



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA

---

---

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Micofagia por roedores en tres ambientes de  
bosque templado del Parque Nacional  
La Malinche, Tlaxcala.

# Tesis

Que para obtener el grado de

**Maestra en Ciencias Biológicas**

P r e s e n t a

**Zelene Durán Barradas**

Director de tesis

Dr. Arturo Estrada - Torres

Co - director

Dr. Carlos Lara Rodríguez

Comité Tutorial

Dra. Mercedes Rodríguez Palma

Dr. Roger E. Guevara Hernández

Tlaxcala, Tlax.

Agosto 2006

Este trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas (CICB) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, bajo la Dirección del Dr. Arturo Estrada-Torres y del Dr. Carlos A. Lara Rodríguez

Para el desarrollo del proyecto se contó con una beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con número de registro 180943, en la convocatoria Nacional Septiembre 2003 (PIFOP), para la realización de estudios de maestría en el Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. La maestría en Ciencias Biológicas está actualmente registrada en el programa para el Fortalecimiento del Posgrado Nacional. Padrón Nacional de Posgrado (PNP).



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA**  
Secretaría de Investigación Científica y de Posgrado  
Coordinación de la División de Ciencias Biológicas  
Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta  
*Maestría en Ciencias Biológicas*

**COORDINACIÓN DE LA MAESTRÍA  
CENTRO TLAXCALA DE BIOLOGÍA DE LA CONDUCTA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA  
P R E S E N T E**

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del Proyecto de tesis que la **Biól. Zelene Durán Barradas** realiza para la obtención del grado de Maestro en Ciencias Biológicas, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que ésta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevará es: **"Micofagia por roedores en tres ambientes de bosque templado del Parque Nacional la Malinche, Tlaxcala"**.

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
TLAXCALA, TLAX., AGOSTO 5 DE 2006

  
Dra. Mercedes Rodríguez Palma

  
Dr. Gerardo Sánchez Rojas

  
Dra. Ma. Guadalupe Santiago Martínez

  
Dr. Carlos A. Lara Rodríguez

  
Dr. Roger E. Guevara Hernández

  
Dr. Arturo Estrada Torres

## AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue gracias a la intervención de un sin número de personas que de una u otra manera contribuyeron a que terminara esta historia y espero poder mencionar a todas ellas sin ningún orden de importancia. En primer lugar menciono a mis directores de tesis: el Dr. Arturo Estrada-Torres quien compartió su inquietud por conocer sobre la micofagia y ello conllevó a un extenso trabajo de campo que culminó con su asistencia y ayuda hasta la finalización de esta tesis, al Dr. Carlos Lara, agradezco su disponibilidad por impulsar la conclusión de este trabajo de tesis, además de que le tocó la peor parte, pues debió entender cada línea que escribí y transformarla hasta el final. A los miembros de mi comité tutorial el Dr. Roger Guevara, Dra. Mercedes Rodríguez, Dra. Guadalupe Santiago, Dr. Gerardo Sánchez por las revisiones de este documento, así como por todos sus comentarios y sugerencias durante la realización de éste trabajo.

No puedo dejar de mencionar a él M. en C. Alejandro Kong, y al Biól. Jesús A. Fernández, por toda la ayuda prestada en cada salida al campo, así como su asistencia durante el trabajo de laboratorio y lo más importante por brindarme su amistad y conocimientos. Mi gratitud a la Dra. Adriana Montoya por ser una cálida persona que me brindó su amistad y confianza. En particular agradezco al Dr. Alberto González Romero del Instituto de Ecología A.C. y al Dr. Antonio Guerrero por facilitarme las trampas Sherman durante la realización de trabajo decampo. A todos los miembros del laboratorio, Dra. Laura Hernández, M en C. Gema Galindo, Biól. Oscar, Yola y a mis amigos Marisol, Víctor y Enrique con quien pase momentos muy gratos e inolvidables... les sigo debiendo unas "chelas". A mis compañeros y amigos de generación Araceli, Roberto, Nelly, Nicté, Iván, Juvenal y Mircha, por quien hicieron muy grato cada clase que tomamos, además de compartir muchas experiencias tanto buenas como malas que marcaron nuestras vidas, gracias por brindarme su amistad y cariño. A mis amigos de siempre, Citlalli C., Carlos L., Lenis y Juan Carlos, por brindarme su casa, su amistad y apoyo constante. Para terminar, agradezco a las personas que siempre están más cerca de mi corazón... "mi Familia"; mi papá Luciano, mi super mamá Noemí y mi hermana Eilenn por estar cada instante de mi vida apoyándome, impulsándome y dándome cariño, y sin duda alguna no puedo dejar de mencionar a mi querido Armando quien es el motor de mi vida y la persona que en todo momento me brinda su amor, y la tranquilidad que necesito. También quiero darle las gracias a la Sra. Anita, al Sr. Armando (suegros) a mi cuñado Pepe, Rocío y a mi sobrino José por todo el cariño que me brindan y por impulsarme a terminar esta tesis. Gracias a todos.

## RESUMEN

La micofagia es una interesante interacción ecológica que implica el consumo de hongos por distintos grupos de organismos. En esta relación intervienen usualmente hongos micorrizógenos, árboles simbiotes y grupos de roedores consumidores de hongos, por lo que se han realizado diversos estudios a nivel mundial sobre estos temas. Sin embargo, el conocimiento de la micofagia por mamíferos es casi inexistente en México, a pesar de la gran diversidad de mamíferos y de hongos que hay en el país. En el presente estudio y a través de dos aproximaciones, se evaluó la micofagia en tres ambientes característicos de La Malinche, Tlaxcala: pastizal, bosque de pino-oyamel y bosque de oyamel. En la primera aproximación se evaluó el consumo de hongos pertenecientes a dos familias Boletaceae y Russulaceae por pequeños mamíferos. En la segunda aproximación se determinaron las especies fúngicas consumidas por ratones silvestres a través de la identificación de las esporas presentes en sus excretas. Nuestros resultados demostraron que durante la temporada de lluvias (mayo-septiembre), los hongos de los grupos evaluados presentaron evidencias físicas del consumo por mamíferos, y que éste es diferencial con respecto a las estructuras que conforman a un hongo: píleo, estípite e himenóforo. Ocho de las once especies de ratones capturados en el estudio presentaron evidencias de esporas de hongos en sus excretas. Los sitios con bosques de pino-oyamel y de oyamel fueron los dos ambientes en donde se capturaron más ratones con evidencias de consumo de hongos durante todo el año, mientras que en el pastizal la proporción de ratones con evidencias o no de consumo fue similar. Once diferentes grupos de hongos fueron consumidos por los ratones, principalmente las familias Boletaceae y Russulaceae, y los hongos hipogeos pertenecientes a los géneros *Leucophleps*, *Hysterangium* y *Gautieria*. Los ratones con mayor riqueza de grupos de hongos en sus excretas fueron *Peromyscus melanotis*, *P. maniculatus* y *N. alstoni*, estando la última especie presente en los tres ambientes. Los mayores índices de diversidad de esporas fúngicas se encontraron en los meses de junio, julio, agosto. De los tres ambientes evaluados el pastizal fue el sitio más diverso. El presente estudio es el primero de su tipo en México y sentará las bases para determinar el papel que los ratones micófagos tienen en el funcionamiento de los bosques de la región.

## ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	7
4. OBJETIVOS.....	8
4.1. Objetivo general .....	8
4.2. Objetivos particulares .....	8
5. MÉTODOS .....	9
5.1. Sitio de estudio .....	9
5.2. Estimación de niveles de micofagia .....	10
5.3. Captura de ratones silvestres .....	11
5.4. Procesamiento de excretas.....	12
5.5 Análisis estadísticos.....	12
6. RESULTADOS.....	14
6.1. Niveles de micofagia .....	14
6.2 Ratones micófagos .....	23
6.3 Hongos registrados en excretas .....	23
6.4 Variación espacial y temporal en el consumo de hongos.....	26
6.5 Índices de diversidad.....	30
7. DISCUSIÓN .....	38
8. CONCLUSIONES .....	45
9. PERSPECTIVAS.....	46
10. REFERENCIAS .....	48
11. ANEXOS .....	53

## 1. INTRODUCCIÓN

El hábito de consumir estructuras fúngicas tales como micelio, cuerpos fructíferos y esporas, conocido como micofagia o fungivoría, está ampliamente representado por diversos organismos alrededor del mundo (Lawrence 1989). Por ejemplo, en varias familias de dípteros (*Drosophilidae*, *Mycetophylidae*, *Cecidomidae*), coleópteros (*Ciidae*, *Cerambycidae*, *Nitulidae*) además de otros artrópodos (quilópodos, ácaros y colémbolos) se ha documentado el consumo de estructuras fúngicas (Pirozinsky y Hawksworth 1988). Asimismo, en algunas especies de vertebrados que incluyen marsupiales, roedores, lagomorfos y primates, las fructificaciones de hongos hipogeos y epigeos pueden representar una parte importante de su dieta (Maser y cols. 1978a, Martin 1979, Polaco y cols. 1982, Trappe y Cázares 1990).

Numerosos estudios realizados en bosques templados y tropicales de Norteamérica, Sudamérica y Australia, han documentado que una gran diversidad de pequeños mamíferos se alimentan de esporocarpos y en algunos de ellos se ha registrado el consumo de hasta 39 géneros de hongos (Trappe y Maser 1976, Cázares y Trappe 1994, Johnson 1994b, Bozinovic y Muñoz-Pedreros 1995a, Winter y Johnson 1995, Cázares y cols. 1998, Claridge y cols. 2001). Pese a que en algunas especies de pequeños mamíferos el consumo de carpóforos es fortuito, para otras como la ardilla voladora de Norteamérica (*Glaucomys sabrinus*) (Maser y Maser 1988, Pyare y Longland 2001), el ratón lanudo (*Abrothrix longipilis*) en Sudamérica (Bozinovic y Muñoz-Pedreros 1995a, 1995b) y varias especies de la familia *Potoridae* en Australia (Taylor 1991, Claridge y Cork 1994, Johnson 1994a), dependen de las fructificaciones de hongos como una de sus fuentes primarias de alimentación.

La alta dependencia por el recurso fúngico ha provocado que muchas especies micófagas desarrollen especializaciones para el consumo de este tipo de recurso. Por ejemplo, en el ratón de espalda roja (*Clethrionomys* spp.), se ha sugerido que la dentadura frágil, con raíces (a diferencia de la mayoría de los roedores) y con una sola capa de esmalte cubriendo la dentina interna, es una adaptación al consumo de alimentos poco abrasivos, por lo que su dieta se basa predominantemente en hongos hipogeos (Ure y Maser 1982). Otro ejemplo sobresaliente son las ratas canguro de Tasmania (*Bettongia* spp.), cuya elongación del intestino permite la existencia de bacterias anaerobias encargadas de la fermentación de los compuestos nitrogenados fúngicos para su transformación en nutrimentos asimilables (Claridge y May 1994).

Sin embargo, las especializaciones en los animales micófagos no necesariamente implican cambios a nivel morfológico y digestivo. Por ejemplo, los monos de Goldise de Sudamérica (*Callimico goeldii*) han adquirido el hábito de la micofagia como una estrategia que minimiza la competencia con otras especies de monos durante la época de sequía, conducta que permite la coexistencia y disminución de interacciones agonísticas entre las especies (Hanson y cols. 2003).

La micofagia ha jugado un papel fundamental en la evolución de los sistemas reproductivos y de dispersión de los hongos epigeos e hipogeos (Johnson 1994b). Los cuerpos fructíferos que producen los hongos epigeos, dependen del viento para la dispersión de sus esporas, sin embargo, la acción de animales consumidores podría favorecer una dispersión más efectiva y menos azarosa. En el caso de las especies hipogeas, en donde los cuerpos fructíferos se desarrollan debajo del suelo y donde no hay ningún otro medio para la liberación de sus esporas, la dependencia de animales, particularmente mamíferos excavadores que coman sus fructificaciones, es total.



Estos hongos forman asociaciones mutualistas, llamadas micorrizas, con las raíces de diversas especies de árboles. De esta manera, los animales micófagos pueden dispersar las esporas de los hongos micorrízicos al despedazar, mordisquear e ingerir sus cuerpos fructíferos y ser depositadas directamente en las raíces de sus árboles asociados a través de sus excretas (Trappe y Maser 1976, Maser y cols. 1978a, Pirozynski y Hawksworth 1988, Taylor 1991). Varios estudios han determinado la viabilidad de las esporas de especies hipogeas en las heces de los mamíferos, demostrando que las excretas de estos animales son una excelente fuente de inóculo para diversas especies de plantas (Castellano y Trappe 1985, Castellano y cols. 1985, Claridge y cols. 1999, Colgan y Claridge 2002). La identificación de esporas en las excretas es la principal forma a través de la cual la micofagia es confirmada en los estudios de dietas de mamíferos, en los cuales raramente se reporta daño a las esporas una vez que han pasado a través del tracto digestivo (Johnson 1994b).

El papel de los animales micófagos como dispersores de esporas se ve reforzado con el alto consumo y gran movilidad que algunos animales han desarrollado. Por ejemplo, se ha comprobado que la rata canguro de Tasmania (*Bettongia gaimardi*) puede remover hasta el 70% de las fructificaciones producidas por algunos especies de hongos, mientras que las áreas de forrajeo de algunos micófagos pueden variar de una hasta 100 hectáreas, con la diseminación potencial de las esporas sobre un radio de varios miles de metros (Johnson 1994a).

