



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

“Valor nutricional de hongos epigeos para dos
especies de roedores omnívoros”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

Tatiana D'Alva Hinojosa



DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS ALBERTO LARA RODRÍGUEZ

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

FACULTAD DE CIENCIAS

División de Estudios Profesionales



ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales
Facultad de Ciencias
Presente.

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

"Valor nutricional de hongos epigeos para dos especies de roedores omnívoros"

realizado por **D'Alva Hinojosa Tatiana**, con número de cuenta **098146187** quien opta por titularse en la opción de **Tesis** en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Joaquín Cifuentes Blanco

Propietario Dr. Alejandro Córdoba Aguilar

Tutor(n)
Propietario Dr. Carlos Alberto Lara Rodríguez

Suplente Dra. Margarita Martínez Gómez

Suplente M. en C. Julieta Vargas Cuenca

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D. F., a 6 de noviembre del 2007
EL COORDINADOR DE LA UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA

DR. ZENÓN CANO SANTANA

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS:

La vida me ha dado grandes enseñanzas en el poco tiempo de la misma, gracias al apoyo de uno de los pilares más significativos que han sido y será mi familia, la cual me ha forjado de buenos principios y valores que me han servido para enfrentarme a los retos constantes que tiene la vida. En cada paso que doy siempre están para apoyarme y aconsejarme sin importar la circunstancia, sin embargo hay momentos en que los regañones son necesarios cuando la ocasión lo amerita. Agradezco todo el apoyo incondicional que me han brindado en todo momento. Recuerden que los quiero mucho querida familia.....

Hermano gracias a ti he aprendido que la vida no es color de rosa, sino que tiene diferentes matices y que a veces no es tan fácil de sobrellevarla, te agradezco tu apoyo y tu comprensión.

La amistad de Caro, Kari, Vare, Erick, C. Enrique, ha sido fundamental a lo largo de este recorrido que ha sido la carrera universitaria en la Facultad de Ciencias, porque fue ahí donde aprendí que los sueños se pueden alcanzar y por supuesto realizar, cada uno es un gran amigo, que enriqueció de alguna manera mi vida en esta etapa tan dura, gracias por hacerme reír, llorar, entristecer, enojar, amenizar los ratos de desesperación, pero por supuesto por estar ahí cuando lo necesitaba. No obstante también quiero agradecer a Víctor Mora, Kike, Saris y Elsitita por estar siempre al pendiente de mí y por darme ánimos en todo momento. Los quiero mucho amigos.....

Con todo mi agradecimiento y mi respeto a todos y cada uno de ustedes que dedicaron un poco de su tiempo para corregir o contribuir con sus comentarios en esta tesis. Gracias Dr. Carlos Lara, Dra. Margarita, Dr. Alejandro, Dr. Cifuentes y a ti querida Julieta.

Con gran gratitud a mi alma mater (UNAM, Facultad de Ciencias) que me albergo durante toda la carrera, gracias a los profesores de la misma y a cada una de las personas que conocí en este fabuloso espacio, aunque solo haya sido fugaz su presencia.

Para cada uno de los lectores de esta tesis me gustaría compartir este pequeño párrafo:

Vivamos con intensidad cada momento de nuestra vida, añoremos cada vez que podamos, hay que realizar todo lo que tenemos en mente, encontremos el camino que lleva a la felicidad, nunca hay que darnos por vencidos, caminemos junto con las personas que nos aman.

ÍNDICE GENERAL

	Págs.
I. RESUMEN.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 ¿Comer por comer?.....	7
1.2 Micofagia de mamíferos alrededor del mundo.....	7
1.3 Consumo de estructuras fúngicas.....	8
1.4 Calidad nutricional de la micofagia.....	9
1.5 Roedores micófagos.....	10
2. ANTECEDENTES.....	12
2.1 ¿Cuál es el valor nutricional de los hongos?.....	12
3. OBJETIVOS.....	16
3.1 Objetivo General.....	16
3.2 Objetivos Particulares.....	16
4. METODOLOGÍA.....	17
4.1 Área de estudio.....	17
4.2 Captura y cuidado de ratones.....	18
4.3 Experimentos con dietas únicas.....	19
4.4 Análisis químico de las dietas.....	21
4.5 Experimentos de dietas mixtas.....	21
4.6 Experimentos con dietas de hongos.....	22
4.7 Análisis estadísticos.....	22
5. RESULTADOS.....	24
5.1 Composición química.....	24
5.2 Dietas únicas.....	25
5.3 Dietas mixtas.....	30

5.4 Dietas de hongos.....	33
6. DISCUSIÓN.....	35
7. CONCLUSIONES.....	40
8. LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

