se ubica en la parte central del país, se desarrollan en zonas templadas.

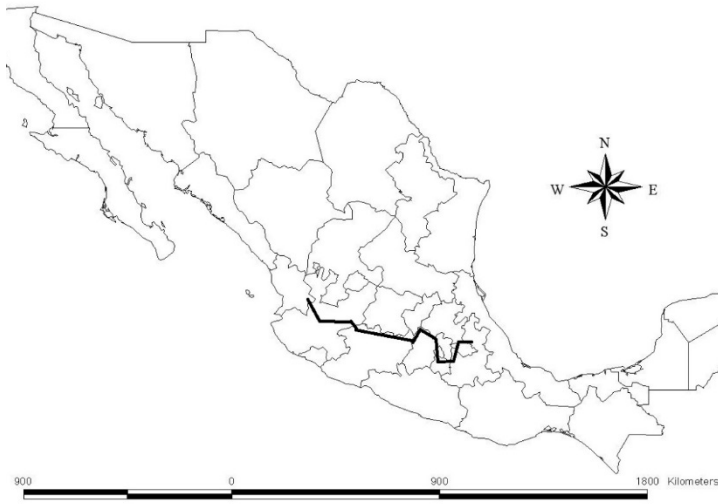


Figura 5. Trazo generalizado quinto

Trazo generalizado seis. *Clavariadelphus unicolor*, *C. truncatus*, *Phaeoclavulina curta* y *Turbinellus floccosus*, se ubica en la parte central y este del país y estas especies se desarrollan en zonas templadas



Figura 6. Trazo generalizado sexto

Las especies que no formaron parte de los trazos generalizados se encuentran en el Cuadro 2 Figura 7.

Clavariadelphus fasciculatus, *Gomphus clavatus* y *Phaeoclavulina insignis*, no formaron parte de ninguno de los trazos generalizados

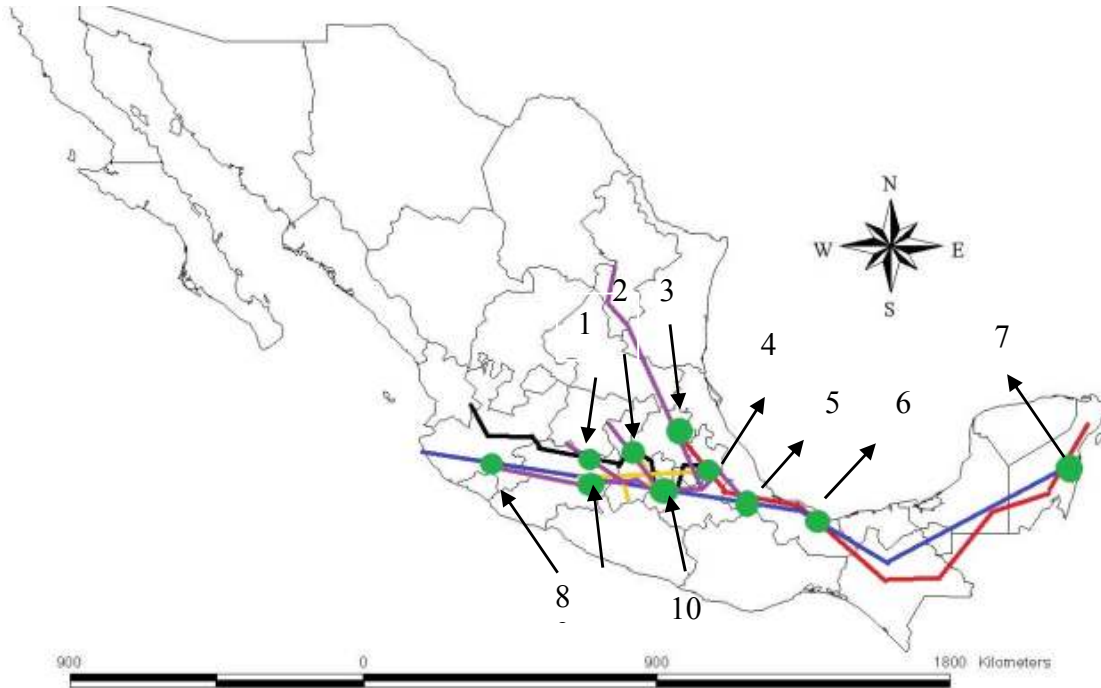


Figura 7. Trazos generalizados y nodos encontrados con base en la distribución de las especies del orden Gomphales.

Cuadro 2. Especies que no formaron parte de los trazos generalizados

Género	Especie	Localidad
<i>Beenakia</i>	<i>B. fricta</i> Maas Geest. (1967)	Veracruz (Amatlán de los Reyes)
<i>Clavariadelphus</i>	<i>C. americanus</i> (Corner) Methven (1989)	Distrito Federal (Xochimilco)
	<i>Clavariadelphus</i> sp. 1	Estado de México (Amecameca)
	<i>Clavariadelphus</i> sp. 2	Michoacán (Zitácuaro)
	<i>Clavariadelphus</i> sp. 3	Estado de México (Amanalco)
<i>Gautieria</i>	<i>G. chilensis</i> Zeller & C.W. Dodge (1934)	Estado de México (Amecameca)
	<i>G. mexicana</i> (E.Fisch.) Zeller & C.W. Dodge (1934)	Tlaxcala (Zitlatepec de Trinidad Sánchez)