Como se ha mencionado, los cuerpos fructíferos de hongos hipogeos y epigeos representan una importante fuente de alimento para muchos animales. A pesar de esto, poco se sabe sobre la importancia nutricional de los hongos para estos consumidores, pues los estudios realizados a la fecha han arrojado resultados contrastantes dependiendo del

grupo de micófagos analizado (Cork y Kenagy 1989a; 1989b, Claridge y Cork 1994, Claridge y cols. 1999). Así, encontramos que muchos hongos contienen altas concentraciones de compuestos nitrogenados, minerales y vitaminas, lo que sugiere una alta calidad nutricional (Fogel y Trappe 1978, Grönwall y Pehrson 1984). Sin embargo, algunos trabajos de laboratorio con manipulación de dietas han sugerido que los hongos son alimentos de muy baja calidad para los pequeños mamíferos tales como ratones y ardillas (Cork y Kenagy 1989a, 1989b; Bozinovic y Muñoz-Pedreros 1995a, 1995b). Este reducido aporte nutricional se debe a que los componentes principales de los hongos, como carbohidratos y nitrógeno, son indigeribles para la gran mayoría de los animales, con excepción de aquellos micófagos especialistas que han desarrollado adaptaciones fisiológicas a nivel digestivo que les permiten romper las estructuras poliméricas de los hongos (Cork y Kenagy 1989a).

Los estudios sobre micofagia en México son escasos en la literatura y los existentes se basan principalmente en observaciones anecdóticas en animales como cerdos y algunas especies de roedores como la rata montera (*Neotoma mexicana*) (Polaco y cols. 1982) y el aguti (*Dasyprocta mexicana*) (Estrada-Crocker y cols. 1996).

## 2. ANTECEDENTES

La micofagia en mamíferos ha sido ampliamente documentada en Norteamérica, Sudamérica y Australia (Fogel y Trappe 1978, Maser y cols. 1978a; 1978b, Ovaska y Herman 1986, Maser y Maser 1988, Hall 1991, Johnson 1994a, Bozinovic y Muñoz-Pedreras 1995a, McIlwee y Johnson 1998, Cázares y cols. 1998, Colgan y Claridge 2002, Mangan y Adler 2000; 2002). En estos lugares, se ha reportado el consumo de estructuras fúngicas, tanto de hongos epigeos como hipogeos, el valor nutricional de estos hongos para los consumidores, su papel como dispersores de esporas y su importancia como especies clave para el mantenimiento de algunos ecosistemas forestales. Sin embargo, las investigaciones a este respecto se han desarrollado pobremente en nuestro país.

En México, la evidencia existente sobre micofagia en animales acumulada hasta la fecha se basa principalmente en investigaciones cuyo principal objetivo no ha sido el estudio *per se* de esta interacción. Por ejemplo, Trappe y Guzmán (1971) reportaron esporocarpos de *Melanogaster ambiguus* aparentemente consumidos por cerdos, en una zona boscosa del estado de Morelos. Asimismo, Polaco y cols. (1982) reportaron la presencia de fructificaciones de Agaricales y Gasteromicetos en nidos de la rata montera (*Neotoma mexicana*), sugiriendo que estos hongos son incluidos en su dieta. Por otro lado, en un estudio sobre el aguti mexicano (*Dasyprocta mexicana*), Estrada-Croken y cols. (1996) reportaron la inclusión de especies de *Agaricus*, *Lactarius*, *Pleurotus*, *Polyporus* y *Auricularia* como parte de su dieta. Valenzuela y cols. (2004) comprobaron la presencia de esporas y tejido fúngico en el tracto digestivo de ratones silvestres al estudiar la acumulación de radiactividad en hongos y su relación con los roedores en un bosque del centro de México. Finalmente, Jiménez y cols. (2005) reportaron micofagia por ratones en los bosques templados de Tamaulipas, sin embargo, la información generada no es

precisa. De esta forma, en nuestro país no existen estudios directos y sistemáticos enfocados a la determinación de especies micófagas, su interacción con el recurso fúngico y la variación espacial y temporal de esta relación. Estudios de este tipo en los distintos ambientes de México son necesarios para sentar las bases de futuras líneas de investigación, enfocadas a determinar el papel que tienen los animales micófagos en el mantenimiento de determinados tipos de vegetación. El presente estudio se enfoca precisamente en esta dirección.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Nuestro país tiene una de las mayores riquezas de especies fúngicas (Guzmán, 1998) y de mamíferos (Ceballos y cols. 2002) a nivel mundial, lo cual sugiere un alto potencial para interacciones tróficas mamífero-hongo. En este sentido, los roedores son un grupo particularmente interesante para evaluar su papel como micófagos, ya que se ha reportado que muchos de ellos incluyen hongos como parte de sus dietas (Hayes y cols. 1986, Mangan y Adler 2000, Orrock y cols. 2003). Además, estos organismos representan a los principales consumidores y dispersores de semillas de especies arbóreas en muchos ambientes forestales (Pirozynski y Malloch, 1988, Sánchez-Rojas y cols. 2004), las cuales usualmente establecen asociaciones mutualistas obligadas con hongos micorrizógenos.

El volcán de la Malinche es una zona rica en especies de hongos epigeos e hipogeos, los cuales varían espacial y temporalmente. Observaciones de campo en este sitio, han evidenciado que existen señales frecuentes de consumo por algunas especies de mamíferos en los esporocarpos de los hongos. Por ello, es interesante evaluar si el recurso fúngico representa una fuente alimenticia para los ratones silvestres de La Malinche, determinar las especies fúngicas que son consumidas, las especies de ratones que los consumen y la variación espacial y temporal de esta interacción. El presente estudio es el primero de su tipo en México y sentará las bases para determinar el papel que los ratones micófagos tienen en el funcionamiento de los bosques de la región.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general:**

Describir la micofagia por roedores en tres diferentes ambientes del bosque templado del Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala.

### **4.2 Objetivos particulares:**

- Evaluar los niveles de micofagia encontrados en una zona de pastizal, una de bosque de pino-oyamel y una de bosque de oyamel.
- Identificar a las especies de ratones que consumen cuerpos fructíferos de hongos en estos ambientes del bosque templado.
- Identificar las especies de hongos que son consumidas por este grupo de ratones.
- Evaluar si existe variación espacial y temporal en el consumo de estas especies de hongos.

## 5. MÉTODOS

### 5.1. Sitios de estudio

El trabajo fue realizado en la Cañada Grande del Parque Nacional La Malinche, ubicada en la ladera este del volcán del mismo nombre, en el municipio de Huamantla, Tlaxcala. Con una longitud de casi 5 kilómetros, la altitud del sitio varía entre 3,000 m en su porción más baja y 3,700 en la más alta. Su parte inferior es amplia y conforme se va ascendiendo se vuelve más estrecha, con un relieve casi plano y un desnivel de más de 500 m entre el fondo de la cañada y sus paredes. La vegetación está representada por tres tipos de asociaciones: a) Pastizales de *Muhlenbergia macroura*, *Stipa ichu* y *Eragrostis bartieri* en las partes más bajas, con *Senecio cinerarioides* y *S. salignus* como los componentes arbustivos más representativos, b) bosque de pino, con *Pinus montezumae* como elemento dominante, mezclado con diversos arbustos como *Senecio cinerarioides*, *S. salignus*, *Baccharis conferta* y *Eupatorium glabratum*, y c) bosque de oyamel, vegetación siempre verde, densa y alta, con un dosel superior de 20 a 35 m y con *Abies religiosa* como el principal elemento arbóreo, aunque en algunas partes de la cañada se encuentra cohabitando con *Pinus montezumae* (en las partes bajas) o con *P. hartwegii* (en las partes bajas) (Acosta y Kong 1991). La precipitación media anual es de 800 mm y la temperatura media anual es de 15° C. El clima es templado y húmedo la mayor parte del año, con una temporada seca y fría de octubre a febrero (Díaz-Ojeda 1992).

Para el estudio, se seleccionaron tres ambientes representativos de la cañada: (1) pastizal con individuos dispersos de *Pinus montezumae* y rodeado por bosquetes de *Abies religiosa* (19° 14' 39'' Norte, 97° 59' 27'' Oeste, a 3131 m.), (2) bosque de pino (*Pinus montezumae*) y oyamel (19° 17' 58'' Norte, 98° 14' 37'' Oeste, a 3197m.) y 3) bosque de oyamel (19° 14' 40'' Norte, 98° 10' 17'' Oeste, a 3264 m.). En estos dos últimos

ambientes, también se encuentran algunos manchones de pastizal entremezclados. Según Acosta y Kong (1991), asociados con estos bosques se pueden encontrar numerosas especies de hongos, principalmente ectomicorrizógenas, aún en aquellos sitios en donde el bosque ha sido fuertemente alterado y ha sido sustituido por pastizales.

## 5.2. Estimación de niveles de micofagia

Durante los meses de diciembre del 2003 a noviembre de 2004, en cada uno de los tipos de ambiente se estableció al azar un área de 5,000 m<sup>2</sup>, la cuál fue subdividida en dos cuadrantes de 50 x 50 m<sup>2</sup>. Mensual y aleatoriamente, se seleccionó uno de los cuadrantes por cada sitio a lo largo del estudio. En ellos se realizaron las evaluaciones de los niveles de micofagia en las épocas de lluvia y la captura de ratones durante todo el año.

La evaluación de los niveles de micofagia se realizó de mayo a octubre del 2004. Mensualmente y dentro de cada cuadrante se seleccionaron al azar 10 subcuadrantes de 7 x 10 m, en donde se ubicó la presencia de todos los cuerpos fructíferos de hongos de las familias Boletaceae y Russulaceae. Estos grupos fueron escogidos debido a su abundancia en los sitios y a que usualmente presentan evidencias de consumo por mamíferos. Los cuerpos fructíferos fueron identificados, contados y recolectados con un esfuerzo de un solo día en cada monitoreo mensual. Se evaluaron sólo dos ambientes (asociación pino-oyamel y bosque de oyamel) debido a que no se encontraron fructificaciones en los cuadrantes que tocó evaluar en el pastizal.

Para evaluar los niveles de micofagia en campo, se calculó un índice de micofagia (IM), análogo a los utilizados para determinar herbivoría (Dirzo y Domínguez y 1995) y micofagia por artrópodos (Guevara y Dirzo 1999). Para esto, se realizó una estimación del



de área consumida, a cada una de las estructuras que conforman un cuerpo fructífero: píleo, himenóforo y estípite, asignando una de las siguientes categorías:

<i>Categoría</i>	<i>Porcentaje de daño</i>
0	no daño
1	(1-6]
2	(6-12]
3	(12-25]
4	(25-50]
5	(50-100]

El índice de micofagia fue calculado por sitios, meses y grupos taxonómicos de hongos, a partir de la siguiente fórmula:

$IM = \sum (n_i) (i) / N$ , en donde:

$N$  = Número de cuerpos fructíferos de la muestra

$i$  = Categoría de daño

$n_i$  = Número de cuerpos fructíferos en la categoría  $i$

El material recolectado se herborizó para incorporarlo a la colección de hongos del Herbario TLXM del Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

### 5.3. Captura de ratones silvestres

De diciembre 2003 a noviembre de 2004, con un esfuerzo de muestreo de un día por mes, se colocaron por la tarde (entre las 16 y 18 h) 48 trampas Shermann cebadas con avena en el cuadrante seleccionado de cada ambiente. Las trampas fueron revisadas al siguiente día por la mañana. Los ratones capturados fueron pesados, medidos, sexados e identificados con la ayuda de claves taxonómicas (Ceballos y Galindo 1984) y del personal de la

colección de mamíferos de la Facultad de Agrobiología de la UAT. Las excretas depositadas en cada trampa fueron recolectadas en crioviales estériles que contenían una solución de formaldehído al 10%. Los crioviales fueron etiquetados y almacenados a temperatura ambiente hasta el análisis de contenido en laboratorio. Después de su manipulación, los ratones fueron liberados en los sitios de su captura, a menos que fuera requerida la corroboración de su identificación taxonómica. Los ejemplares recolectados fueron preparados para su inclusión en la colección de mamíferos de la institución antes mencionada.

#### **5.4. Procesamiento de excretas**

El procesamiento de excretas e identificación de los grupos de hongos presentes en ellas, se realizó de acuerdo con la metodología de Hayes y cols. (1986). Cada muestra contenida en un criovial fue macerada y una submuestra de 0.5 g fue disuelta en 10 ml de agua destilada estéril, adicionando una gota de Tween 80 [monoleato de sorbitan polioxietileno (20)]. Una gota de la solución resultante fue colocada en una cámara de Newbauer para realizar la cuantificación de las esporas y observar micelios y otros tejidos fúngicos, lo cual se hizo a través de un microscopio de contraste interferencial de Nomarski. La identificación de las esporas se realizó siguiendo las claves de Castellano y cols. (1989).

#### **5.5. Análisis estadísticos**

Para verificar si existían diferencias espaciales (entre los sitios de pastizal, bosque de pino-oyamel y bosque de oyamel), temporales (meses de mayo a octubre) o entre las especies de ratones en los niveles de consumo, se realizaron análisis estadísticos considerando los índices de micofagia y las categorías de daño. Para el primer caso se realizaron pruebas de U de Mann-Whitney o Kruskal-Wallis dependiendo del número de

grupos a comparar (Zar 1999). Para corroborar si la distribución de frecuencias de las categorías de daño éran independientes del ambiente, de los meses del año o del grupo taxonómico, se aplicó una prueba de  $G$  de bondad de ajuste (Zar 1999).

Las diferencias en los porcentajes de daño estimados para cada parte de los cuerpos fructíferos de los hongos, independientemente de los sitios de muestreo, fueron verificadas por medio de una prueba de Friedman (Zar 1999). Estas mismas comparaciones se analizaron para cada uno de los sitios estudiados y para cada una de las tres especies fúngicas más abundantes.

La comparación en la proporción de excretas de ratones con y sin presencia de esporas entre sitios de muestreo se realizó usando una prueba de  $X^2$  (Zar 1999). Para determinar si el número de individuos con y sin presencia de esporas en sus excretas es independiente de la especie a la que pertenecen, se utilizó una prueba de  $G$  (Zar 1999).