	Pags.
TABLA 1: Composición química (%) y contenido energético (media \pm E.E) de las dietas experimentales utilizadas en el estudio.....	24
TABLA 2: ANDEVA de medidas repetidas examinando la variación en el peso corporal entre ratones de ambas especies, alimentados con las tres dietas durante 4 días.....	27
TABLA 3: Ingesta y digestibilidad (media \pm E.E) de las dietas experimentales ofrecidas a: (a) <i>Neotomodon alstoni</i> (n=8) y (b) <i>Peromyscus maniculatus</i> (n=6).....	29
TABLA 4: ANDEVA de medidas repetidas examinando la variación en el peso corporal entre ratones de ambas especies, alimentados con la misma dieta durante 4 días.....	32
TABLA 5: Índice de elección (\pm E.E) registrados para <i>N. alstoni</i> (n=8) y <i>P. maniculatus</i> (n=6) ante los tres tipos de dietas.....	33
TABLA 6: Índice de elección (\pm E.E) registrados para <i>N. alstoni</i> (n=8) y <i>P. maniculatus</i> (n=6) ante los tres tipos de hongos.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pags.
FIGURA 1: Variación diaria en el cambio de masa corporal (%) en ratones de ambas especies sometidos a las dietas experimentales.....	26
FIGURA 2: Variación diaria en el cambio de masa corporal (%) en ratones de ambas especies sometidos a la dieta mixta.....	31

Resumen

Los esporocarpos de hongos hipogeos y epigeos son elementos importantes en la dieta de pequeños roedores en bosques templados y tropicales alrededor del mundo. Sin embargo, algunos trabajos han demostrado que los hongos no pueden ser considerados como alimentos de alta calidad nutricional. De acuerdo a estos estudios, cuando un roedor micófago consume hongos estos presentan una digestibilidad mínima, pero se desconoce si la digestibilidad para la mayoría de las especies de roedores que incluyen hongos en sus dietas sea mínima. En este estudio evaluamos experimentalmente los cambios en masa corporal y preferencia alimenticia del ratón venado (*Peromyscus maniculatus*) y el ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni*) al ser alimentados con el hongo epigeo (*Russula occidentalis*). En el experimento 1, el hongo fue ofrecido como dieta única en comparación con avena y alimento balanceado. En el experimento 2, los animales fueron alimentados con hongo en un tratamiento de libre elección junto con cantidades iguales de avena y alimento balanceado. Ambas especies perdieron ~15% de su masa corporal durante los 4 días que consumieron solo hongos, pero ganaron 5-10% de masa corporal durante el mismo periodo cuando ingirieron avena y alimento balanceado como dietas. Sin embargo, en el tratamiento de libre elección con los tres tipos de dietas ambas especies ganaron 20-30% de masa corporal, y mostraron una gran preferencia por el consumo de hongo. Asimismo, la digestibilidad aparente de energía y nitrógeno fue analizada en ambos roedores, la cual fue de 50-60% para los hongos y de 90-94% para la avena y el alimento balanceado. De acuerdo a nuestros resultados, los ratones necesitan suplementar su dieta con alimentos alternativos de alta calidad para mantener e incrementar su masa corporal, sugiriendo que los hongos epigeos son de moderado valor nutricional para estas especies de ratones. Estudios futuros deben enfocarse en la importancia de la mezcla de especies de hongos en la dieta de los ratones micófagos.

Keywords: Digestion · Epigeous fungi · Mycophagy · Nutritional ecology · *Peromyscus*.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ¿Comer por comer?

La selección y preferencias de dietas en los organismos son el resultado de los compromisos establecidos entre factores ecológicos, conductuales y fisiológicos (Sibly 1981, Penry 1993). La forma en que se adquiere, manipula e ingiere un alimento, es afectada en gran medida por su composición química, abundancia y disponibilidad (Stephens y Krebs, 1986), mientras que las capacidades fisiológicas y anatómicas a nivel digestivo de los organismos, están directamente relacionadas con la forma en que se aprovechan los recursos consumidos (Karasov y Diamond, 1988; Bozinovic, 1993).

1.2 Micofagia de mamíferos alrededor del mundo

En la naturaleza una gran variedad de animales, tanto vertebrados como invertebrados (Fogel, 1975; Lawrence, 1989), dependen en distintos grados de la inclusión de estructuras fúngicas tales como micelio, cuerpos fructíferos y esporas como parte de su dieta, fenómeno conocido como micofagia (Lawrence, 1989). La micofagia en mamíferos ha sido ampliamente documentada en algunos países de Europa, Norteamérica, Sudamérica y Australia (Fogel y Trappe, 1978; Maser, et. al. 1978a, 1978b; Ovaska y Herman, 1986; Maser y Maser, 1988; Hall, 1991; Jonson, 1994; Bozinovic y Muñoz-Pedreras, 1995a; McIlwee y Jonson, 1998; Cazares, et. al., 1998; Colgan y Claridge, 2002; Mangan y Adler, 2000; 2002). En estos lugares, se ha documentado la inclusión de estructuras fúngicas, tanto de hongos epigeos como hipogeos, en la dieta de organismos tales como canguros, cerdos, conejos, liebres,