<i>Gloeocantarellus</i>	<i>G. pallidus</i> (Yasuda) Giachini & Castellanos (2011)	Veracruz (Totutla, Xalapa)
	<i>G. purpurascens</i> (Hesler) Singer (1945)	Veracruz (Xalapa)
Gomphus	<i>G. albidocarneus</i> Villegas (2010)	Campeche (Calakmul)
	<i>G. bonarii</i> (Morse) Singer (1945)	Estado de México (Toluca)
	<i>G. calakmulensis</i> Villegas & Cifuentes (2010)	Campeche (Calakmul)
	<i>G. clavatus</i> (Pers.) Gray (1821)	
	<i>Gomphus</i> sp. 2	Chiapas (Ocosingo)
	<i>Gomphus</i> sp. 3	Chiapas (Ocosingo)
	<i>Gomphus</i> sp. 4	Veracruz (Xico)
<i>Kavinia</i>	<i>K. alboviridis</i> (Morgan) Gilb. & Budington (1970)	Tlaxcala (Ixtenco)
<i>Lentaria</i>	<i>Lentaria</i> sp. 2	Campeche (Calakmul)
<i>Phaeoclavulina</i>	<i>P. flaccida</i> (Fr.) Giachini (2011)	Hidalgo (Molango de Escamilla)
	<i>P. eumorpha</i> (P.Karst.) Giachini (2011)	Tlaxcala (Tlaxco)
	<i>P. gigantea</i> (Pat.) Giachini (2011)	Campeche (Calakmul)
	<i>P. longicaulis</i> (Peck) Giachini (2011)	Hidalgo (Molango de Escamilla)
	<i>Phaeoclavulina</i> sp. 1	Jalisco (Guadalajara)
	<i>Phaeoclavulina</i> sp. 2	Jalisco (San Miguel el Alto)
	<i>Phaeoclavulina</i> sp. 3	Jalisco (San Miguel el Alto)
	<i>Phaeoclavulina</i> sp. 4	Oaxaca (San Felipe del Agua)
	<i>Phaeoclavulina</i> sp. 6	Hidalgo (Molango de Escamilla)
	<i>Phaeoclavulina</i> sp. 8	Tabasco (Villermosa)

DISCUSIÓN

Para llevar a cabo un análisis micogeográfico, es necesario tener una adecuada identificación de las especies antes de generar algunas hipótesis.

Desafortunadamente la identificación con base en morfología de los hongos

pertenecientes al orden Gomphales es deficiente, al igual que la de otros muchos grupos de hongos, debido principalmente a la falta de especialistas, a la carencia de suficiente material bibliográfico como claves y descripciones, además de que muchas veces la identificación se basa en material de regiones distintas y alejadas, por lo que puede darse el caso de que sean especies distintas. Un ejemplo de ello fue mencionado por Zhang *et al.* (2004), quienes detectaron que muchas especies de *Amanita* de América del Norte fueron nombradas basadas en materiales europeos y que deberían considerarse como especies distintas. También se da el caso de que por un mal secado del material, su deficiente conservación en las colecciones y/o una mala toma de datos en campo se llegue a confusión e identificaciones erróneas. Por ejemplo, las especies pertenecientes al subgénero *Laeticolora*, el más grande dentro del género *Ramaria* es difícil, ya que la morfología externa e interna de las diferentes especies es muy similar y para su determinación se utilizan datos de coloración precisos en fresco de diferentes partes del basidioma.

Todavía existen muchas áreas en México inexploradas (como las zonas tropicales o subtropicales) y el encontrar registros nuevos puede modificar dramáticamente las hipótesis sobre el origen, distribución y evolución de las especies en estudio.

Por otra parte, los patrones de distribución de los hongos suelen ser sumamente complicados porque muchas especies presentan una naturaleza críptica, esto es, algunos organismos con una morfología similar son filogenéticamente distintos (Hosaka *et al.* 2008), por lo que erróneamente han sido englobados en un solo linaje. Recientemente se ha demostrado que algunas especies morfológicamente similares pueden ser especies distintas

Los nodos panbiogeográficos se han interpretado como zonas de convergencia tectónica y biótica (Morrone, 2004) y han sido empleados para proponer áreas para conservación (Álvarez-Mondragón y Morrone 2004, Martínez-Aquino *et al.* 2007). En el presente trabajo encontramos 10 nodos que se ubican principalmente en la Faja Volcánica Transmexicana. Esto puede deberse a varios factores, entre ellos que las áreas de recolección de hongos mexicanos han estado históricamente cerca de las principales urbes, como es el DF y zona conurbada. Otras zonas del país han sido pobremente exploradas, sobre todo aqueéllas ubicadas en los estados mexicanos más norteños.

La Faja Volcánica Transmexicana es un área que tradicionalmente se ha considerado como muy compleja en origen y ambiente, altamente diversa y con un gran número de taxones endémicos. De acuerdo con el estudio de la distribución de las especies del orden Gomphales, esta área es biodiversa, ya que presenta una gran cantidad de nodos, por lo que es posible considerarla como un "gate" o un "super-nodo" (Torres-Miranda y Luna-Vega, 2007). La distribución de las especies de este estudio es congruente con la de muchos otros grupos de organismos, particularmente en la zona central (Escalante 2005; Contreras-Medina 2007; Sanginés-Franco 2011).

CONCLUSIONES

Las especies mexicanas de Gomphales siguen un patrón de distribución de acuerdo con las principales montañas mexicanas, y anidado. El trazo 1 engloba a la mayoría de los otros trazos. No obstante, tenemos un trazo que conecta las zonas bajas del

sureste mexicano a altitudes de 1000 a 3900 msnm, en tipos de vegetación bosque de coníferas, encino y mesófilo de montaña, formado principalmente por especies que tal vez son saprobias, o que están asociadas con especies de plantas vasculares diferentes a los encinos y pinos.

Los hongos gomfáceos habitan en varias zonas de conservación de varios tipos y están asociadas con los grandes bosques de coníferas del componente mexicano de montaña. Aunque se había dicho que muchas de las especies habitan en áreas templadas del hemisferio norte, como es el caso de *Clavariadelphus* (Methven 1990, Shiryayev 2009 y Tedersoo *et al.* 2010) muchas de ellas llegan a las montañas tropicales e incluso a zonas bajas, con tipos de vegetación tropicales.