Se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener de los grupos de hongos encontrados en las excretas de ratones tanto por ambiente como por mes de muestreo. El índice de diversidad de Shannon-Wiener se expresa a través de la formula:

$$H' = \sum p_i (\ln p_i)$$

dónde:  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$  ( $p_i = n_i/N$ ), valorada a través de  $n_i$  = número de individuos de la especie  $i$  y  $N$  = número total de individuos. Estos índices sólo fueron analizados de forma descriptiva.

Por último se elaboraron gráficas de barras con las frecuencias en que cada grupo fúngico fue encontrado en las excretas de los ratones por cada mes, y por especie de ratón-ambiente.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Niveles de micofagia

La estimación de niveles de micofagia sólo se llevo a cabo en los sitios de bosque pino-oyamel y bosque de oyamel, debido a que en el pastizal no se encontraron cuerpos fructíferos dentro de los cuadrantes seleccionados a lo largo del estudio. Asimismo, sólo se encontraron cuerpos fructíferos en los cuadrantes muestreados de Mayo a Octubre (con excepción de Junio en donde no hubo presencia de éstos en ningún sub-cuadrante), por lo que los análisis se enfocaron a los datos recolectados en este periodo.

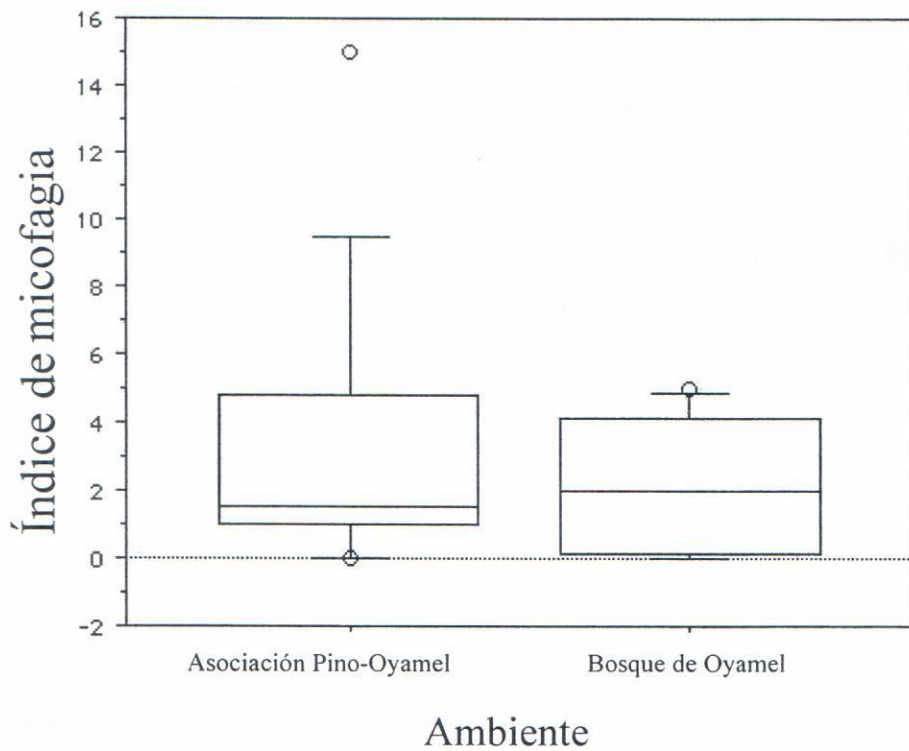
El análisis de los niveles de consumo a través de los índices de micofagia registrados determinó que no existen diferencias significativas entre los sitios de muestreo ( $U=24$ ,  $P=0.9$ , Figura 1) y entre los grupos taxonómicos de hongos comparados ( $U=27$ ,  $P=0.95$ , Figura 2). Por otro lado, independientemente de los grupos de hongos y de los sitios de muestreo, no se encontraron diferencias significativas con respecto a los índices de micofagia estimados entre los meses de estudio ( $H_{3,23}=0.79$ ,  $P=0.85$  Figura 3).

Los resultados obtenidos a través de las pruebas de bondad de ajuste de G determinaron que las frecuencias de las categorías de daño estimadas no son independientes del sitio ( $G=53.69$ ,  $P < 0.05$ ; Figura 4), ni del mes de muestreo ( $G=43.38$   $P < 0.05$ , Figura 5). Pruebas posteriores de bondad de ajuste de G, comparando pares de meses, demostraron que las frecuencias de categorías de daño no son independientes en las comparaciones entre Julio-Agosto ( $G=24.77$ ,  $P < 0.05$ ), Julio-Septiembre ( $G=14.82$ ,  $P < 0.05$ ), Julio-Octubre ( $G=23.67$ ,  $P < 0.05$ ) y Agosto-Septiembre ( $G=112.08$ ,  $P < 0.05$ ).

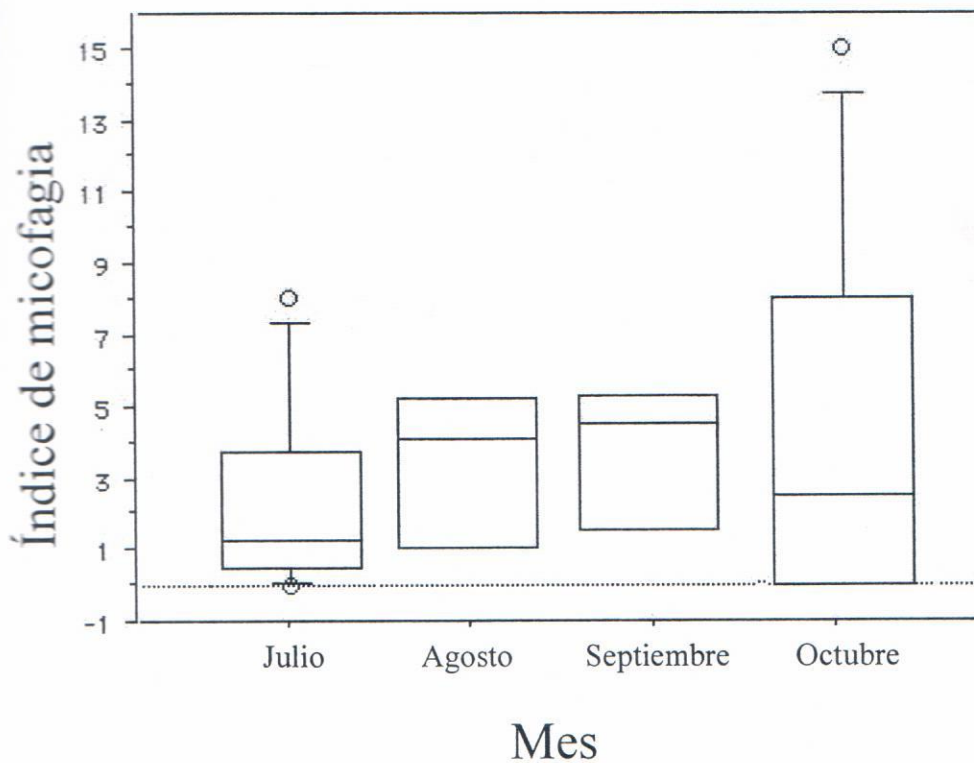
Al mismo tiempo, encontramos que las frecuencias de las categorías de daño estimadas no son independientes del grupo taxonómico de hongos, ( $G=44.99$ ,  $P < 0.05$ , Figura 6).

El análisis estadístico del porcentaje de daño estimado en las distintas estructuras de los hongos, independientemente del sitio en donde se registraron, demostró que existen diferencias significativas entre ellas ( $T= 7.97$   $P= 0.018$ , Figura 7). Las comparaciones pareadas demostraron que el porcentaje de daño es distinto entre píleo y estípite ( $Q=3.99$ ,  $Q_t= 3.14$ ,  $P<0.05$ ), pero no entre píleo e himenóforo ( $Q=2.15$ ,  $Q_t= 3.14$   $P>0.05$ ), ni entre himenóforo y estípite ( $Q=1.83$ ,  $Q_t= 3.14$ ,  $P>0.05$ ).

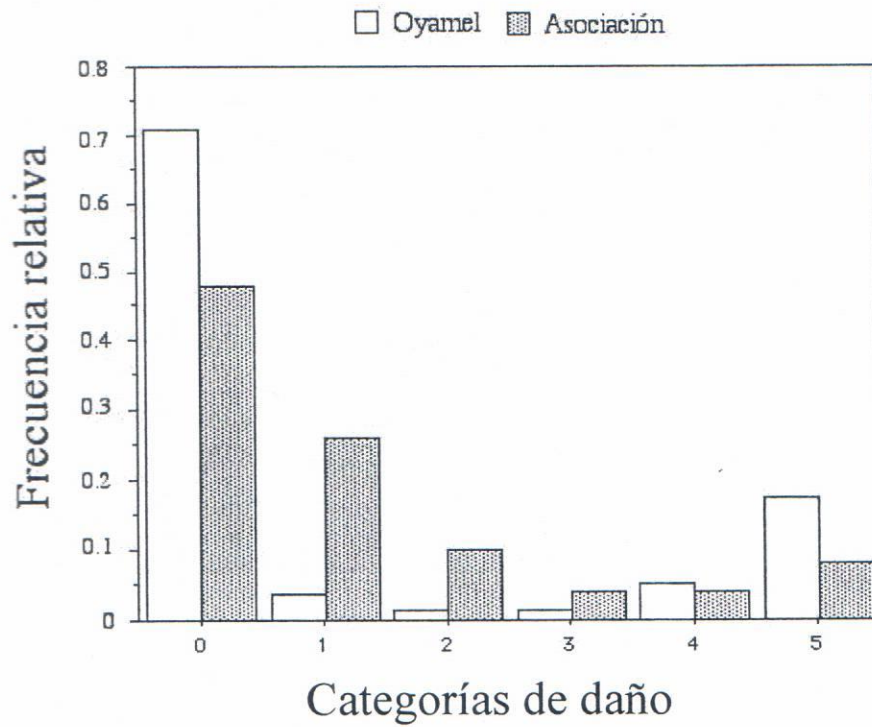
Asimismo, al hacer estas comparaciones en cada uno de los sitios, no encontramos diferencias significativas en el bosque de oyamel ( $T=-18.58$ ,  $P>0.05$ ), pero si en el de pino-oyamel ( $T=18.52$ ,  $P<0.05$ ). Asimismo, registramos diferencias significativas entre píleo e himenóforo ( $Q=6.05$ ,  $Q_t= 3.14$ ,  $P>0.05$ ), píleo y estípite ( $Q=4.89$ ,  $Q_t= 3.14$   $P>0.05$ ), pero no entre himenóforo y estípite ( $Q=1.16$ ,  $Q_t= 3.14$   $P<0.05$ ). El análisis del porcentaje de daño estimado en las estructuras de las tres especies de hongos más abundantes en ambos sitios (*Lactarius aff. villosus*, *Russula grisaciens* y *R. sub. Laricinae*), demostró que no existen diferencias significativas entre las estructuras de *R. grisaciens* ( $T=1.36$ ,  $P> 0.05$ ) y *R. sub. Laricinae*. ( $T= 4.2$ ,  $P> 0.05$ ), pero si entre las de *Lactarius aff. villosus* ( $T= 28.93$ ,  $P<0.05$ ), siendo significativamente distintas las comparaciones en esta especie entre píleo e himenóforo ( $Q=7.61$ ,  $Q_t= 3.14$ ,  $P<0.05$ ), himenóforo y estípite ( $Q=3.53$ ,  $Q_t= 3.14$ ,  $P<0.05$ ) y píleo y estípite ( $Q=4.07$ ,  $Q_t= 3.14$ ,  $P<0.05$ ).



**Figura 1.** Comparación de índices de micofagia ocasionada por pequeños mamíferos a los cuerpos fructíferos presentes durante la temporada de lluvias en bosques de pino-oyamel y de oyamel. Los datos en el gráfico representan mediana, rango intercuartil y valores mínimo y máximo, además de los valores extremos.

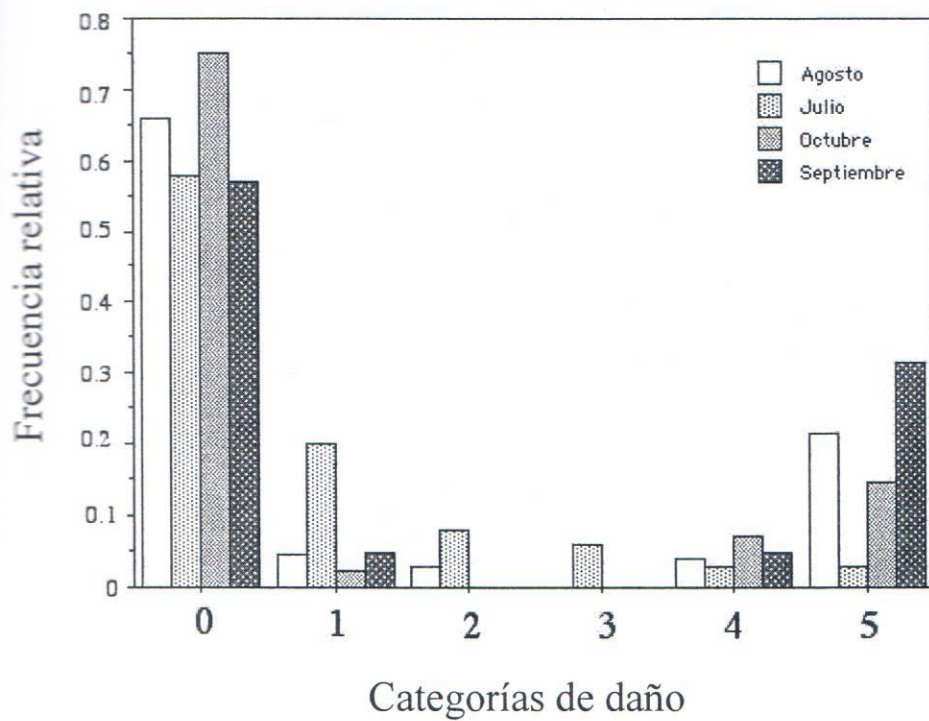


**Figura 3.** Comparación de los índices de micofagia ocasionada por pequeños mamíferos a los cuerpos fructíferos de los hongos evaluados mensualmente a lo largo del estudio. Los datos en el gráfico representan mediana, rango intercuartil y valores mínimo y máximo, además de los valores extremos.