monos, musarañas, osos, tlacuaches y venados, representando en algunos casos hasta el 90% de su dieta (Fogel y Trappe, 1978; Maser, et. al., 1978a; Ovaska y Herman, 1986). Sin embargo, en ambientes de bosques templados alrededor del mundo, se ha resaltado la importancia del recurso fúngico en la dieta de especies de ratones y ardillas (Whitaker y Maser, 1976; Fogel y Trappe, 1978a; Martín, 1979; Polaco, et. al., 1982; Trappe y Cazares, 1990; Claridge y Lindenmayer, 1998).

1.3 Consumo de estructuras fúngicas

Los roedores micógafos generalmente consumen los cuerpos fructíferos aéreos (esporocarpos) en los hongos epigeos, y los cuerpos fructíferos subterráneos (trufas o falsas trufas) en el caso de los hongos hipogeos. En ambos casos, el resultado de este consumo es la liberación de millones de esporas fúngicas a través de las excretas, y en la mayoría de los casos sin afectar su viabilidad (Trappe y Maser, 1976; Taylor, 1991; Claridge, et. al., 1992; Reddell y Spain, 1991; Lamont, et. al., 1985). Cuando se deposita el excremento conteniendo las esporas, factores como el agua las transportan dentro del suelo poniéndolas en contacto con las raíces jóvenes de una gran variedad de especies de árboles (Maser, et. al., 1978a; Malajczuk, et. al., 1987; Claridge, et. al., 1992), dando lugar a que se formen interacciones micorrizógenas, indispensables para la manutención y regeneración de los bosques tanto templados como tropicales alrededor del mundo (Trappe y Maser, 1976; Maser, et. al., 1978^a, Pirozinsky y Hawksworth, 1988; Kotter y Farentinos, 1984).

1.4 Calidad nutricional de la micofagia

La micofagia por roedores que habitan en bosques representa un modelo de estudio de interacciones entre la composición química del alimento, la conducta de forrajeo y la fisiología digestiva, como ha sido sugerido por Bozinovic y Muñoz-Pedrerros (1995a). Los roedores junto con dispersar esporas, teóricamente se benefician por el consumo de un recurso discreto, rico en minerales y vitaminas. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que los hongos no son un alimento de alta calidad nutricional para pequeños mamíferos como los ratones y ardillas, a pesar de ser altamente consumidos durante sus vidas (Cork y Kenagy, 1989a, 1989b; Bozinovic y Muñoz- Pedrerros, 1995a, 1995b). Los resultados de estos estudios, señalan que los roedores micófagos muestran una digestibilidad menor a la mínima necesaria para satisfacer los costos de manutención cuando ingieren este tipo de alimento. En general, los organismos pierden masa corporal, comprometiendo su supervivencia con estas dietas (Bozinovic y Muñoz-Pedrerros, 1995a).

Debido a que los alimentos de baja calidad como los hongos poseen baja digestibilidad, la conducta de forrajeo predicha será aquella en que se maximice la tasa de ingestión y se minimice el tiempo de retención de la digestión (Bozinovic y Muñoz-Pedrerros, 1995a). Sin embargo, se ha demostrado que puede existir un punto crítico (digestibilidad crítica sensu Cork 1994), que aparece como consecuencia de restricciones máximas digestivas, nutricionales y estructurales para el uso de alimentos de baja calidad. Consecuentemente, si los hongos no constituyen un ítem dietario de alta calidad para los micromamíferos, teóricamente no deberían ser consumidos. Una situación similar ha sido documentada para los lemmings que en situaciones naturales se

alimentan de musgos (Batzli y Cole, 1979; Barkley, et. al., 1980), son incapaces de sobrevivir con una dieta única de musgos bajo condiciones experimentales.

1.5 Roedores micófagos

La pregunta que se genera a partir de lo hasta aquí mencionado es **¿por qué los roedores omnívoros se alimentan de hongos a pesar de su baja calidad nutricional?**

Según lo predicho por la teoría de forrajeo, un componente trófico de baja calidad, como los hongos, debería ser incluido en la dieta, ya que los consumidores, al invertir tiempo y energía en las actividades de forrajeo (por ejemplo en la búsqueda y manipulación del alimento), se beneficiarían explotando un recurso aunque sea de baja calidad nutricional.