Existen varios procesos que han actuado y que han oscurecido ciertas causas históricas de la distribución geográfica y los medios de la especiación dentro de los Gomphales. Entre ellos se reconocen:

a) los patrones de distribución geográfica puede estar alterados por la intervención del hombre, como es el caso de la introducción involuntaria o voluntaria de especies y/o por la transferencia de sustratos y/o el comercio de micelio (Lichtwardt 1995; Vellinga 2004; Zang *et al.* 2004). Los hongos asociados con plantas se han dispersado cuando los árboles hospederos se plantan en diferentes sitios para la agricultura (Garrido 1986; Dunstan *et al.* 1998).

b) las recolecciones de hongos han estado sesgadas a las zonas templadas y subtropicales del norte, y aún en esas zonas se considera que el inventario es sumamente incompleto.

c) las tasas de supervivencia de las esporas de las diferentes especies de hongos no se conocen con claridad, así como la eficiencia en la colonización de las mismas.

Agradecimientos. Proyecto PAPIIT IN215914, al posgrado en ciencias biológicas de la UNAM y a la beca otorgada por CONACYT con el número 207211

LITERATURA CITADA

Baker, G.E. and Meeker, J.A. 1972. Ecosystems, mycologists and the geographical distribution of fungi in the central Pacific. *Pacific Science* 26: 418-432.

Baroni, J.T., Lodge, D.J. and Cantrell, S.A. 1997. Tropical connections: sister species and species in common between the Caribbean and the Eastern United States. *McIlvainea* 13: 5-18.

Berbee, M.L. and Taylor, J.W. 2010. Dating the molecular clock in fungi-how close are we?. *Fungal Biology Reviews* 24: 1-16.

Bergemann, S.E., Smith, M. A., Parrent, J. L., Gilbert, G. S., and Garbelotto, M. 2009. Genetic population structure and distribution of a fungal polypore *Datronia caperata* (Polyporaceae), in mangrove forests of Central America. *Journal of Biogeography* 36: 266-279.

Bougher, N.L. and Syme, K. 1998. *Fungi of Southern Australia*. Perth: University of Western Australia Press.

Brickford, D., Lohman, D.J., Sodhi, N.S., Ng, P.K.L., Winker, K., Ingram, K.K. and Das, I. 2006. Cryptic species as a window on biodiversity and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 22 (3): 146-155.

- Bridge, P.D., Sponer, B.M. and Roberts P.J. 2005. The impact of molecular data in fungal systematics. *Advances in Botanical Research* 42: 33-67.
- Bruns, T.D., White, T.J. and Taylor, J.W. 1991. Fungal molecular systematics. *Annual Review of Ecology Systematics* 22: 525-564.
- Burnett, J. 2003. *Fungal populations and species*. Oxford University Press. Reino Unido.
- Chapela, I.H. and Garbelotto M. 2004. Phylogeography and evolution in matsutake and close allies inferred by analyses of ITS sequences and AFLPs. *Mycologia* 96: 730-741.
- Chapela, I.H., Osher, L.J., Horton T.R. and Henn M.R. 2001. Ectomycorrhizal fungi introduced with exotic pine plantations induce soil carbon depletion. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1733-1740.
- Cifuentes, J. 1996. Estudio taxonómico de los géneros *Hidnoides* estipitados (Fungi: Aphyllophorales) en México. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Coetzee, M., Wingfield, P.A., Harrington, B.D., Dalevi, T.C.D., Coutinho, T.A. and Wingfield, M.J. 2000. Geographical diversity of *Armillaria mellea* s.s. based on phylogenetic analysis. *Mycologia* 92: 105-113.
- Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I. and Morrone, J. 2007. Application of parsimony analysis of endemism to Mexican gymnosperm distributions: grid-cells, biogeographical provinces and track analysis. *Biological Journal of the Linnean Society*, 92(3), 405-417.
- Crisci, J.V., Gamundi, I.J., and Cabello, M. 1988. A cladistic analysis of the genus *Cyttaria* (Fungi-Ascomycotina). *Cladistics* 4: 279-290.

- Crisp, M. (2001) Historical biogeography and patterns of diversity in plants, algae and fungi: introduction. *Journal of Biogeography* 28: 153-155.
- Demoulin, V. 1973. Phytogeography of the fungal genus *Lycoperdon* in relation to the opening of the Atlantic. *Nature* 242: 123-125.
- DeSalle, R., Egan, M.G. and Siddall, M. 2005. The unholy Trinity: taxonomy, species delimitation and DNA barcoding. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 360: 1905-1916.
- Dettman, J.R., Jacobson, D.J., Turner, E., Pringle, A. and Taylor. J.W. 2003. Reproductive isolation and phylogenetic divergence in *Neurospora*: comparing methods of species recognition in a model eukaryote. *Evolution* 57: 2721-2741.
- Dunham, S.M., O'Dell, T.E. and Molina, R. 2003. Analysis of nrDNA sequences and microsatellite allele frequencies reveals a cryptic chanterelle species *Cantharellus cascadensis* sp. nov. from the American Pacific Northwest. *Mycological Research* 107: 1163-1177.
- Dunstan, W.A., Dell, B. and Malajczuk, N. 1998. The diversity of ectomycorrhizal fungi associated with introduced *Pinus* spp. in the Southern Hemisphere, with particular reference to Western Australia. *Mycorrhiza* 8: 71-79.
- Eckblad, F.E. 1981. Soppgeografi. Universitetsforlaget, Oslo.
- Escalante, T., Rodríguez, G., y Morrone, J. 2005. Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de Montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista mexicana de biodiversidad*, 76(2), 199-205.