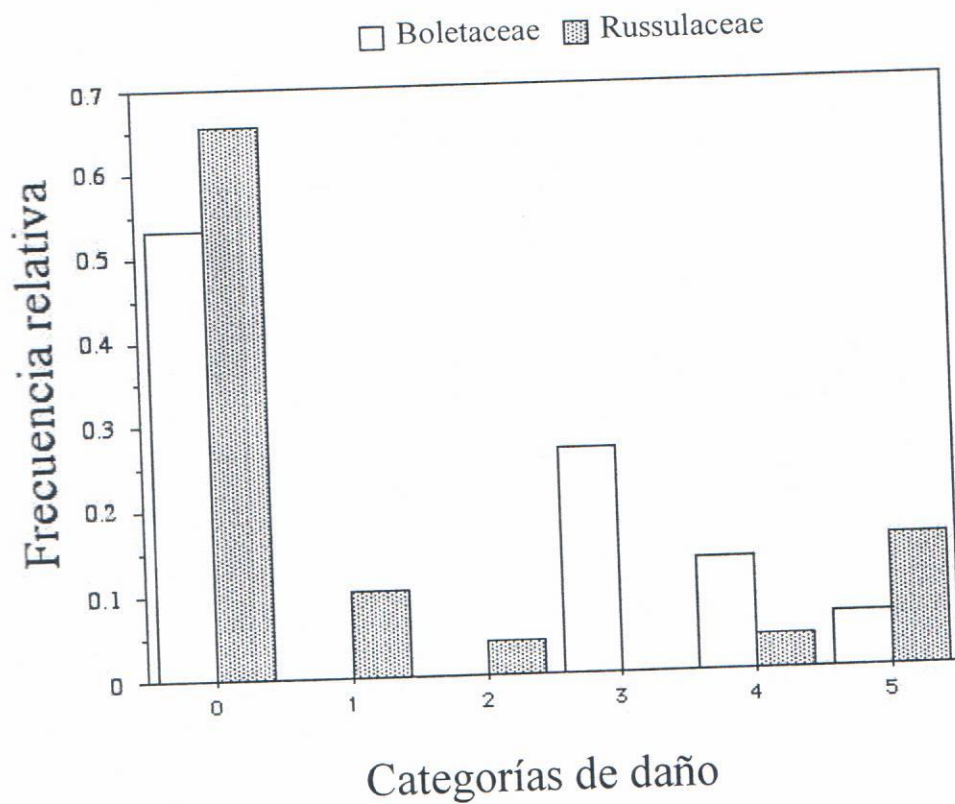


**Figura 4.** Frecuencias relativas de las categorías de daño de los hongos registrados en los sitios de asociación pino-oyamel y bosque de oyamel (donde 0 es sin daño y 5 es con > 50% del daño en el cuerpo fructífero).

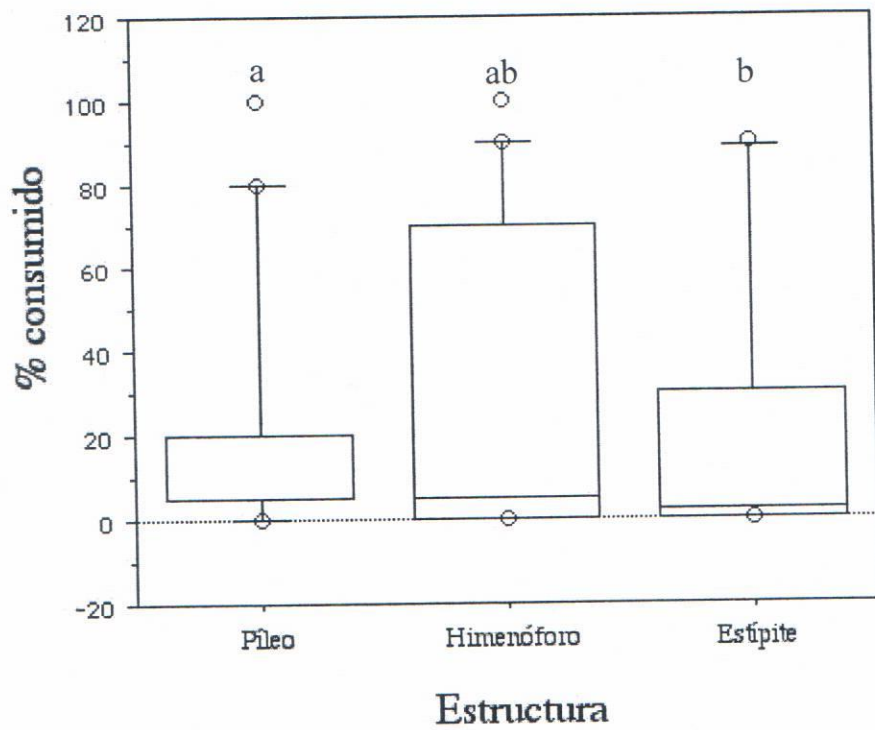




**Figura 5.** Frecuencias relativas de las categorías de daño de los hongos registrados a lo largo de los meses de estudio (donde 0 es sin daño y 5 es con > 50% del daño en el cuerpo fructífero).



**Figura 6.** Frecuencias relativas de las categorías de daño registradas en los dos grupos taxonómicos de hongos evaluados (donde 0 es sin daño y 5 es con > 50% del daño en el cuerpo fructífero).



**Figura 7.** Porcentaje del área consumida por pequeños mamíferos de acuerdo con cada estructura de los hongos (píleo = *sombrero*, himenóforo = *láminas*, estípite = *pie*). Los datos en el gráfico representan mediana, rango intercuartil y valores mínimo y máximo, además de los valores extremos. Letras iguales significa que no hay diferencias entre estructuras.

## 6.2. Ratones micófagos

Once especies de ratones fueron capturadas de Noviembre 2003 a Diciembre 2004. En el pastizal se capturaron 9 especies: el ratón de los volcanes *Neotomodon alstoni* (Merriam, 1898), *Reithrodontomys sumichrasti* (Saussure, 1861), *R. chrysopsis* (Merriam 1900), *R. megalotis* (Baird, 1858), *R. fulvescens* (J.A. Allen, 1894), *Peromyscus levipes* (Merriam, 1898), *M. mexicanus* (Saussure, 1861), el ratón piñero *P. gratus* (Merriam, 1898) y una especie de *Reithrodontomys* no identificada. En el bosque de pino-oyamel capturamos 8 especies de ratones: *N. alstoni*, *R. sumichrasti*, *R. chrysopsis*, *R. megalotis*, *R. fulvescens*, *P. levipes*, *P. maniculatus* (Wagner, 1845) y *P. melanotis* (J. A. Allen y Chapman, 1897). Por último, en el bosque de oyamel se capturaron 5 especies: *N. alstoni*, *R. sumichrasti*, *P. gratus*, *P. maniculatus* y *P. melanotis*.

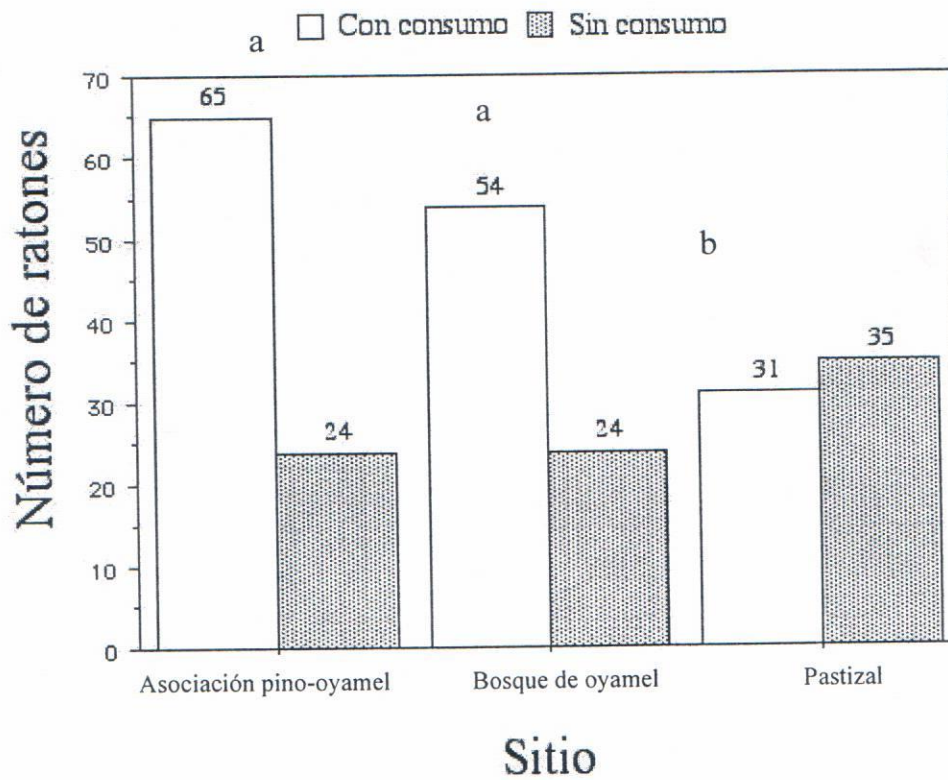
A través del análisis de las excretas de los ratones capturados en cada muestreo y sitio, se encontró que 5 especies de ratones en el pastizal, 6 en la asociación pino-oyamel y todas las registradas en bosque de oyamel mostraron presencia de esporas de hongos (Tabla 1). *Reithrodontomys sumichrasti* y *N. alstoni* se encontraron en los tres ambientes estudiados, sin embargo, el ratón de los volcanes fue la única especie en donde se encontraron evidencias de consumo de hongos en las excretas recolectadas en los tres ambientes.

## 6.3. Hongos registrados en excretas

La determinación de los grupos de hongos presentes en las excretas de ratones evaluadas durante el estudio, demostró que once diferentes grupos de hongos son potencialmente consumidos por estos roedores. Sin embargo, no todas las especies de ratones presentan en sus excretas esporas de los mismos grupos de hongos (Tabla 2). Los ratones con mayor

riqueza de grupos de hongos encontrada en sus excretas fueron *Peromyscus melanotis*, *P. maniculatus* y *N. alstoni*.

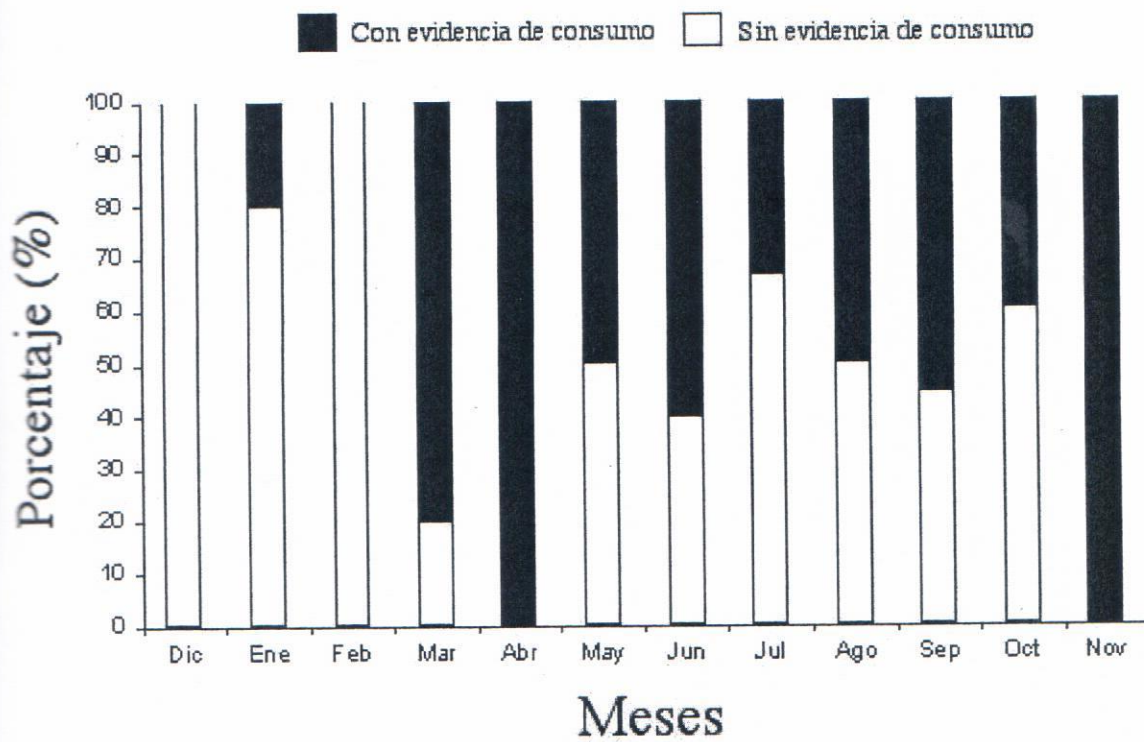
La comparación del número de ratones capturados con y sin presencia de esporas en sus excretas entre los sitios de muestreo mostró diferencias significativas ( $X^2= 12.4$ ,  $P<0.05$ , Figura 8). Las comparaciones entre pares de sitios demostraron que pastizal-bosque de pino-oyamel ( $X^2= 10.9$ ,  $P<0.05$ ) y pastizal-bosque de oyamel ( $X^2= 7.3$ ,  $P<0.05$ ) son estadísticamente distintos, pero no la comparación entre bosques de pino-oyamel y de oyamel ( $X^2= 0.27$ ,  $P>0.05$ ). El análisis del número de ratones con y sin evidencia de esporas en sus excretas a través de una prueba de G, demostró que los valores registrados son independientes de la especie de ratón a la que pertenecen ( $G= 7.81$ ,  $P>0.05$ ).