En el presente trabajo, se evaluaron las respuestas digestivas de dos especies de ratones omnívoros alimentados con una especie de hongo epigeo (*Russula occidentales* Singer, 1949). Las especies de ratones estudiadas fueron el ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni* Merriam, 1898); especie endémica del Eje Neovolcánico Transversal, de talla mediana, tiene unas orejas grandes y sin pelo, su pelaje varia de coloración dependiendo de su edad, la tonalidad va desde matices grises hasta cafés, en la parte ventral es blanquecino. Tiene cuidado parental y por lo tanto es monógamo, es un omnívoro oportunista, en su dieta puede incluir mariposas monarcas, su periodo de gestación dura 27 días; y el ratón venado (*Peromyscus maniculatus* Wagner, 1845) es una especie de talla pequeña, mide aproximadamente de 12 a 18 cm y pesa entre 10 y 24 gramos, su pelaje es de color gris y



café, su pecho es blanco, su cola puede ser muy larga y puede llegar a medir hasta 10cm, es de hábitos nocturnos, el periodo de gestación varia de 22 a 27 días y pueden tener de 1 a 9 crías.

El presente trabajo evalúa el potencial del hongo epigeo *Russula occidentalis* para soportar el mantenimiento o ganancia de masa corporal en las dos especies de roedores mencionadas, así como analizar la digestibilidad de energía y nitrógeno del hongo en comparación con dos alimentos: avena y pellets de laboratorio. Además, exploramos a través de tratamiento de libre elección, si para mantener su masa corporal los animales se alimentan selectivamente de dietas mixtas conteniendo hongos, avena y pellets.

2. ANTECEDENTES

2.1 ¿Cuál es el valor nutricional de los hongos?

Los cuerpos fructíferos de hongos hipogeos y epigeos representan una importante fuente de alimento para muchos roedores y pequeños mamíferos en su ambiente natural, como se ha demostrado en numerosos estudios alrededor del mundo (Fogel y Trappe 1978a, Maser et al. 1978b, Johnson 1996, Janos y Sahley 1995). Sin embargo, a pesar de este alto consumo, poco se sabe sobre la importancia nutricional de los hongos para estos consumidores, pues los estudios realizados a la fecha han encontrado resultados contrastantes dependiendo del grupo de micófagos analizado (Cork y Kenagy 1989a; 1989b, Claridge y Cork 1994, Muñoz- Pedreros 1995a; 1995b, Claridge et al. 1999).

Por ejemplo, en el caso de los marsupiales australianos, los estudios realizados hasta la fecha sugieren un alto **valor nutricional** (depende principalmente de las necesidades energéticas diarias que requiere el animal obedeciendo a la cantidad de alimentos o forrajes consumidos; todos los alimentos aportan nutrimentos esenciales como: proteínas, vitaminas, minerales, carbohidratos y lípidos, mediante procesos metabólicos) de los hongos para este grupo. Johnson (1994) encontró que los esporocarpos de hongos hipogeos son un recurso alimenticio fundamental y de alto valor nutricional para el marsupial australiano *Bettongia gaimardi*, principalmente en épocas en las cuales se incrementa su abundancia en el ambiente. Este estudio demostró que los esporocarpos de hongos hipogeos proporcionan a las hembras de esta especie un excedente de energía metabolizable, el cual es destinado a la lactancia. Por otra parte, Claridge y Cork (1994) encontraron que la importancia de dos especies de hongos hipogeos consumidos por el

marsupial *Potorous tridactylus*, radica principalmente en el aporte de agua en épocas del año cuando el recurso es escaso en el ambiente (Fogel y Trappe, 1978^a).

A pesar de que muchos hongos contienen altas concentraciones de compuestos nitrogenados, minerales y vitaminas, lo que sugiere una alta calidad nutricional (Fogel y Trappe, 1978a; Grönwall y Pehrson, 1984), algunos trabajos han propuesto de forma indirecta que los hongos (por ejemplo especies hipogeas), son alimentos de muy baja calidad para los pequeños mamíferos tales como ratones y ardillas (Muzarelli, 1977; Martin, 1979). 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 micófagos, con excepción de aquellos micófagos especialistas que han desarrollado adaptaciones fisiológicas a nivel digestivo que les permiten romper las estructuras poliméricas de los hongos (como sucede en algunos marsupiales).

En un estudio realizado por Cork y Kenagy (1989a, 1989b), demostraron que los cuerpos fructíferos del hongo hipogeo *Elaphomyces granulatus*, representan un recurso alimenticio de muy baja calidad nutricional para las ardillas terrestres (*Spermophilus saturatus*), aún cuando son parte fundamental de su dieta. Estos estudios compararon la utilización digestiva de estos hongos con la **digestibilidad** (facilidad de ser digerido un alimento, es decir, transformar el alimento en sustancias nutritivas o a un estado de solubilidad (moléculas) que puedan ser asimiladas por el organismo, a través de la sangre para llegar a las diferentes células del cuerpo este proceso ocurre en el tracto digestivo) de otros alimentos como plantas, encontrando que los hongos tienen muy baja digestibilidad para las ardillas. Estos autores proponen que a pesar de esta limitación energética, los hongos pueden ser valiosos para la dieta de las ardillas, cuando las condiciones ambientales hacen que los alimentos de alta calidad sean poco abundantes.