- Estrada-Torres, A. 1994. La familia Gomphaceae (Aphyllophorales: Fungi) en el estado de Tlaxcala. Tesis de Doctorado (Doctorado en Ciencias (Biología). ENCB-IPN. México D.F.
- Fournier, E., Giraud, T., Albertini, C. and Brygoo, Y. 2005. Partition of the *Botrytis cinerea* complex in France using multiple gene genealogies. *Mycologia* 97: 1251-1267.
- Froslev, T.G., Matheny, P.B. and Hibbett, D.S. 2007. Lower level relationships in the mushroom genus *Cortinarius* (Basidiomycota, Agaricales): a comparison of RPBI, RPB2 and ITS phylogenies. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 37 (2): 602-618.
- Futuyma, D.J. 1986. *Evolutionary Biology*. Sinauer Associates. Sunderland, MA.
- Garrido, N. 1986. Survey of ectomycorrhizal fungi associated with exotic forest trees in Chile. *Nova Hedwigia* 43: 423-442.
- Geml, J., Laursen, G.A., O'Neill, K., Nusbaum, H.C. and Taylor, D.L. 2006. Beringian origins and cryptic speciation events in the fly agaric (*Amanita muscaria*). *Molecular Ecology* 15: 225-239.
- Geml, J., Tulloss, R.E., Laursen, G.A., Sazanova, N.A. and Taylor, D.L. 2008. Evidence for strong inter- and intracontinental phylogeographic structure in *Amanita muscaria*, a wind-dispersed ectomycorrhizal basidiomycete. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 48: 694-701.
- Giraud, T., Refrégier, G., Le Gac M. de Vienne, D.M. and Hood, M.E. 2008. Speciation in fungi. *Fungal Genetics and Biology* 45: 791-802.
- Graham, A. 1999. Late Cretaceous and Cenozoic history of North American vegetation. Oxford University Press. New York.

- Grand, L.F. and Vernia, C.S. 2004a. Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Phellinus* and *Schizopora*. Mycotaxon 89: 181-184.
- Grand, L.F. and Vernia, C.S. 2004b. Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Ceriporia*, *Ceriporiopsis* and *Perenniporia*. Mycotaxon 90: 307-310.
- Grand, L.F. and Vernia, C.S. 2005. Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Coltricia*, *Coltriciella* and *Inonotus*. Mycotaxon 91: 35-38.
- Grand, L.F. and Vernia, C.S. 2006. Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Fomes*, *Fomitopsis*, *Fomitella* and *Ganoderma*. Mycotaxon 94: 231-234.
- Grand, L.F. and Vernia, C.S. 2007. Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Abortiporus*, *Bondarzewia*, *Grifola*, *Heterobasidion*, *Laetiporus* and *Meripilus*. Mycotaxon 99: 99-102.
- Grand, L.F., Vernia, C.S. and Munster, M.J. 2009. Biogeography and hosts of poroid wood decay fungi in North Carolina: species of *Trametes* and *Trichaptum*. Mycotaxon 106: 243-246.
- Grgurinovic, C.A. 1997. Larger fungi of south Australia. The Botanic Gardens of Adelaide and State Herbarium and the Flora and Fauna of South Australia Handbooks Committee. Adelaide.
- Guzmán, G. 1973. Some distributional relationships between Mexico and United States mycofloras. Mycologia 45: 1319-1330.

- Halling, R.E., Osmundson, T.W., and Neves, M.A. 2008. Pacific boletes: Implications for biogeographic relationships. *Mycological Research* 112: 437-447.
- Harrington, T.C. and Rizzo, D.M. 1999. Defining species in the fungi, pp. 43-72. In: Wirrall, J. (Eds.). *Structure Dynamics of Fungal Populations*. Kluwer. The Netherlands.
- Hedh J., Samson P., Erland S., and Tunlid A., 2008. Multiple gene genealogies and species recognition in the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus*. *Mycological Research* 112: 965-975.
- Hibbett, D., Grimaldi, D. and Donoghue, M. 1997. Fossil mushrooms from Miocene and Cretaceous ambers and the evolution of Homobasidiomycetes. *American Journal of Botany* 84(8): 981-991.
- Hibbett, D.S. 2001. Shiitake mushrooms and molecular clocks: historical biogeography of *Lentinula*. *Journal of Biogeography* 28: 231-241.
- Hongo, T. 1978. Materials for the fungus flora of Japan. *Transaction Mycological Society of Japan* 19: 455-456.
- Hongo, T. and Yokoyama, K. 1978. Mycofloristic ties of Japan to the continents. *Memoirs of the Faculty of Education, Shiga University of Natural Science* 28: 76-80.
- Horak, E. 1983. Mycogeography in the south Pacific region: Agaricales, Boletales. *Australian Journal of Botany, Supplementary Series, Supplement* 10: 1-41.
- Hosaka, K., Castellano, M.A., Spatafora, J.W. 2008. Biogeography of Hysterangiales (Phallomycetidae, Basidiomycota). *Mycological Research* 112: 448-462.

- Imai, S. 1961. Basidiomycetes of Japan. pp. 278-281. In: Recent advances in Botany. University of Toronto Press, Toronto.
- James TY, Porter D, Hamrick JL, Vilgalys R 1999. Evidence for limited intercontinental gene flow in the cosmopolitan mushroom, *Schizophyllum commune*. *Evolution* 53: 1665-1667.
- Jin, J., Hughes, K.W., and Petersen, R.H. 2001. Biogeographical patterns in *Panellus stypticus*. *Mycologia* 93: 309-316.
- Johnson, J.A., Harrington, T.C. and Engelbrecht, C.J.B. 2005. Phylogeny and taxonomy of the North American clade of the *Caratocystis fimbriata* complex. *Mycologia* 97: 1067-1092.
- Kirk, P.M., Cannon, P., Winter, D. and Stalper, J. 2008. Dictionary of the fungi. CAB International. Wallingford.
- Koufopanou, V., Burt, A., Szaro, T., and Taylor, J.W. 2001. Gene genealogies reveal cryptic species, and molecular evolution in the human pathogen *Coccidioides immitis* and relatives (Ascomycota, Onygenales). *Molecular Biology and Evolution* 18: 1246-1258.
- Lange, L. 1974. The distribution of Macromycetes in Europe. *Dansk Botanisk Arkiv* 30: 7-15.
- Le Gac, M., Hood, M.E., and Giraud, T. 2007. Evolution of reproductive isolation within a parasitic fungal complex. *Evolution* 61: 1781-1787.
- Lichtwardt, R.W. 1995. Biogeography and fungal systematics. *Canadian Journal of Botany* 73 (Suppl. 1): S731-S737.
- Lickey, E.B., Hughes, K.W. and Petersen, R.H. 2002. Biogeographical patterns in *Artomyces pyxidatus*. *Mycologia* 94: 461-471.