**Figura 8.** Número de ratones capturados en cada sitio de estudio, con y sin evidencia de consumo de hongos. Letras iguales significa que no hay diferencias en la distribución de frecuencias de ratones con consumo y sin consumo entre sitios.

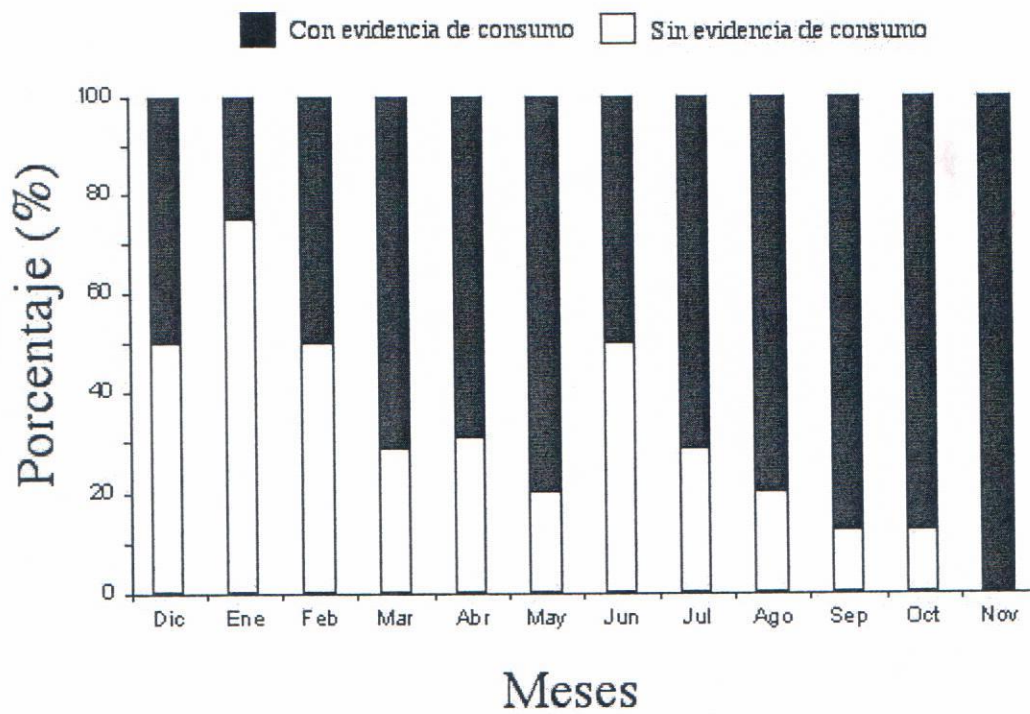
#### **6.4 Variación espacial y temporal en el consumo de hongos**

Los ratones capturados en el sitio de pastizal durante los meses de diciembre y febrero no presentaron esporas en sus excretas. Sin embargo, en abril y noviembre todas las excretas evaluadas las presentaron (Figura 9). En el bosque de pino-oyamel (en particular noviembre) y en el de oyamel (principalmente diciembre, septiembre y noviembre) se encontraron evidencias de consumo de hongos durante todo el año de estudio (Figura 10 y 11 respectivamente).

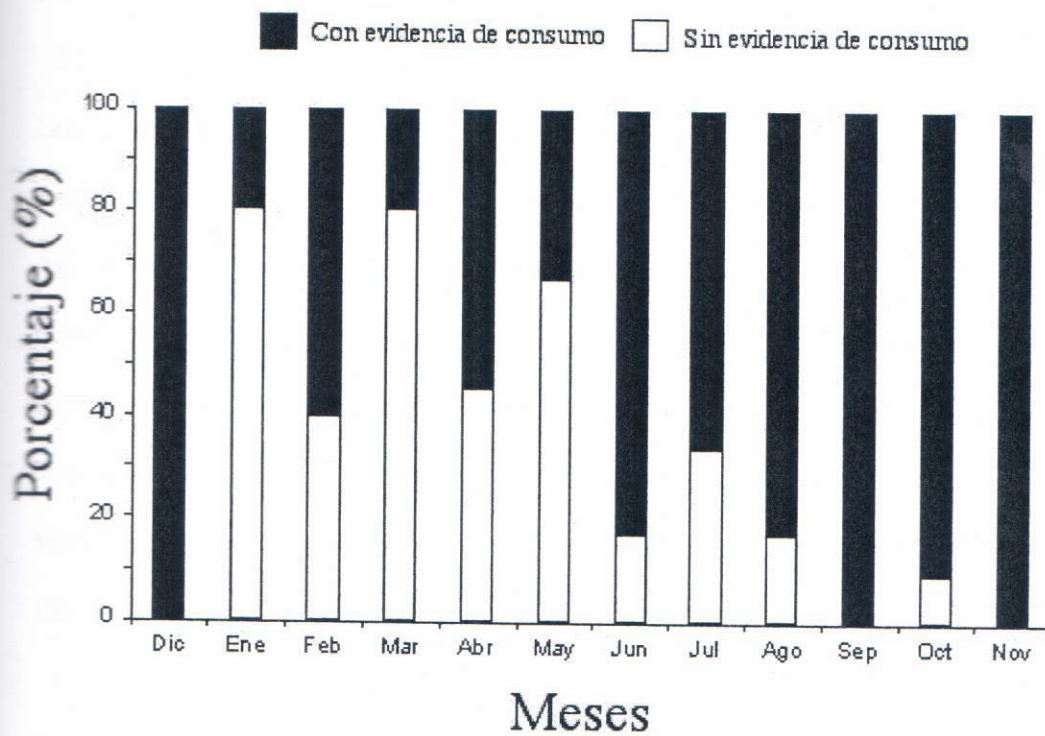


**Figura 9.** Porcentaje de ratones con y sin evidencias de consumo de hongos en el pastizal durante los meses de estudio.





**Figura 10.** Porcentaje de ratones con y sin evidencias de consumo de hongos en el bosque de pino –oyamel.



**Figura 11.** Porcentaje de ratones con y sin evidencias de consumo de hongos en el bosque de oyamel.

## 6.5 Índices de Diversidad

El cálculo de los índices de diversidad (ID) de los grupos de hongos encontrados en las excretas revisadas durante el estudio, independientemente del sitio de muestreo, demostró que los meses de junio, julio y agosto (ID=1.18, 1.37 y 1.15 respectivamente), son los que presentan mayores índices de diversidad, a diferencia del mes de mayo en donde se estimó el menor valor (ID=0.13, Figura 12).

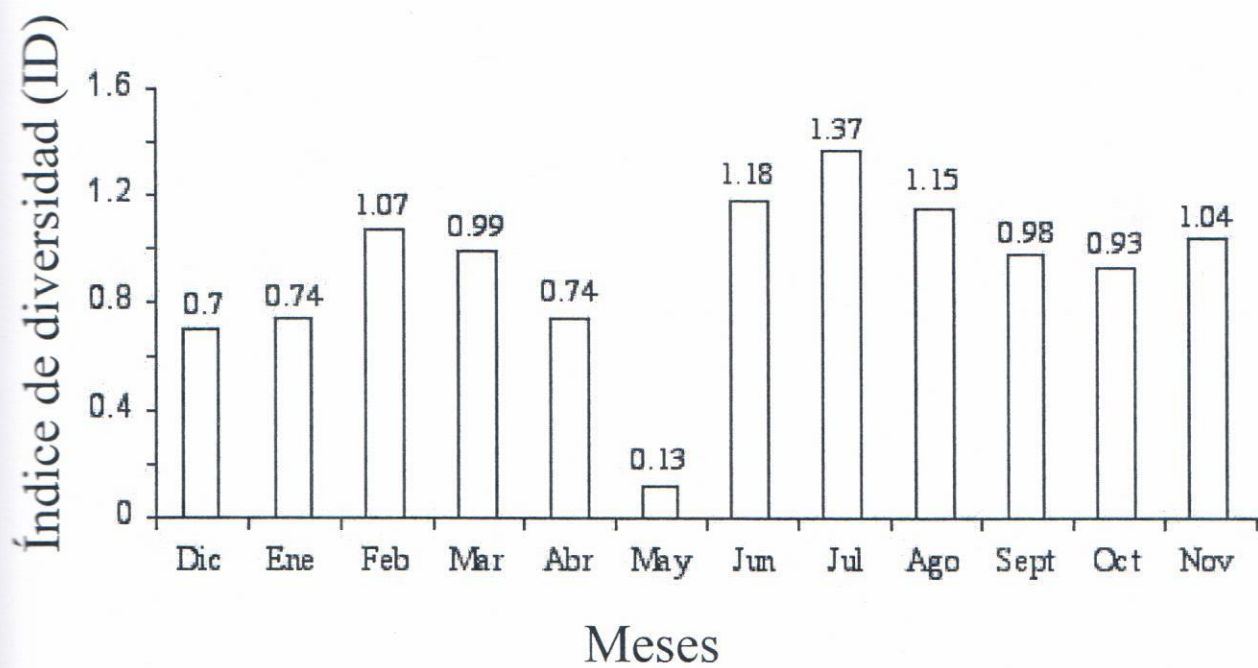
Los grupos de hongos encontrados con mayor frecuencia son los Boletáceos y *Leucophleps* sp., los cuales fueron determinados en 11 de los 12 muestreos realizados; mientras que *Gautieria* sp. se encontró en 10 de los muestreos. En contraste, los Agaricales, Gasteromycetes y Telephoráceos, fueron los grupos registrados una sola ocasión (los dos primeros en Agosto y el otro grupo en Noviembre). El mes en donde se encontró mayor diversidad de grupos de hongos fue Agosto con 9 de los 11 grupos de hongos determinados, seguido de Julio con 7 grupos, mientras que los meses de Enero y Marzo fueron los que presentaron menor número de grupos fúngicos, con sólo 3 (Figura 13).

Los ID estimados para cada ambiente demostraron que el pastizal es el más diverso (ID=1.62), seguido del bosque de oyamel (ID=1.56) y del sitio de asociación pino-oyamel (ID=0.86, Figura 14). Los ID estimados para cada mes y por ambiente mostraron que en el sitio de oyamel hay presencia de esporas de distintos grupos de hongos en todo el año, excepto Marzo y Agosto. En el sitio de asociación pino-oyamel la mayor diversidad se da de Febrero a Noviembre, y en el pastizal se encuentra en Marzo y de Julio a Noviembre (Figura 15).

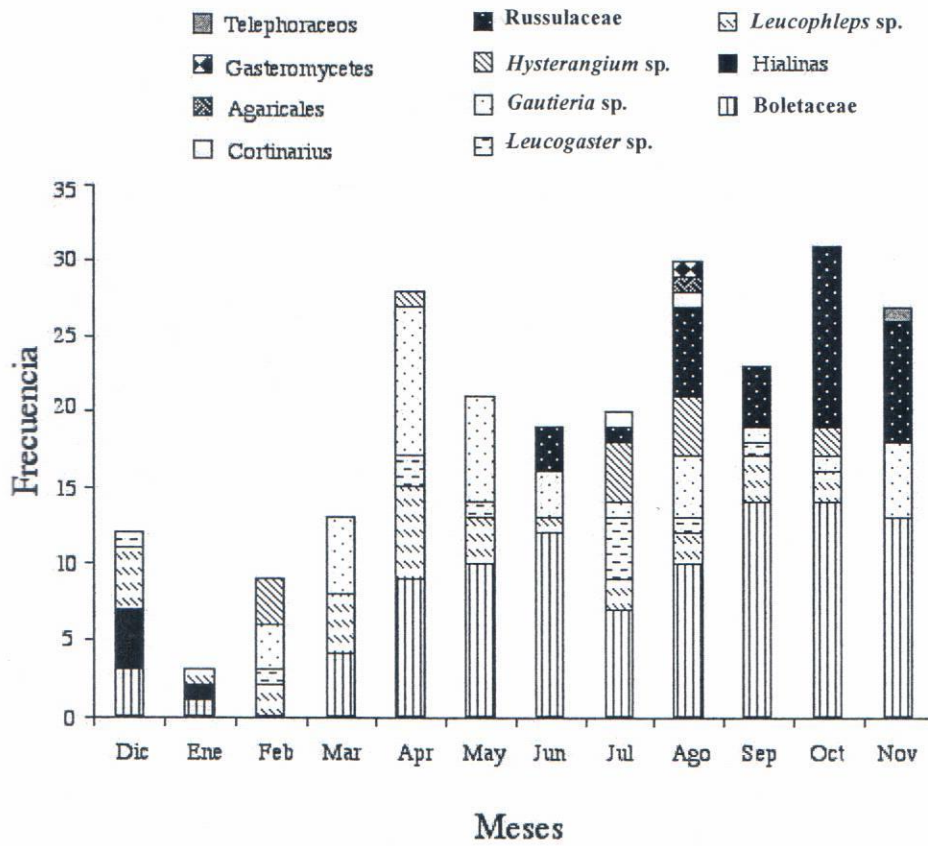
Los ID estimados considerando las especies de ratón independientemente del sitio de captura, demostraron que los ratones de las especies *P. melanotis*, *N. alstoni*, *P. levipes* y

*P. maniculatus* son los que presentaron los mayores índices de diversidad de esporas en sus excretas (Figura 16). Al considerar el sitio de captura, los ID muestran que los individuos de *N. alstoni* presentan altos valores en los tres sitios de muestreo. Los individuos de *P. maniculatus* capturados en oyamel presentaron los mayores valores con respecto a las otras especies de ratones y a los otros sitios. Mientras que *P. gratus* mostró el menor valor de ID para el sitio de oyamel.