La densidad, abundancia y el fuerte olor de los cuerpos fructíferos de *E. granulatus* en los ambientes habitados por las ardillas, los hace fáciles de detectar, haciendo que el costo energético sea mínimo para su búsqueda.

Asimismo, Bozinovic y Muñoz-Pedrerros (1995a, 1995b) analizaron experimentalmente el efecto de un incremento de hongos en la dieta, considerando la conducta de forrajeo y la capacidad que tiene el organismo para efectuar la digestión y absorción de los alimentos, esto último es mejor conocido como **eficiencia digestiva** (se relaciona con el tiempo de retención del alimento en su tracto digestivo, debido a las contracciones del estómago) de un pequeño roedor chileno (*Abrothrix longipilis*), el cual en condiciones naturales durante el verano se comporta como frugívoro-herbívoro y en invierno casi exclusivamente como micófago, al alimentarse de hongos epigeos como *Boletus edulis* y *Suillus luteus*. Sus resultados indicaron que los hongos son poco digeribles para el roedor *A. longipilis*, y como consecuencia, los individuos mantenidos bajo una dieta exclusiva de hongos son incapaces de procesar la cantidad requerida de hongos lo suficientemente rápido para mantener su energía y minimizar el tiempo de alimentación, por lo tanto hay un efecto negativo, que es la pérdida en la masa corporal. Los autores sugieren que el consumo de dietas mixtas por este roedor le aporta el beneficio nutricional para sobrevivir.

En un estudio realizado en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala, Durán (2006) evaluó el uso del recurso fúngico por ratones silvestres en zonas de bosque de pino, bosque de oyamel y pastizales. Los resultados de este trabajo, demostraron que ocho de las nueve especies de ratones presentes en la zona, consumen hongos epigeos a lo largo del año. Dos especies presentaron un uso particularmente frecuente de hongos: el ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni*), el cual se distribuye abundantemente en zonas de

pastizales a lo largo del gradiente altitudinal del Parque Nacional La Malinche y el ratón venado (*Peromyscus maniculatus*), quien está más asociado a bosque de oyamel. Ambas especies presentaron en sus excretas, esporas de varias especies de hongos, lo cual sugiere que los hongos son parte importante de sus dietas. Se ha demostrado que ambos roedores son de hábitos omnívoros, por lo tanto consumen alimentos similares tales como semillas, polen, frutos, insectos, hongos, hojas, y algunas plantas rastreras que conforman el sotobosque de sus ambientes (Prieto, 1988; Hunt y Maser, 1985).

Para que estas especies de ratones sean capaces de mantener el presupuesto energético cuando consumen hongos, deberían de incrementar la tasa de toma de alimentos y disminuir el tiempo del volumen digerido. Sin embargo, según el trabajo de Cork (1994), los pequeños mamíferos, tales como los ratones, tienen un punto crítico en el cual la toma de alimento es limitada por debajo de los requerimientos como consecuencia de limitaciones digestivas y fisiológicas, por lo que se esperaría que al forrajear alimentos de baja calidad, pero abundantes como los hongos, los organismos tendrían que complementar su dieta con alimentos de alta calidad, aunque poco abundantes, para poder maximizar la ganancia energética. De ser así, los ratones micófagos de La Malinche, deberían de responder negativamente desde el punto de vista digestivo y energético al ser sometidos a dietas exclusivas de hongos, comparados con dietas alternativas o mixtas que incluyan ítems alimenticios de alta calidad → HIPOTESIS.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Evaluar experimentalmente las respuestas digestivas y conductuales de dos especies de ratones silvestres (*Neotomodon alstoni* y *Peromyscus maniculatus*) alimentadas con distintas dietas que incluyen hongos.