- Linzer, R.E., Otrosina, W.J., Gonthier, P., Bruhn, J., Laflamme, G., Bussieres, G. and Garbelotto, M. 2008. Inferences on the phylogeography of the fungal pathogen *Heterobasidion annosum*, including evidence of interspecific horizontal genetic transfer and of human-mediated, long-range dispersal. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 46: 844-862.
- Lumbsch, T.H., Buchanan, P.K., May, T.W. and Mueller, G.M. 2008. Phylogeography and biogeography of fungi. *Mycological Research* 112: 423-424.
- Luna-Vega, I. 2008. Aplicaciones de la biogeografía histórica a la distribución de las plantas mexicanas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 217-241.
- Mao, X., Zong, Y. and Yao, B. 1986. The distributional features of macrofungi in Mt. Hang, Hunan. *Acta Mycologica Sinica, Suppl. 1*: 397-406.
- Matheny, P.B. and Bougher, N.L. 2006. The new genus *Auritella* from Africa and Australia (Inocybaceae, Agaricales): molecular systematics, taxonomy and historical biogeography. *Mycological Progress* 5: 217.
- Mejia, L.C., Rossman, A.Y., Castlebuty, L.A. and White, J.F. 2011. New species phylogeny, host associations and geographic distributions of genus *Cryptosporella* (Gnomoniaceae, Diaporthales). *Mycologia* 103(2): 379-399.
- Methven, A.S., Hughes, K.W., and Petersen, R.H. 2000. *Flammulina* RFLP patterns identify species and show biogeographical patterns within species. *Mycologia* 92: 1064-1070.
- Moncalvo, J.M. 2005. Molecular systematic: major fungal phylogenetic groups and fungal species concepts, pp.1-33. In: Xu, J.P. (eds.). *Evolutionary genetics of fungi*. Horizon Scientific Press, Norfolk.

- Moncalvo, J.M. and Buchanan, P.K. 2008. Molecular evidence for long distance dispersal across the Southern Hemisphere in the *Ganoderma applanatum-australe* species complex (Basidiomycota). *Mycological Research* 112: 425-436.
- Morrone, J. 2009. *Evolutionary Biogeography. An integrative approach with case studies*. Columbia University Press. New York.
- Mueller, G. and Wu, Q. 1997. Mycological contributions of Rolf Singer: field itinerary, index to new taxa, and list of publications. *Fieldiana* 38: 1-124.
- Mueller, G.M., Wu, Q.-X., Huang, Y.-Q., Guo, S.-Y., Aldana-Gomez R. and Vilgalys, R. 2001. Assessing biogeographic relationships between North American and Chinese macrofungi. *Journal of Biogeography* 28: 271-281.
- Oda, T., Tanaka, C and Tsuda, M. 2004. Molecular phylogeny and biogeography of the widely distributed *Amanita* species, *A. muscaria* and *A. pantherina*. *Mycological Research* 108: 885-896.
- O'Donnell, K., Cigelnik, E. and Nirenberg, H.I. 1998a. Molecular systematics and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycologia* 90: 465-493.
- O'Donnell, K., Kistler, H.C., Cigelnik, E. and Ploetz, R.C. 1998b. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95: 2044-2049.
- O'Donnell, K., Kistler, H.C., Tacke, B.K. and Casper, H.H. 2000. Gene genealogies reveal global phylogeographic structure and reproductive isolation among

- lineages of *Fusarium graminearum*, the fungus causing wheat scab. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 97: 7905-7910.
- O'Donnell, K., Ward, T.J., Geiser, D.M., Kistler, H.C., and Aoki, T. 2004. Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the *Fusarium graminearum* clade. Fungal Genetics and Biology 41: 600-623.
- O'Donnell, K., Rooney, A.P., Mills, G.L., Kuo, M. and Weber, N.S. 2011. Phylogeny and historical biogeography of true morels (*Morchella*) reveals an early Cretaceous origin and high continental endemism and provincialism in the Holarctic. Fungal Genetics and Biology 48: 252-265.
- Peay, K.G., Bidartondo, M.I. and Arnold, A.E. 2010. Not every fungus is everywhere: scaling to the biogeography of fungal-plant interactions across roots, shoots and ecosystems. New Phytologist 185: 878-882.
- Petersen, R.H., and Hughes, K.W. 1999. Species and speciation in mushrooms. Bioscience 49: 440-452.
- Pringle, A. and Vellinga, E.C. 2006. Last chance to know? Using literature to explore the biogeography and invasion biology of the death cap mushroom *Amanita phalloides*. (Vaill. ex Fr.:Fr.) Link. Biological Invasions 8: 1131-1144.
- Rzedowski, J. 1981. La vegetación de México. Limusa, México, D.F.
- Redhead, S.A. 1989. A biogeographical overview of the Canadian mushroom flora. Canadian Journal of Botany 67: 3003-3062.

- Samuels, G.J., and Siefert, K.A. 1995. The impact of molecular characters on systematics of filamentous Ascomycetes. *Annual Review Phytopathology* 33: 37-67.
- Sanginés-Franco, C., Luna-Vega, I., Ayala, O. A., & Contreras-Medina, R. (2011). Distributional patterns and biogeographic analysis of ferns in the Sierra Madre Oriental, Mexico. *American Fern Journal*, 101(2), 81-104.
- Shaw, K.L. 2001. The genealogical view of speciations. *Journal of Evolutionary Biology* 14: 880-882.
- Shen, Q., Geiser, D.M. and Royse, D.J. 2002. Molecular phylogenetic analysis of *Grifola frondosa* (maitake) reveals a species partition separating eastern North American and Asian isolates. *Mycologia* 94: 472-482.
- Skrede, I., Engh, I., Binder, M., Carlsen, T., Kauserud, H. and Bendiksby, M. 2011. Evolutionary history of Serpulaceae (Basidiomycota): molecular phylogeny, historical biogeography and evidence for a single transition of nutritional mode. *BMC Evolutionary Biology* 11: 230-243.
- Sogg, D. 2000. Truffle madness: the race is on to grow these black winter delicacies in America. Online, [http:// www.winespectator.com](http://www.winespectator.com) (22 May 2014)
- Summerell, B.A., Laurence, MH, Liew, E.C.Y. and Leslie, J.F. 2010. Biogeography and phylogeography of *Fusarium*: a review. *Fungal Diversity* 43: 3-13.
- Taylor, J.W., Jacobson, D.J., Kroken, S., Kasuga, T., Geiser, D.M., Hibbett, D.S. and Fisher, M.C. 2000. Phylogenetic species recognition and species concepts in fungi. *Fungal Genetics and Biology* 31: 21-32.
- Taylor, J.W., Turner, E, Townsend, J.P., Dettman, J.R. and Jacobson, D. 2006. Eukaryotic microbes, species recognition and the geographic limits of