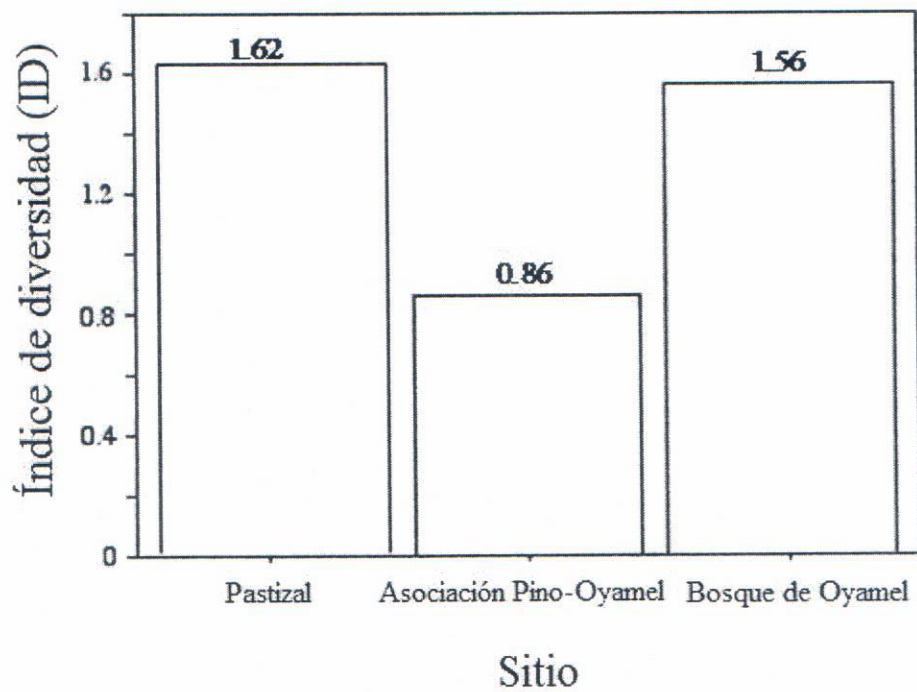
Por último, al graficar las frecuencias de los grupos de hongos presentes en las excretas de cada especie de ratón y para cada sitio de muestreo, encontramos que los grupos más frecuentes de hongos que consumen la mayoría de las especies de ratones en el bosque de pino-oyamel son los Boletáceos, *Leucophleps* sp., *Hysterangium* sp. y los Russuláceos. En el bosque de oyamel, los grupos de hongos más frecuentemente consumidos por las especies de roedores son los Boletáceos, Russuláceos y *Gautieria* sp. En el pastizal, la especie más frecuentemente consumida fue *Gautieria* sp., seguida de *Leucogaster* sp., *Leucophleps* sp. y los Russuláceos. Cabe resaltar que los tipos de hongos menos representadas en los tres sitios muestreados fueron las de los Gasteromycetes y los Agaricales, además de unas esporas hialinas no determinadas (Figura 17).



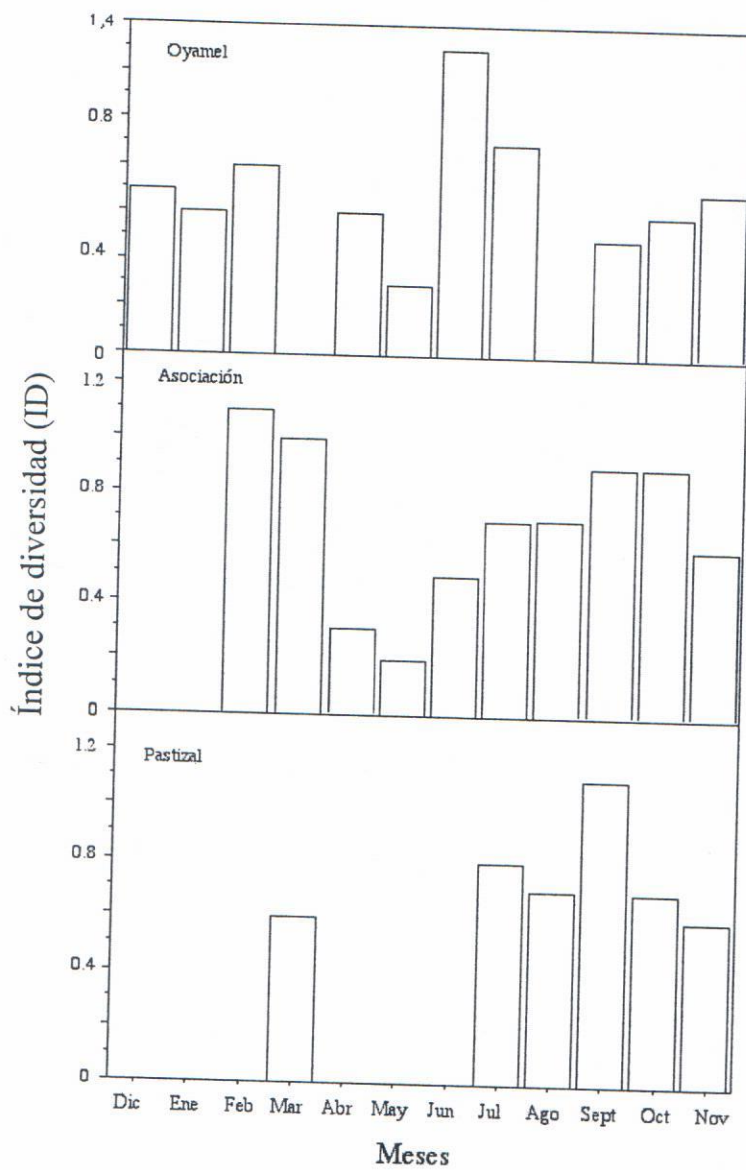
**Figura 12.** Índice de Diversidad de los grupos taxonómicos de hongos encontrados en las excretas de los ratones durante los meses de estudio.



**Figura 13.** Frecuencia de los grupos de hongos encontrados en las excretas de los ratones capturados en cada mes de estudio.

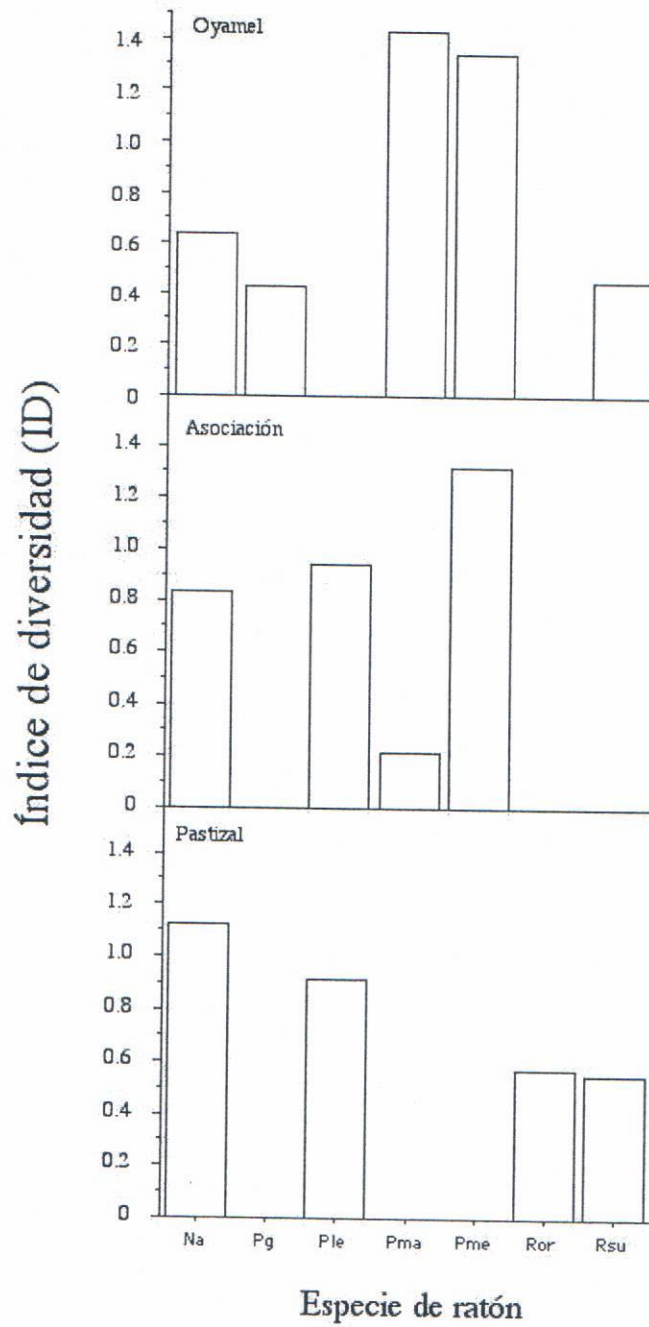


**Figura 14.** Índices de diversidad de grupos de hongos en cada uno de los tres ambientes estudiados durante el año de estudio.

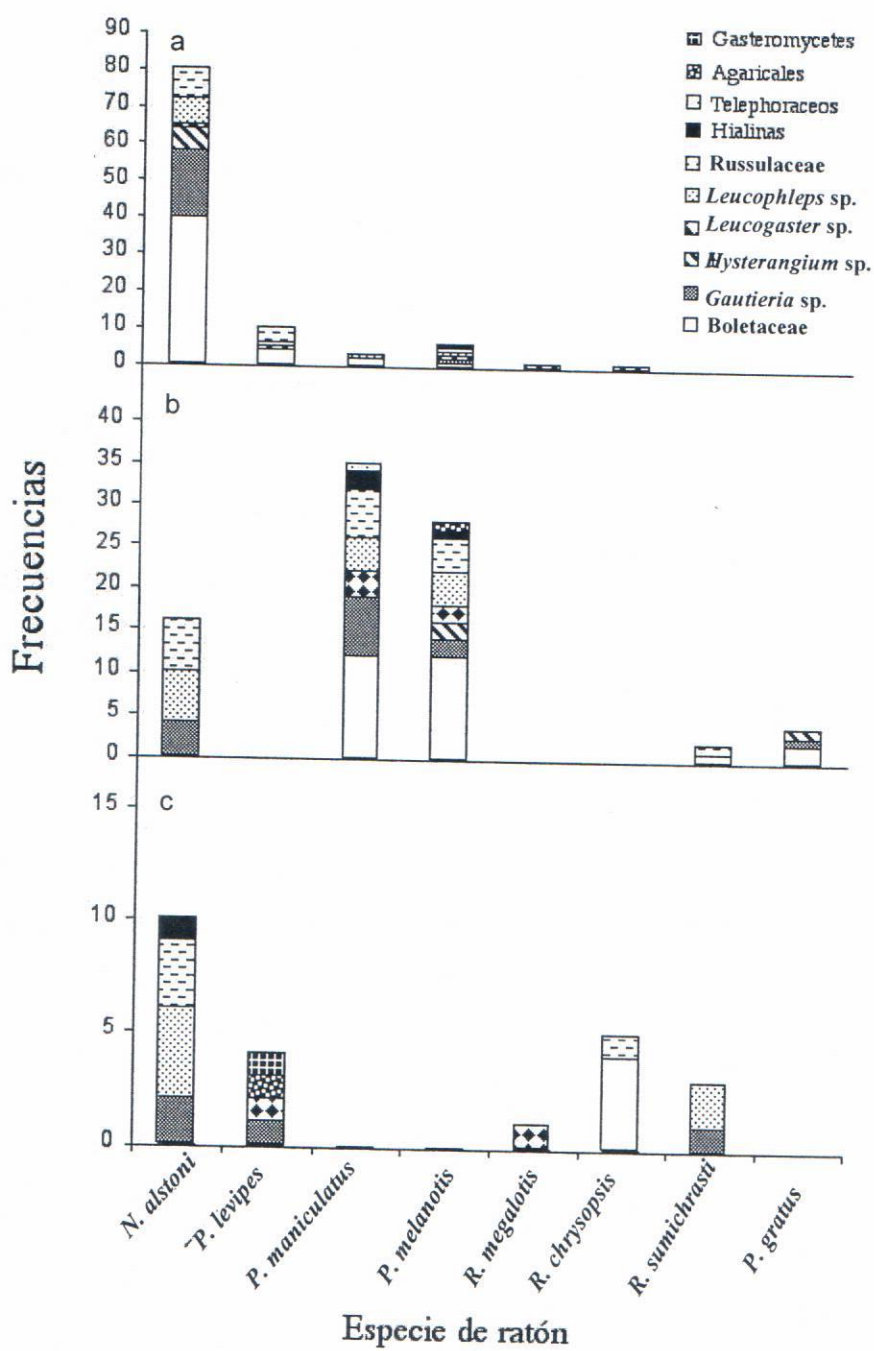


**Figura 15.** Índices de diversidad de los hongos registrados en cada tipo de ambiente y por cada uno de los meses de estudio.





**Figura 16.** Índices de diversidad de los hongos registrados para cada especie de ratón y ambiente. Na= *Neotomodon alstoni*, Pg= *Peromyscus gratus*, Ple= *P. levipes*, Pma= *P. maniculatus*, Pme= *P. melanotis*, Rcr= *Reithrodontomys chrysopsis*, Rsu= *R. sumichrasti*.



**Figura 17.** Frecuencia de los grupos de hongos registrados por especie de ratón y ambiente. a) asociación pino y oyamel, b) bosque de oyamel, c) pastizal.

## 7. DISCUSIÓN

El consumo de hongos por roedores es un fenómeno conocido en diversas partes del mundo (Trappe y Maser 1976, Cázares y Trappe 1994, Johnson 1994b, Bozinovic y Muñoz-Pedrerros 1995a, Winter y Johnson 1995, Cázares y cols. 1998, Claridge y cols. 2001). Sin embargo, en nuestro país no existen a la fecha estudios cuyo propósito sea la evaluación sistemática de este fenómeno y el presente trabajo representa el primer intento a este respecto. A través de las dos aproximaciones utilizadas en este estudio, (1) la estimación del consumo por pequeños mamíferos de grupos de hongos relativamente abundantes en la zona de estudio, y (2) la determinación de las especies fúngicas consumidas por ratones silvestres, hemos demostrado que los hongos son un recurso que los pequeños mamíferos silvestres utilizan como parte de sus dietas, sin embargo, no sabemos que tan importantes son con respecto a otros alimentos que consumen, ya que para esto se necesitan hacer otro tipo de estudios.