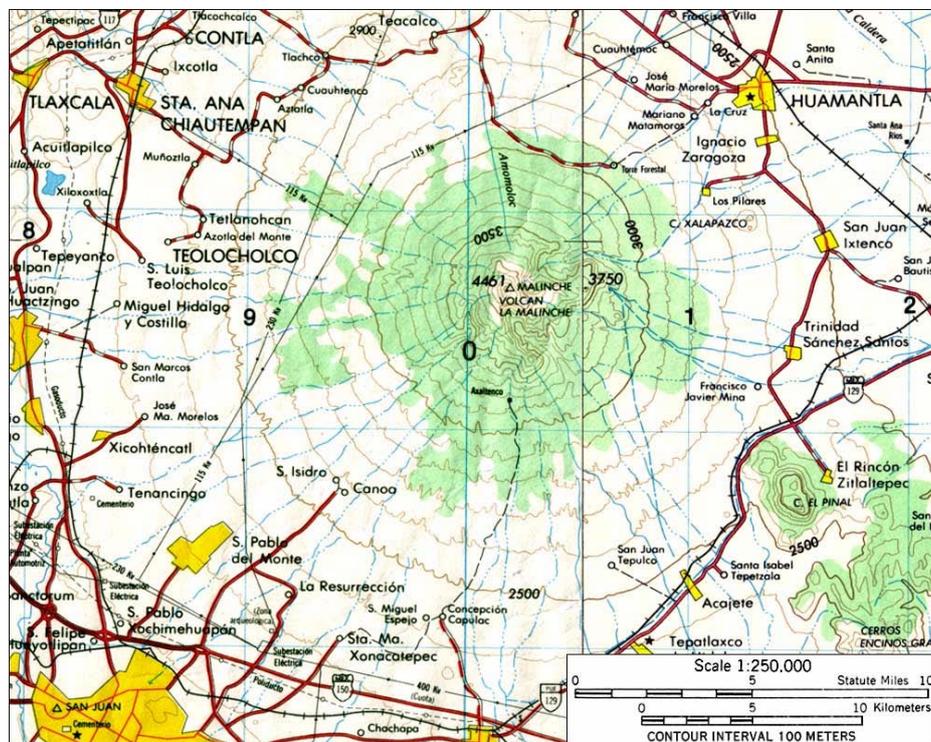
3.2 Objetivos particulares

- Evaluar el valor nutricional del hongo *Russula occidentalis* para estas dos especies de ratones.
- Comparar el valor nutricional de este hongo con respecto a otras dietas ofrecidas a los ratones.
- Evaluar las respuestas conductuales de ambas especies de ratones en dietas con diferentes hongos.

4. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

El Parque Nacional La Malinche (19° 14'N, 98° 58'O) se ubica al oeste del municipio de San Juan Ixtenco en Tlaxcala, con un gradiente altitudinal de 3050 a 3250 msnm. Esta región natural protegida se encuentra inmersa en el eje Neovolcánico Transversal, donde el clima es de tipo templado subhúmedo y la precipitación media anual varía entre los 600 y 1000 mm con una temperatura promedio anual entre los 12 y 16 °C. El tipo de suelo es fluviosol con elementos en fase gravosa menores a 7.5 cm en la superficie según la Carta Estatal de Suelos (1987).



4.2 Captura y cuidado de ratones

Los ratones de las especies utilizadas en este estudio (*Neotomodon alstoni* y *Peromyscus maniculatus*) fueron capturados el 9 de julio del 2005, usando 48 trampas Sherman en tres cuadrantes de 50 x 50m² en zonas de bosque de oyamel, bosque de pino y pastizal en el Parque Nacional La Malinche (cabe mencionar que únicamente se efectuó una salida para la captura de ratones).

Un total de 5 individuos de *Neotomodon alstoni* (ratón de los volcanes) y 3 individuos de *Peromyscus maniculatus* (ratón venado) fueron capturados durante el muestreo en campo. Los ratones capturados fueron transportados a un laboratorio en el Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta UAT-UNAM en la ciudad de Tlaxcala. Dos de las hembras de ratones, una de *N. alstoni* y una de *P. maniculatus* estaban preñadas al ser capturadas, en el laboratorio nacieron 4 y 3 crías respectivamente, incrementándose así nuestro tamaño de muestra a 9 individuos de *N. alstoni* y 6 de *P. maniculatus*. Los pesos aproximados de los 5 machos y las 4 hembras de *N. alstoni* vario de 21 a 41 g durante el periodo experimental, y de los 3 machos y 3 hembras de *P. maniculatus* fueron de 16 a 21 g.

Debido a que información previa acerca de la dieta anual de ambas especies de ratones en el sitio de estudio es desconocida, cabe señalar que si se conoce la alimentación de estos ratones en otros sitios (Prieto, 1988; Hunt y Maser, 1985), de esta manera decidimos incluir para las dietas experimentales (1) avena comercial (*Avena sativa*) y (2) comida balanceada para ratón, usada como una dieta experimental de referencia, siendo nutricionalmente balanceada y de reconocida alta calidad. Uno de los hongos epigeos más abundantes y con evidencias de consumo por ratones silvestres en “La Malinche” es

Russula occidentalis (sensu Duran 2006). Por ello, (3) los cuerpos fructíferos de esta especie se utilizaron como dieta experimental. Los hongos de esta especie fueron colectados el 25 de agosto del 2005, en el sitio donde los ratones fueron capturados, los hongos se almacenaron a -20 °C hasta su utilización.