- species: examples from the kingdom Fungi. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 361: 1947-1963.
- Taylor, J.W., Turner, E., Pringle, A., Dettman, J. R. and Johannesson, H. 2006a. Fungal species: thoughts on their recognition, maintenance and selection, pp. 313–339. In: Gadd, G.M., Watkinson, S.C. and Dyer, P.S. (eds.). *Fungi in the Environment* Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Vellinga, E.C. 2004. Ecology and distribution of lepiotaceous fungi – a review. *Nova Hedwigia* 78: 273-299.
- Vilgalys, R., and Sun, B.L. 1994. Ancient and recent patterns of geographic speciation in the oyster mushroom *Pleurotus* revealed by phylogenetic analysis of ribosomal DNA sequences. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA* 91: 4599-4603.
- Villeneuve, N., Le Tacon F. and Bouchard D. 1991. Survival of inoculated *Laccaria bicolor* in competition with native ectomycorrhizal fungi and effects on the growth of outplanted douglas-fir seedlings. *Plant and Soil* 135: 95-107.
- Watling, R. 2001. The relationships and possible distributional patterns of boletes in south-east Asia. *Mycological Research* 105: 1440-1448.
- Wirtz, N. Printzen, C. and Lumbsch, H.T. 2008. The delimitation of Antarctic and bipolar species of *Usnea neuropogonoid* (Ascomycota Lecanorales) a cohesion approach of species recognition for the *Usnea perpusilla* complex. *Mycological Research* 112: 472-484.
- Wu, Q.-X. and Mueller, G.M. 1997. Biogeographic relationships between the macrofungi of temperate eastern Asia and eastern North America. *Canadian Journal of Botany* 75 (12): 2108-2116.

- Wu, Q.-X., Mueller, G.M., Lutzoni, F.M., Huang, Y.Q. and Guo, S.Y. 2000. Phylogenetic and biogeographic relationships of eastern Asian and eastern North American disjunct *Suillus* species (Fungi) as inferred from nuclear ribosomal RNA ITS sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 17: 37-47.
- Yun, W. and Hall, I.R. 2004. Edible ectomycorrhizal mushrooms: challenges and achievements. *Canadian Journal of Botany* 82: 1063-1073.
- Zhang, L.F., Yang, J.B. and Yang, Z.L. 2004. Molecular phylogeny of eastern Asia species of *Amanita* (Agaricales, Basidiomycota): taxonomic and biogeographic implications. *Fungal Diversity* 17: 219-238.

CONCLUSIONES

Las especies del orden Gomphales se encuentran en una gran diversidad de ambientes tanto en zonas templadas como tropicales, donde la mayor cantidad de registros corresponden con tipos de vegetación templados de montaña, como son los bosques de coníferas, bosques de pino-encino, bosques mesófilos de montaña y bosques de encino, mientras que en mucho menor proporción están los tropicales como las selvas caducifolias y perennifolias.

Las zonas más ricas en especies y géneros de Gomphales han sido ubicadas en el centro del país, debido a los esfuerzo de recolección en estas zonas, situación que se refleja de manera importante en los estados de Tlaxcala y Estado de México, los cuales son dos entidades cercanas al Distrito Federal, donde se concentran la mayoría de los centros de investigación vinculados con los estudios de la micoflora; Se ha mencionado que los bosques de coníferas mexicanos son los más ricos en hongos (Guzmán 1977; Guzmán-Dávalos y Guzmán 1979; Frutis y Guzmán 1983). Las zonas tropicales han sido poco exploradas y autores como Giachini (2004), proponen que la diversidad debe ser mayor en estos ecosistemas, para el caso de los Gomphales.

El estado que presenta la mayor cantidad de especies es Tlaxcala (22), situación contraria a lo que se ha observado con algunos grupos de plantas (Luna-Vega *et al.* 2013) y que una vez más refleja el esfuerzo de recolección en ciertos estados del país. Asimismo el estado de Tlaxcala tiene una tradición en el consumo de hongos comestibles, situación que no se presenta de manera tan importante en otras entidades del país (González-Ávila *et al.* 2013a). El que los estados más biodiversos en hongos se encuentren en el centro del país puede modificarse en el

futuro cuando se conozca mejor la micoflora, pues para muchos grupos biológicos se ha comprobado que los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz son los estados más biodiversos (Mittermeier y Goettsch 1992; Flores-Villela y Gerez 1994) mismos que han sido recientemente reconocidos como estados mexicanos megadiversos (Luna-Vega *et al.* 2013). Es de llamar la atención los estados mexicanos en donde no se tienen registros del orden como son Aguascalientes, San Luis Potosí y Sinaloa, considerando que dichas entidades en sus territorios albergan zonas montañosas con ambientes propios para que estos hongos prosperen, por lo tanto es muy probable que se deba a la falta de recolecta.

Las provincias biogeográficas que presenta una mayor riqueza de géneros y especies son la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre Oriental, condición que se observa también con *Ternstroemiaceae* (Luna-Vega *et al.* 2004), encinos (Torres-Miranda *et al.* 2011), *Boletaceae* (García y Garza 2001), y otras plantas vasculares mexicanas (Villaseñor 2004; Luna-Vega *et al.* 2006) y en algunos otros grupos de plantas y animales (García y Navarro-Sigüenza 2004, Navarro-Sigüenza *et al.* 2007, Contreras-Medina y Luna-Vega 2007). Las provincias que carecen de registros son Baja California, Sonorense y Soconusco.