En la primera aproximación utilizada en nuestro trabajo y tras la implementación de un índice de fungivoría comparable a los índices de herbivoría utilizados en los estudios con plantas (Dirzo y Domínguez 1989) o de fungivoría para otros grupos de animales (Guevara y Dirzo 1999), demostramos que en los bosques de oyamel y de pino-oyamel, los hongos de las familias Russulaceae y Boletaceae presentaron evidencias de consumo a lo largo de su temporada de fructificación. Las marcas de pequeños incisivos en los hongos muestreados en ambos sitios y la presencia de excretas sobre algunas fructificaciones, sugieren que los ratones silvestres se encuentren entre los consumidores de este recurso. Los cuerpos fructíferos con evidencia de consumo se registraron entre Mayo y Octubre, es decir, durante la época de lluvias y el inicio de la época invernal y seca, lo que sugiere que

los hongos forman parte de la dieta de estos consumidores, independientemente de la abundancia de otros alimentos como semillas e insectos.

Aún cuando el registro de la evidencia de consumo en un hongo es importante para determinar su utilización por animales, es también necesario conocer si las estructuras que los conforman son utilizadas diferencialmente. La evaluación de micofagia haciendo este tipo de diferenciación no ha sido considerada hasta ahora en los trabajos existentes, y sólo un estudio ha reportado a través de ratones sacrificados para el análisis de sus contenidos estomacales, que la presencia de los píleos de algunos Agaricales fue más frecuente que la de los estípites (Valenzuela y cols. 2004). De esta forma, los resultados obtenidos en nuestro trabajo aportan información nueva en este sentido. El porcentaje de daño encontrado en las distintas estructuras de los hongos, demostró que éstas son consumidas en distintas intensidades en la zona de asociación pino-oyamel, resultando interesante el hallazgo de que los píleos e himenóforos presentaron porcentajes más altos de consumo, particularmente en los basidiomas de *Lactarius aff. villosus*.

Los resultados obtenidos en esta primera aproximación, demuestran que el recurso fúngico es utilizado de forma constante a lo largo de la época de lluvias. Aunque nuestro estudio se enfocó particularmente en la evaluación de los niveles de consumo en dos grupos (Russulaceae y Boletaceae) relativamente abundantes en los sitios muestreados, es importante considerar que otros grupos de hongos, principalmente especies hipogeas, pueden también ser utilizados en la dieta de diversos animales. Estudios futuros deben considerar la inclusión de un mayor grupo de especies de hongos para poder determinar la importancia global de los hongos en los ambientes templados como recurso alimenticio.

Nuestra segunda aproximación de estudio, consistente en la determinación de las especies de ratones micófagos y los grupos de hongos presentes en sus excretas, demostró que 8 de

las 11 especies de ratones capturadas en el Parque Nacional La Malinche mostraron presencia de esporas de hongos en sus excretas. A lo largo del año de muestreo, en el sitio de asociación pino-oyamel y en el bosque de oyamel, el número de los ratones capturados y que presentaron presencia de esporas en sus excretas fue mayor que los que no las mostraron. Asimismo, en ambos sitios se recolectaron excretas con presencia de esporas durante todo el año. En el sitio de pastizal, el número de ratones capturados con y sin evidencia de esporas fue similar, y la presencia de esporas fue más frecuente en las excretas recolectadas en abril y noviembre. Las marcadas diferencias en el uso de los hongos entre ambientes y entre las distintas épocas del año, sugieren que los ratones podrían estar utilizando a los hongos no sólo por su abundancia y disponibilidad en épocas particulares, sino posiblemente como un complemento en sus dietas cuando otros alimentos son más abundantes. La cuantificación sistemática de la presencia de esporas en excretas de ratones capturados en los tres tipos de ambientes, denota dos hechos interesantes. Primero, que es posible encontrar esporas fúngicas en épocas en las que no es posible observar cuerpos fructíferos en estos sitios, lo que podría indicar que los ratones son capaces de almacenarlos en sus madrigueras, como lo han demostrado Polaco y cols. (1982) para roedores como *Neotoma mexicana*, o bien, la fenología de fructificación de especies hipogeas, que escapan a la vista por su hábito subterráneo, se extiende más allá de la época de lluvias, haciendo disponible el recurso durante prácticamente todo el año en las zonas de bosque. Segundo, la presencia de esporas en excretas de ratones capturados en las zonas abiertas de pastizal, en donde no fue posible evaluar los niveles de fungivoría por no haberse encontrado cuerpos fructíferos en el cuadrante de estudio, sugiere que estos roedores pueden estar moviéndose entre distintos sitios para la búsqueda del recurso fúngico.

La determinación de los grupos de hongos en las excretas de las especies de ratones muestreadas en cada tipo de ambiente, demostró que once diferentes grupos de hongos son potencialmente consumidos, particularmente especies de las familias Boletaceae y Russulaceae, pero también hongos hipogeos pertenecientes a los géneros *Leucophleps*, *Hysterangium* y *Gautieria*. Aunque los hongos hipogeos y epigeos son considerados como recursos alimenticios de bajo valor nutricional comparados con las semillas (Claridge y cols. 1999, Cork y Kenagy 1989a, Bozinovic y Muñoz-Pedreros 1995a, 1995b), en La Malinche representan una fuente de recursos aparentemente disponible durante todo el año. En este sentido, es evidente que su consumo es distinto entre las especies de ratones capturadas, tal como lo demuestran los tipos de esporas registradas en sus excretas durante el estudio. Por ejemplo, los ratones con mayor riqueza de grupos de hongos en sus excretas fueron *Peromyscus melanotis*, *P. maniculatus* y *N. alstoni*. Existen algunos estudios que han reportado que muchas especies de ratones de los géneros *Peromyscus*, *Neotomodon*, *Reithrodontomys*, y *Microtus*, pueden incluir en sus dietas hongos tales como *Agaricus*, *Glomus*, *Lactarius salmonicolor*, *Boletus aereus* y *Russula olivacea* (Mangan y Adler 2000, Valenzuela y cols. 2004), sin ser micófgos estrictos, ya que se pueden alimentar también de semillas, insectos, frutos, hierbas, etc. (Ceballos y Galindo 1984). Sin embargo, en este estudio hemos demostrado que los ratones silvestres de estos géneros pueden utilizar distintos grupos de hongos a lo largo de todo el año, diversificando el uso de este recurso en junio, julio y agosto, como lo demuestran los mayores índices de diversidad (ID) calculados durante estos meses. Asimismo, la diversidad en el uso del recurso fúngico, parece estar influenciada también por el sitio habitado. Por ejemplo, los ID estimados para cada ambiente demostraron que el pastizal es el sitio más diverso, seguido del sitio de oyamel y del de asociación pino-oyamel. Esto significa que los ratones que

viven en las zonas de pastizal utilizan un mayor grupo de hongos en sus dietas, posiblemente debido a su menor abundancia o disponibilidad restringida, mientras que en los otros dos sitios los ratones podrían estar incluyendo una menor variedad de hongos debido a su gran abundancia o a la presencia de otro tipo de alimentos. Estos resultados requieren de más estudios que permitan obtener conclusiones al respecto.

Por la evidencia encontrada durante la evaluación de los índices de fungivoría en campo, se hubiera esperado que las esporas de Russulaceae constituyeran uno de los grupos más frecuentemente registrado durante la revisión de las excretas, lo cual no sucedió, ya que la mayoría de los grupos de hongos detectados en esta fase correspondieron con especies hipogeas. Se ha demostrado que las esporas de estos hongos son resistentes al paso por el tracto digestivo de los mamíferos que las consumen (Claridge y cols. 1999, Cork y Kenagy 1989b) lo cual podría no ser el caso para las especies epigeas, que podrían estar siendo degradadas por los jugos gástricos de los animales y por lo tanto no ser evidentes en sus excretas.

El resultado obtenido con respecto a que la mayoría de las especies de ratones registradas en este estudio consumen hongos, tiene importantes implicaciones para el funcionamiento del ecosistema forestal en La Malinche. En primer lugar, el consumo de cuerpos fructíferos por especies de roedores que difieren en movilidad, preferencias de microhábitat y tamaño de ámbito hogareño, puede afectar diferencialmente la capacidad de dispersión y el potencial de establecimiento de hongos ectomicorrizógenos. Los animales que dispersan esporas a microambientes que son desfavorables para la germinación de esporas o en donde hay poca probabilidad de que las plántulas de especies de coníferas hospederas crezcan (por ejemplo cavidades rocosas o zonas muy sombreadas), pueden tener un efecto neutro o negativo en la adecuación de los hongos. Sin embargo, las especies que dispersan

esporas a microhábitats perturbados tales como zonas taladas y quemadas, pueden promover cambios sucesionales entre las comunidades de hongos y las de árboles forestales (Cázares y Trappe 1994, Waters y cols. 2000). Por ejemplo, en nuestro estudio *N. alstoni* frecuenta zonas al interior del bosque para consumir hongos, pero habita más frecuentemente áreas abiertas en pastizales ubicados de forma adyacente a los bosques de pino u oyamel, lo que puede promover la formación de simbiosis micorrízicas al dispersar las esporas de zonas sucesionales tardías a las tempranas.

En segundo lugar, los ratones silvestres registrados en nuestro estudio difieren en tamaño, dieta, morfología digestiva y mecanismos fisiológicos, como ha sido establecido para los mamíferos en general (Kotter y Farentinos 1984), y estas diferencias influyen sobre las tasas de retención y el establecimiento potencial de los hongos, tal como sucede en plantas cuyos frutos son dispersados por animales (Herrera y Pellmyr 2002). Por el contrario, las esporas de diferentes especies fúngicas podrían variar en su capacidad de sobrevivencia al ser consumidas por diversas especies animales, repercutiendo también en su potencial de dispersión. Estudios consistentes en determinar si las especies de ratones capturadas afectan o no la viabilidad de las esporas encontradas en sus excretas, son necesarios para determinar la importancia de estos animales como depredadores o dispersores efectivos de esporas, y por tanto como promotores de la formación de micorrizas en La Malinche.

Por último, diferencias en las tasas de consumo de distintos grupos de hongos, como las encontradas en este estudio, pueden afectar la composición de las comunidades de hongos. Aunque no se presenta una comparación de uso-disponibilidad en este trabajo, otras investigaciones han demostrado evidencias sobre preferencias entre grupos de hongos por



distintas especies de pequeños mamíferos (Zabel y Waters 1997, Cázares y cols. 1998). El análisis de este fenómeno requiere investigación adicional.

En resumen, en este estudio hemos demostrado que los hongos son un recurso frecuentemente consumido por pequeños mamíferos y en particular por los ratones silvestres en La Malinche, y que esta interacción puede ser importante para el funcionamiento de los bosques en la zona. Futuros planes de manejo que mejoren la persistencia de componentes como los ratones y las especies de hongos que consumen, son necesarios para asegurar la conservación a largo plazo en los ecosistemas forestales.

## 8. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron en este estudio se argumentaron las siguientes conclusiones:

- 1) Los hongos son un recurso alimenticio frecuentemente consumido por los pequeños mamíferos y en particular por ratones que habitan en los tres tipos de ambientes del Parque Nacional la Malinche.
- 2) Existen diferencias al consumir las partes de los hongos evaluados, siendo los pileos e himenóforos las partes que presentaron mayores porcentajes de consumo.
- 3) El recurso fúngico es utilizado de forma constante a lo largo de la época de lluvias.
- 4) Ocho de las once especies de ratones capturados en el estudio presentaron evidencias de esporas de hongos en sus excretas.
- 5) La asociación pino-oyamel y el bosque de oyamel fueron los dos ambientes en donde se capturaron más ratones con evidencias de consumo de hongos durante todo el año. Mientras que en el pastizal la proporción de ratones con evidencias o no de consumo fue similar.
- 6) Once diferentes grupos de hongos son consumidos por los ratones principalmente las familias Boletaceae y Russulaceae, y los hongos hipogeos pertenecientes a los géneros *Leucophleps*, *Hysterangium* y *Gautieria*.
- 7) Los ratones con mayor riqueza de grupos de hongos en sus excretas fueron *Peromyscus melanotis*, *P. maniculatus* y *N. alstoni*, siendo este último la especie que está presente en los tres ambientes.
- 8) Los mayores índices de diversidad se presentaron en los meses de junio, julio, agosto. No obstante, de los tres ambientes evaluados el pastizal fue el sitio más diverso.

## 9. PERSPECTIVAS

Para darle continuidad a este trabajo se sugieren las siguientes consideraciones:

1. Evaluar los niveles de fungivoría in situ, en otros grupos de hongos y a través de intervalos de monitoreo más cortos.
2. Realizar estudios que evalúen la importancia de los hongos con respecto a otros alimentos incluidos en la dieta de los ratones silvestres de La Malinche.
3. Explorar las relaciones entre la abundancia del recurso fúngico y la intensidad y frecuencia con las que es utilizado por los roedores.
4. Determinar a través de estudios experimentales el papel de los ratones que consumen hongos como dispersores o depredadores de esporas.
5. Evaluar si existen diferencias en las preferencias de consumo de diferentes especies fúngicas por diferentes especies de roedores.
6. Realizar pruebas de viabilidad de las esporas obtenidas de las excretas de los ratones micófagos.
7. Establecer a través de experimentos de inoculación, el potencial de las esporas obtenidas de excretas de ratones, para el establecimiento de relaciones micorrízicas con las raíces de algunas especies de árboles de La Malinche.
8. Realizar experimentos que evalúen el valor nutricional de las especies de hongos registradas en este estudio, para los ratones que los consumen.
9. Investigar diferencias conductuales entre especies de ratones, con respecto al consumo de las distintas estructuras de los hongos (píleo, himenóforo y estípote).