En el laboratorio, los adultos y crías se mantuvieron en jaulas teniendo un periodo de aclimatación de siete semanas, suministrándoles agua *ad libitum*, avena y comida balanceada para ratón, manteniéndolos bajo condiciones de fotoperíodo natural y temperatura ambiente. Los mismos individuos fueron utilizados en todos los experimentos.

4.3 Experimento con dietas únicas

El 29 de agosto del 2005, los ratones en cautiverio fueron mantenidos sin alimento durante 24 horas. Al día siguiente, se les asignó al azar tres grupos de dietas: (1) cuerpos fructíferos de hongos (*Russula occidentales*), (2) avena, y/o (3) alimento comercial balanceado (control).

Se utilizaron 3 individuos de *N. alstoni* y 2 de *P. maniculatus* para cada una de las dietas mencionadas, es decir, en el caso de *N. alstoni* al ser nueve individuos, a 3 se les dio alimento balanceado, otros 3 se alimentaron de avena y los 3 últimos se les proporcionó el hongo epigeo (*R. occidentales*), para *P. maniculatus* ocurrió lo mismo, pero en vez de ser 3 individuos fueron 2, ya que eran seis individuos, menos que la otra especie.

Los animales se mantuvieron con sus respectivas dietas durante 5 días consecutivos, ofreciéndoles la misma cantidad de alimento (5g) en cada ocasión, por consiguiente, se les daba de comer cada 24 hrs. Diariamente se recolectaron las excretas y el alimento no consumido, los cuales fueron pesados con una balanza electrónica (± 0.01 g), almacenados y secados en un intervalo de 55° a 60 °C.

Los ratones se pesaron diariamente con una balanza electrónica (± 0.01 g), para evaluar la ganancia o pérdida de masa corporal (g). La digestibilidad aparente de cada dieta (D) fue calculada por la siguiente fórmula: $\{(Q_i - Q_e)/Q_i\} \times 100\%$; en donde Q_i = tasa diaria de alimento consumido y Q_e = tasa diaria de producción de heces.

$$Q_i \times D = \{(Q_i - Q_e)/Q_i\} \times 100\%$$

Por lo tanto la digestibilidad aparente toma en cuenta tanto los residuos de alimento no absorbidos como los componentes de las heces que son de origen endógeno.

El contenido de energía del alimento fue determinado mediante el uso de un calorímetro computarizado (es un aparato utilizado para determinar el calor específico de un cuerpo, así como para medir las cantidades de calor que liberan o absorben los cuerpos. El calorímetro es un envase cerrado y perfectamente aislado con agua, un dispositivo para agitar y un termómetro. Se coloca una fuente de calor en el calorímetro, se agita el agua hasta lograr el equilibrio, y el aumento de temperatura se comprueba con el termómetro. Se evaluó también el peso seco de los distintos tipos de alimento.

4.4 Análisis químico de las dietas

La composición de las dietas se analizó mediante métodos químicos proximales, también conocidos como análisis bromatológicos (AOAC 1980) y fue realizada en Laboratorios Clínicos de Puebla S.A. de C.V. El contenido de nitrógeno de cada dieta fue medido por el método de microKjendahl (AOAC 1980).

El contenido de energía de todos los alimentos y muestras fecales fue determinado por un calorímetro computarizado. Las cenizas fueron obtenidas por ignición a 550°C.

4.5 Experimento de dietas mixtas

Con el fin de determinar si ambas especies de roedores se alimentan selectivamente cuando son sometidas al mismo tiempo a cantidades similares de diferentes alimentos, el 6 de Septiembre del 2005, los mismos individuos utilizados en el experimento anterior fueron mantenidos sin alimentos durante 24 horas. Al día siguiente, y durante cinco días consecutivos, los animales recibieron una dieta conformada por la misma cantidad de hongos, avena y alimento comercial balanceado (5g peso fresco por ítem alimenticio). Los ratones fueron pesados diariamente. El consumo diario fue medido mediante el peso del alimento al final del tratamiento y las preferencias de cada tipo de dieta se determinaron mediante el cálculo de los valores de elegibilidad de Ivlev (1961). Este índice toma valores de -1 a 1: -1= alimento evitado; 0= comportamiento de forrajeo no selectivo; y 1 = alimento preferido.

4.6 Experimento con dietas de hongos

El 23 de septiembre del 2005, para determinar si ambas especies de roedores se alimentan selectivamente cuando son sometidas al mismo tiempo a cantidades similares de diferentes hongos, se realizó un experimento utilizando la metodología previamente descrita y los mismos animales, pero ahora estableciendo dietas a base de hongos.