Es necesario seguir con los esfuerzos de recolección, sobre todo para aquellas zonas poco estudiadas como lo menciona Guzmán (1998a), quien afirma que solamente se tiene inventariado entre el 3-5 % de la diversidad fúngica en México. Por tal motivo es primordial una intensa exploración científica y el adecuado cuidado de los ejemplares, ya que esto ha limitado su conocimiento. Un ejemplo de esto es el caso del género *Ramaria*, en el cual es de suma importancia para la identificación la coloración de las diferentes partes que presente el basidioma en

fresco y en la mayoría de los ejemplares de herbarios se carece de esta información limitando su identificación. Además de lo anterior, aún existen muchas especies que no han sido claramente delimitadas, por lo de es de suponer que tenemos complejos de especies por ejemplo el caso de *Ramara botrytis* (Pers.) Ricken 1918.

Existen muy pocos especialistas en grupos de hongos en México además de poco presupuesto para llevar a cabo estudios taxonómicos (Guzmán 1998 a, b, Guzmán-Dávalos 1998), lo que ha traído como consecuencia un pobre conocimiento en la sistemática de los hongos, particularmente en el grupo de los Gomphales. La diversidad en México de Gomphales está lejos de ser conocida (Exeter *et al.* 2006), sobre todo si comparamos la diversidad de este grupo con otros sitios de América del Norte que tienen superficies más pequeñas, como el noroeste de los Estados Unidos.

Un problema básico a enfrentar dentro de la micogeografía es la carencia de inventarios estatales o regionales, ya que a diferencia de las plantas y animales, la situación de los hongos dista de ser la adecuada. Es evidente que con la ausencia de esta información será difícil precisar las preferencias ecológicas y el estado actual de sus poblaciones.

Estudios anteriores también demostraron que el tipo de vegetación determina la distribución de los hongos (Guzmán 1973; Mueller y Halling 1995). Otros factores importantes que influyen en su distribución son las propiedades del suelo, sobre todo los niveles de acidez (Tyler 1985) y temperatura (Tan y Wu 1986). En *Phaeoclavulina* son la temperatura y la precipitación. Hay una separación evidente entre las especies de ambientes templados y tropicales y las variables ambientales que afectan su distribución no son los mismos (González- Ávila 2013b)

Es importante la conservación de los integrantes de este orden para mantener el delicado equilibrio de los diferentes ecosistemas, debido a que una gran parte de las especies que constituyen al orden forman asociaciones micorrizógenas principalmente con coníferas y fomentan el desarrollo de varias especies de árboles que son importantes para la estructura del bosque (por ejemplo *Pinus culminicola* Andresen y Beaman, (Garza-Ocañas *et al.* 2002) entre muchas otras), las cuales a su vez forman parte de varios tipos de vegetación de México. Es evidente que los bosques templados montanos, principalmente aquéllos donde las coníferas están presentes, requieren de la asociación con estos hongos para su supervivencia. Otras especies de *Ramaria*, *Phaeoclavulina*, *Lentaria* y *Kavinia* se encuentran implicadas en procesos de descomposición de materia orgánica (principalmente madera) que es importante para la incorporación y el reciclaje de los nutrientes dentro de los ecosistemas. Asimismo, otras especies de *Ramaria*, *Gomphus*, *Turbinellus* y *Clavariadelphus* se consumen como alimento por distintos grupos étnicos del país. Ellos forman parte de la dieta de estos grupos, principalmente durante la temporada de lluvias, y / o se pueden recoger o comprar en los mercados a precios razonables.

Las propuestas de áreas naturales protegidas en México se han basado en la presencia o ausencia de organismos en alguna categoría de riesgo. No obstante, como Peterson *et al.* (2000) señaló, el sistema mexicano de áreas naturales protegidas es antiguo y fue desarrollado con diferentes motivos incluyendo la belleza del paisaje, el uso recreativo, y la importancia histórica, entre otros. Sólo 46 especies de hongos se incluyen en alguna categoría de riesgo en la publicación oficial mexicana 'Norma Oficial Mexicana NOM-059' (SEMARNAT 2010) y todos

ellos figuran como 'no endémicos'. Por lo tanto, muchas especies de Gomphales son buenos candidatos para ser incluidos en esta lista oficial, es indispensable llevar a cabo otro tipo de estudios para el grupo, como son los demográficos. Las especies de los Gomphales, al igual que otras muchas de las especies de hongos que se desarrollan en nuestro país, enfrentan el problema de la destrucción acelerada de los bosques, debido principalmente a la expansión de las fronteras ganaderas, agrícolas y urbanas que aunados a la contaminación atmosférica y de los acuíferos representan una grave amenaza.

. Los hongos no son incluidos en las iniciativas de conservación de la mayoría de los países y además no se emplean en los acuerdos internacionales de diversidad biológica. Esto es debido a que es considerado como un grupos extraño, mal atendido y difícil de estudiar (Dahlberg 2010). Es importante resaltar que Inunca han sido contemplados para la designación de áreas naturales protegidas en México.

Los hongos generalmente tiene un perfil bajos entre los actores de la conservación y tomadores de decisiones, además el conocimiento micológico ha sido limitado en un contexto de conservación debido a su incompleto, grado de rareza, estado de riesgo y los requerimientos del hábitat de la mayoría de los hongos (Molina R. *et al.* 2011), sin embargo los avances recientes en el conocimiento en la taxonomía, distribución y ecología permiten ahora ser incluirlos dentro de los programas europeos de conservación (Moore *et al.* 2001; Senn-Irlet *et al.* 2007; Heilmann and Vesterholt 2008).

En la lista roja mundial que comprende casi 45 000 especies solamente se enumeran tres hongos, aunque en 33 países europeos se han producido listas rojas

incluyéndolos, indicandose que al menos el 10% están amenazadas, debido principalmente a los cambios en el uso del suelo y la deposición de nitrógeno (Dahlberg 2010).