10. Investigar el fenómeno de la micofagia en otros animales, tales como ardillas, conejos y aves presentes en La Malinche.

## 10. REFERENCIAS

- Acosta A y Kong A. 1991. Guía de las excursiones botánicas y micológicas al Cerro del Peñon y Cañada Grande del estado de Tlaxcala. IV Congreso Nacional de Micología. Folleto No. 8, Jardín Botánico Tizatlán, Gobierno del Estado de Tlaxcala.
- Bozinovic F y Muñoz-Pedrerros A. 1995a. Nutritional ecology and digestive responses of an omnivorous-insectivorous rodent (*Abrothrix longipilis*) feeding on fungus. *Physiol Zool* 68: 474-489.
- Bozinovic F y Muñoz-Pedrerros A. 1995b. Dieta mixta y energética nutricional de un roedor micófago en el sur de Chile: interacciones entre ítemes dietarios. *Rev Chi Hist Nat* 68:383-389.
- Castellano MA y Trappe JM. 1985. Ectomycorrhizal formation and plantation performance of Douglas-fir nursery stock inoculated with *Rhizopogon* spores. *Can J For Res* 15:613-617.
- Castellano MA, Trappe JM y Molina R. 1985. Inoculation of container grow Douglas-fir seedlings with basidiosporas of *Rhizopogon vinicolor* and *R. colossus*: effects of fertility and espore application rate. *Can J For Res* 15:10-13.
- Castellano MA, Trappe JM, Maser Z y Maser C. 1989. Key to spores of the genera of hypogeous fungi of northern temperate forests. Mad River Press Inc. Eureka, California.
- Cázares E y Trappe JM. 1994. Spore dispersal of ectomycorrhizal fungi on a glacier forest front by mammal mycophagy. *Mycologia* 86: 507-510.
- Cázares E, Luoma DL, Amaranthus P, Chambers CL y Lehmkuhl JF. 1998. Interaction of fungal sporocarp production with small mammal abundance and diet in Douglas-fir stands of the southern Cascade Range. *Northw Sci* 73:64-76.
- Ceballos G, Arroyo-Cabrales J y Medellín RA. 2002. Mamíferos de México En: Diversidad y conservación de los mamíferos Neotropicales. Ceballos G. y Simonetti JA (eds.) CONABIO-UNAM. México DF. pp. 377-413.
- Ceballos G y Galindo CL. 1984. Mamíferos silvestres de la cuenca de México. Limusa. México DF.

- Claridge AW y Cork SJ. 1994. Nutritional value of hypogean fungal sporocarps for the long-nosed potoroo (*Potorous tridactylus*) a forests-dwelling mycophagous marsupial. *Aust J Zool* 42: 701-710.
- Claridge AW y May W. 1994. Micophagy among Australian mammals. *Aust J Ecol* 19: 251-275.
- Claridge AW, Trappe JM, Cork SJ y Claridge DL. 1999. Mycophagy by small mammals in the coniferous forests of North America: nutritional value of sporocarps of *Rhizopogon vinicolor*, a common hypogeous fungus. *J Comp Physiol* 169: 172 - 178.
- Claridge AW, Trappe JM y Claridge DL. 2001. Mycophagy by the swamp wallaby (*Wallabia bicolor*). *Wild Res* 28: 643-645.
- Colgan W y Claridge AW. 2002. Mycorrhizal effectiveness of *Rhizopogon* spores recovered from faecal pellets of small forest-dwelling mammals. *Mycol Res* 106: 314-320.
- Cork SJ y Kenagy GJ. 1989a. Nutritional value of hypogeous fungus for a forest-dwelling ground squirrel. *Ecology* 70: 577-586.
- Cork SJ y Kenagy GJ. 1989b. Rates of gut passage and retention of hypogeous fungal spores in two forest-dwelling rodents. *J Mammal* 70: 512-519.
- Díaz-Ojeda EV. 1992. Informe del Parque Nacional La Malinche. Jefatura del Programa Forestal de Tlaxcala. Coordinación General de Ecología, Tlaxcala.
- Dirzo R y Dominguez CA. 1995. Plant herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forests. En: *Seasonally dry tropical forest*. Bullock SH, Mooney A y Medina E. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp.304-309.
- Estrada-Crocker C, Naranjo EJ y Miller B. 1996. The Mexican agouti in Chiapas, Mexico. *Int Zool News*. 270:385-388.
- Fogel R y Trappe JM. 1978. Fungus consumption (mycophagy) by small animals. *Northw Sci* 52: 1-31.
- Grönwall O, Pehrson A. 1984. Nutrient content in fungi as a primary food of the red squirrel *Sciurus vulgaris* L. *Oecologia* 64:230-231.
- Guevara R y Dirzo R. 1999. Consumption of macro-fungi by invertebrates in a Mexican tropical cloud forest: do fruit body characteristics matter. *J Trop Ecol* 15:603-617.

- García G. 1998. Análisis cualitativo y cuantitativo de la biodiversidad de los hongos en México. En: La diversidad biológica en Iberoamérica II. Halffter, G. (eds) Instituto de Ecología, AC. México DF. pp.111-175.
- Hall DS. 1991. Diet of the northern flying squirrel at Sagehen Creek, California. *J Mammal* 72: 615-617.
- Hanson AM, Hodge KT y Porter LM. 2003. Mycophagy among Primates. *Mycologist* 17:6-10
- Hayes JP, Cross SP y Mcintire PW. 1986. Seasonal variation in mycophagy by the western red-backed vole, *Clethrionomys californicus*, in southwestern Oregon. *Northw Sci* 60: 250-257.
- Herrera CM y Pellmyr O. 2002. Plant animal interactions: an evolutionary approach. Blackwell Science. Cornwall, UK.
- Jiménez JG, Ramírez-Ponce Y, Castillo-García S y Moreno-Valdez A. 2005. Biodiversidad Tamaulipeca Vol. 1. En: Micofagia por roedores en los bosques templados de Tamaulipas. Barrientos LL, Correa SA, Horta-Vega VJ y Jiménez JG. (eds). Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología. Cd. Victoria Tamps. pp.232-236.
- Johnson CN. 1994a. Mycophagy and spore dispersal by a rat-kangaroo: consumption of ectomycorrhizal taxa in relation to their abundance. *Funct Ecol* 8: 464-468.
- Johnson CN. 1994b. Nutritional ecology of a mycophagous marsupial in relation to production of hypogeous fungi. *Ecology* 75: 2015-2021.
- Lawrence JF. 1989. Mycophagy in the Coleoptera: Feeding strategies and morphological adaptation. En: insect-fungus interactions. Wilding N, Collins NM, Hammond PM, Webber JF (eds.) Academic Press. Nueva York. pp.1-23.
- Kotter MM y RC Farentinos. 1984. Formulation of ponderosa pine ectomycorrhizae after inoculation with feces of tassel-eared squirrels. *Mycologia* 76:758-760.
- Mangan SA y Adler GH. 2000. Consumption of arbuscular mycorrhizal fungi by terrestrial and arboreal small mammals in a Panamanian cloud forest. *J Mammal* 81: 563-570.
- Mangan SA y Adler GH. 2002. Seasonal dispersal of arbuscular mycorrhizal fungi by spiny rats in a Neotropical forest. *Oecologia* 131:587-597.

- Martin MM. 1979. Biochemical amplications of inset mycophagy. Biol Rev 54: 1-21.
- Maser C y Maser Z. 1988. Interactions among squirrels, mycorrhizal fungi, and coniferous forests in Oregon. G Bas Nat 48: 358-369.
- Maser C, Trappe JM y Nussbaum RA. 1978a. Fungal-small mammal interrelationships with emphasis on Oregon coniferous forests. Ecology 59:799- 809.
- Maser C, Trappe JM y Ure DC. 1978b. Implicatons of small mammal mycophagy to the management of western coniferous forests. Trans N Am Wild Nat Res Cont 43:78-88.
- Mellwee AP y Johnson CN. 1998. The contribution of fungus to the diets of three mycophagous marsupials in eucalyptus forests, revealed by stable isotope analysis. Funct Ecol 12: 223-231.
- Orrock JL, Farley D y Pagels JF. 2003. Does fungus consumption by the woodland jumping mouse vary with habitat type or the abundance of other small mammals? Can J Zool 81:753-756.
- Ovaska K y Herman TB. 1986. Fungal consumption by six species of small mammals in Nova Scotia. J Mammal 67: 208-211.
- Pirozynski KA y Hawksworth DL. 1988. Coevolution of fungi whith plants and animals: Introduction and overview. En: Coevolution of fungi whith plants and animals. Pirozynski KA y Hawksworth DL (eds.) Academic Press. San Diego CA. pp. 1-29.
- Pirozynski KA y Malloch DW. 1988. Seeds, spores and stomachs: Coevolution in seed dispersal mutualism. En: Coevolution of fungi whith plants and animals. Pirozynski KA y Hawksworth DL (eds). Academic Press. San Diego CA. pp. 227-246.
- Polaco OJ, Guzmán G, Guzmán-Dávalos y Álvarez L T. 1982. Micofagia en la rata montera *Neotoma mexicana* (Mammalia, Rodentia). Bol Soc Mex Micol 17:114-119.
- Pyare S y Longland SW. 2001. Patterns of ectomycorrhizal-fuingi consumption by small mammals in remnant old- growth forests of the Sierra Nevada. J Mammal 82: 681-689.
- Sánchez-Rojas G, Sánchez-Cordero V y Briones M. 2004. Effect of plant species, fruit density and habitat on post-dispersal fruit and seed removal by Spiny pocket mice (*Liomys pictus*, Heteromyidae) in a Tropical dry forest in Mexico. Stud Neotrop Fauna Env. 39:1-6.



- Taylor RJ 1991. Plants, fungi and bettongs a fire dependent co-evolutionary relationship. *Aust J Ecol* 6: 409-411.
- Trappe JM y Cázares E. 1990. Evolución, ecología y micofagia en los hongos hipogeos. *Rev Mex Mic* 6: 33-40.
- Trappe JM y Guzmán G. 1971. Notes on some hypogeous fungi from México. *Mycologia* 63: 317-332.
- Trappe JM y Maser C. 1976. Germination of spores of *Glomus macrocarpus* (Endergonaceae) after passage through a rodent digestive tract. *Mycologia* 68: 433-436.
- Ure DC y Maser C. 1982. Mycophagy of red-backed voles in Oregon and Washington. *Can J Zool* 60:3307-3315.
- Valenzuela VH, Herrera T, Gaso MI, Pérez-Silva E, y Quintero E. 2004. Acumulación de radiactividad en hongos y su relación con los roedores en el bosque del centro nuclear de México. *Rev Int Cont Amb* 20:141-146.
- Waters JR, Mckelvey KS, Zabel CJ, y Luoma D. 2000. Northern Flying Squirrel mycophagy and truffle production in fir forests in Northeastern California. USDA For Serv Gen Tech Rep 73-96.
- Winter JW y Johnson PM. 1995. Northern bettong *Bettongia tropica*. En: *Mammals of Australia*. Strahan R (ed). Reed Books. Sydney. 294-295.
- Zabel CJ y Waters JR. 1997. Food preferences of captive northern flying squirrels from Lassen National Forest in northeastern California. *Northw Sci* 71:103-107.
- Zar J. 1999. *Biostatistical Analysis*. Fourth ed. Prentice Hall. New Jersey NJ.

## 10. ANEXOS

**Tabla 1.** Especies de ratones que presentan evidencias de consumo de hongos en los tres sitios de estudio

Especies de ratones	No. de ratones capturados en el Pastizal	No. de ratones que consumen hongos en el Pastizal	No. de ratones capturados en la asociacion pino- oyamel	No. de ratones que consumen hongos en la asociacion pino- oyamel	No. de ratones capturados en el bosque de oyamel	No. de ratones que consumen hongos en el bosque de oyamel	No. total de ratones capturados en los tres ambientes
<i>N. alstoni</i>	37	19	59	48	21	16	117
<i>R. sumicrasti</i>	5	2	3	0	8	2	16
<i>R. chrysopsis</i>	10	4	5	1			15
<i>R. megalotis</i>	1	1	3	1			4
<i>R. fulvescens</i>	4	0	1	0			5
<i>P. levipes</i>	7	5	7	7			14
<i>M. mexicanus</i>	1	0					1
<i>Reithrodontomys</i> sp.	2	0					2
<i>P. gratus</i>	2	0			2	2	4
<i>P. melanotis</i>			6	5	21	15	27
<i>P. maniculatus</i>			5	3	26	19	31
<b>Total</b>	<b>69</b>	<b>31</b>	<b>89</b>	<b>65</b>	<b>78</b>	<b>54</b>	<b>236</b>

Tabla 2. Grupos de hongos consumidos por las especies de ratones.

Nombre	Bole	Gau	Leuco	Leucoga	Histe	Russ	Corti	Aga	Tele	Hia	Gas	Total
<i>H. ulinellii</i>	*	*	*	*	*	*	*			*		8
<i>H. ammivivaxii</i>	*	*	*			*						4
<i>H. rosapalis</i>	*	*	*	*		*						5
<i>H. megaplatis</i>				*								1
<i>H. silvaceus</i>					*	*						2
<i>P. levipes</i>	*					*	*	*			*	5
<i>M. mexicanus</i>												
<i>Reitrodonthomis</i>												
<i>P. gratus</i>		*	*		*							3
<i>P. melanotis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		10
<i>P. maniculatus</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*		9

Bole = Boletaceae  
 Gau= *Gautieria* sp.  
 Leuco= *Leucophleps* sp.  
 Leucoga= *Leucogaster* sp.

Histe= *Hysterangium* sp.  
 Russ= Russulaceae  
 Cort= *Cortinarius*  
 Aga= Agaricales

Tele= Telephoraceos  
 Hia= Hialinas  
 Gas = Gasteromycetes