La biodiversidad fúngica puede ser empleada de la conservación, para ellos es necesario una mayor promoción de los hongos, sus valores de preservación y servicios de los ecosistemas, las producciones de listas rojas en el mundo y la necesidad de integrarlos con los animales y plantas en los temas de conservación (Dahlberg et al, 2010; Dahlberg y Mueller 2011).

BIBLIOGRAFÍA

- Contreras-Medina, R. and Luna-Vega, I. 2007. Species richness, endemism and conservation of Mexican gymnosperms. *Biodiversity and Conservation* 16: 1803-1821.
- Dahlberg, A., Genney, D.R. and Heilmann-Clausen, J. 2010. Developing a comprehensive strategy for fungal conservation in Europe: current status and future needs. *Fungal Ecology* 3(2), 50-64.
- Dahlberg, A., and Mueller, G.M. 2011. Applying IUCN red-listing criteria for assessing and reporting on the conservation status of fungal species. *Fungal Ecology* 4:147-162.
- Exeter, R.L., Norvell, L. and Cázares, E. 2006. *Ramaria of the Pacific Northwestern United States*. United States Department of Interior, Bureau of Land Management: Salem, OR. 157 p

- Flores-Villela, O. y Gerez P. 1994. Biodiversidad y Conservación en México: Vertebrados, Vegetación y Uso del Suelo. CONABIO-Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Frutis, I. y Guzmán G. 1983. Contribución al conocimiento de los hongos del estado de Hidalgo. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 18: 219–265.
- García-Trejo, E.A. y Navarro, A.G. 2004. Patrones biogeográficos de la riqueza de especies y el endemismo de la avifauna en el oeste de México. Acta Zoológica Mexicana (ns), 20(2), 167-185.
- García, J. and F. Garza. 2001. Conocimiento de los hongos de la familia Boletaceae de México. Ciencia (UANL) 4: 336-343.
- Garza Ocañas, F., García Jiménez, J., Estrada Castellón, A.E. y Villalón Mendoza, H. 2002. Macromicetos, ectomicorrizas y cultivos de *Pinus culminicola* en Nuevo León. Ciencia UANL, 5(2).
- Giachini, A.J. 2004. Systematics of the Gomphales: the genus *Gomphus* Pers. sensu lato. Ph D Dissertation, Oregon State University, Corvallis, OR, USA. 446 p.
- González-Ávila, P.A., Luna-Vega, I., Villegas Ríos, M., Lira Saade, R., and Cifuentes-Blanco, J. 2013a. Current knowledge and importance of the order Gomphales (Fungi: Basidiomycota) in Mexico. Nova Hedwigia 97 (1-2): 55-86.
- Guzmán-Dávalos, L. 1998. Los estudios sobre Agaricales en México. IBUG 6: 279-295.
- Guzmán Dávalos, L. y Guzmán, G. 1979. Estudio ecológico comparativo entre los hongos (Macromicetos) de los bosques tropicales y los de coníferas del

sureste de México. Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología 13:89-126

Guzmán, G. 1977. Identificación de los hongos comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de la madera. Limusa. México, D.F., México. 236 p.

Guzmán, G. 1998a. Inventoring the fungi of Mexico. Biodiversity and Conservation 7: 369-392.

Guzmán, G. 1998b. Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (ensayo sobre el inventario fúngico del país). In: Halffter, G. (ed.). La diversidad biológica de Iberoamérica II. Acta Zoológica Mexicana, nueva serie, volumen especial, CYTED e Instituto de Ecología, Xalapa. pp. 111-175.

Heilmann-Clausen, J., and Vesterholt, J. 2008. Conservation: selection criteria and approaches. In: Boddy, I, Frankland, J.C, van West P, (eds) Ecology of saprotrophic Basidiomycetes. Elsevier Academic Press Oxford pp. 325-347

Luna-Vega, I., Alcántara, O. and Contreras-Medina, R. 2004. Patterns of diversity, endemism and conservation: an example with Mexican of Ternstromiaceae Mirb. ex DC. (Tricolpates: Ericales). Biodiversity and Conservation 13: 2723-2739.

Luna-Vega, I., Alcántara, O., Contreras-Medina, R. and Ponce, A. 2006. Biogeography, current knowledge and conservation of threatened vascular plants characteristics of Mexican temperate forest. Biodiversity and Conservation 15: 3773-3799.

Luna-Vega, I., Espinosa, D., Rivas, G. y Contreras-Medina, R. 2013. Geographical patterns and determinants of species richness in Mexico across selected

families of vascular plants: implications for conservation. *Systematics and Biodiversity* 11: 237-256.

Mittermeier, R.A. y Goettsch de Mittermeier, C. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: Sarukhán, J. y Dirzo, R. (eds.). México ante los retos de la biodiversidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F. pp. 63-73.

Molina, R., Horton, T.R., Trappe, J.M. and Marcot, B.G. 2011. Addressing uncertainty: how to conserve and manage rare or little-known fungi. *Fungal Ecology*, 4: 134-146.

Moore, D., Nauta, M.M., Evans, S.E. and Rotheroe, M. 2008. Fungal conservation: issues and solutions. Cambridge University Press. United States of America.

Navarro-Sigüenza, A.G., Lira-Noriega, A., Peterson, A.T., Oliveras-Delta, A. y Gordillo-Martínez, A. 2007. Diversidad, endemismo y conservación de las aves. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. pp. 461-484.

Peterson, A., Eghert, S., Sánchez-Cordero, V. and Prince, K. 2000. Geographic analysis of conservation priority: endemic birds and mammals in Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 93: 85-94.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Mexico City. December 30.

- Senn-Irlet, B. Heilmann-Clausen, J. Genney, D. Danhlberg, A.2007. Guidance for the conservation of fungi. Prepared for the Convention on the Conservation of European and natural habitats. European Council. Document T-PVS 13 (rev). Strasbourg 17 Oct 2007 (accessed 20.02.14).
- Torres-Miranda, A., Luna-Vega, I. and Oyama, K. 2011. Conservation biogeography of red oaks (*Quercus* L., section *Lobatae*) in Mexico and Central America. *American Journal of Botany* 98: 290-305.
- Villaseñor, J.L. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 105-135.