A los ratones se les ofreció una dieta conformada por tres diferentes tipos de hongos epigeos: (1) *Russula griseascens**, (2) *Russula brevipes*** y (3) *Helvella lacunosa****; la cual fue sólo aplicada durante dos días consecutivos. La toma de datos fue igual que en los anteriores experimentos.

**Russula griseascens* (Bon & Gaugué) Marti, 1984 [Publicado en *Docums Mycol.* 14 (no. 53): 57

** *Russula brevipes* Peck, 1890 [Publicado en *Annual Rep. New York State Mus.* 43: 20]

*** *Helvella lacunosa* Afzel., 1783 [Publicado en *Kongl. Vetensk. Acad. Nya Handl.* 4: 303]

4.7 Análisis estadísticos

La variación en la masa corporal de los ratones alimentados con dietas únicas o mixtas a través del experimento, fue analizada a través de Análisis de Varianza (ANDEVA o ANOVAS por sus siglas en inglés) de medidas repetidas (Zar, 1999). En los modelos la especie de ratón y el tipo de dieta (solo para las únicas) fueron tratados como factores fijos, y los cambios diarios en masa corporal (%) fueron las medidas repetidas.

La variación en el porcentaje de digestibilidad de los ratones alimentados con las dietas únicas fue evaluada utilizando un ANDEVA de dos factores. En el modelo la

especie de ratón y la dieta fueron los factores fijos, y la digestibilidad calculada fue la variable dependiente. Para todos los ANDEVAs utilizados, realizamos pruebas de Tukey para comparaciones múltiples entre grupos (Zar, 1999).

Las diferencias en los índices de electividad para los experimentos de dieta mixta (alimento balanceado, avena, hongos) y la dieta de hongos fueron exploradas a través de ANDEVAs de dos factores. En ambos modelos la especie de roedor y dieta (avena, pellets balanceados y hongo, y la dieta de puros hongos: *Russulla grisaciens*, *Russulla brevipes* y *Helvella lacunosa*) fueron tratados como factores fijos, y los índices de electividad calculados fueron la variable dependiente.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando los paquetes estadísticos Stat View y Super ANOVA (Abacus Concepts 1989, 1999).

5. RESULTADOS

5.1 Composición química y contenido energético

La composición química de los alimentos utilizados en el estudio, consistió en calcular el parámetro de nutrimentos digeribles para las dos especies de ratones, más no su disponibilidad para los animales, se muestra en la Tabla 1. El contenido energético de los esporocarpos de *Russula occidentalis* es de 17%, mientras que el contenido de agua excedió el 90% de la masa fresca, y el porcentaje de nitrógeno es mayor a las otras muestras (más de 5%).

Tabla 1. Composición química (%) y contenido energético (media \pm E.E.) de las dietas experimentales utilizadas en el estudio.

	Pellet Comercial	Avena	Hongos (<i>R.occidentalis</i>)
Contenido de agua (%)	12	14	92
Materia seca (%)	9.7	7.5	1.9
Materia fresca (%)	6	4.8	11.7
Nitrógeno (%)	3.6	2.3	5.4
Contenido energético (kj-g-1)	13.4 \pm 0.01 ^a	11.9 \pm 0.0 ^a	17.7 \pm 0.02 ^b

Datos de contenido energético con la misma letra como superíndice no son significativamente distintos entre ellos ($P < 0.05$).

Estos resultados demuestran que los cuerpos fructíferos de este hongo, en comparación con el alimento balanceado y la avena, pueden ser considerados como pobres nutricionalmente.

5.2 Dietas únicas

Los datos analizados demostraron un cambio en la masa corporal (%) de acuerdo a la especie de ratón y tipo de alimento consumido. Sin embargo, no es significativo la interacción que existe entre especie de ratón y tipo de alimento ofrecido a lo largo del experimento (Figura 1, Tabla 2).

La pérdida de peso corporal se da cuando los ratones de ambas especies se alimentan con la dieta de hongo (*Russula occidentalis*). En el caso de los individuos de *Peromyscus maniculatus* que consumieron la dieta de hongos, la pérdida de peso se da a partir del tercer día del experimento, y en el cuarto día los individuos llegaron a perder hasta el 10% de su masa corporal inicial. En contraste, los individuos de *Neotomodon alstoni* presentaron pérdida de peso desde el primer día de comenzado el experimento, llegando al cuarto día con una pérdida de masa corporal del 15%.

Los individuos de *P. maniculatus* enfrentados con alimento balanceado aumentaron su masa corporal diariamente hasta alcanzar una ganancia máxima del 15% de su peso al final del estudio. Por otro lado, los individuos de *N. alstoni* tuvieron un aumento máximo del 5% de su peso a partir del primer día de aplicado el tratamiento, manteniéndose sin variación hasta finalizado el experimento.

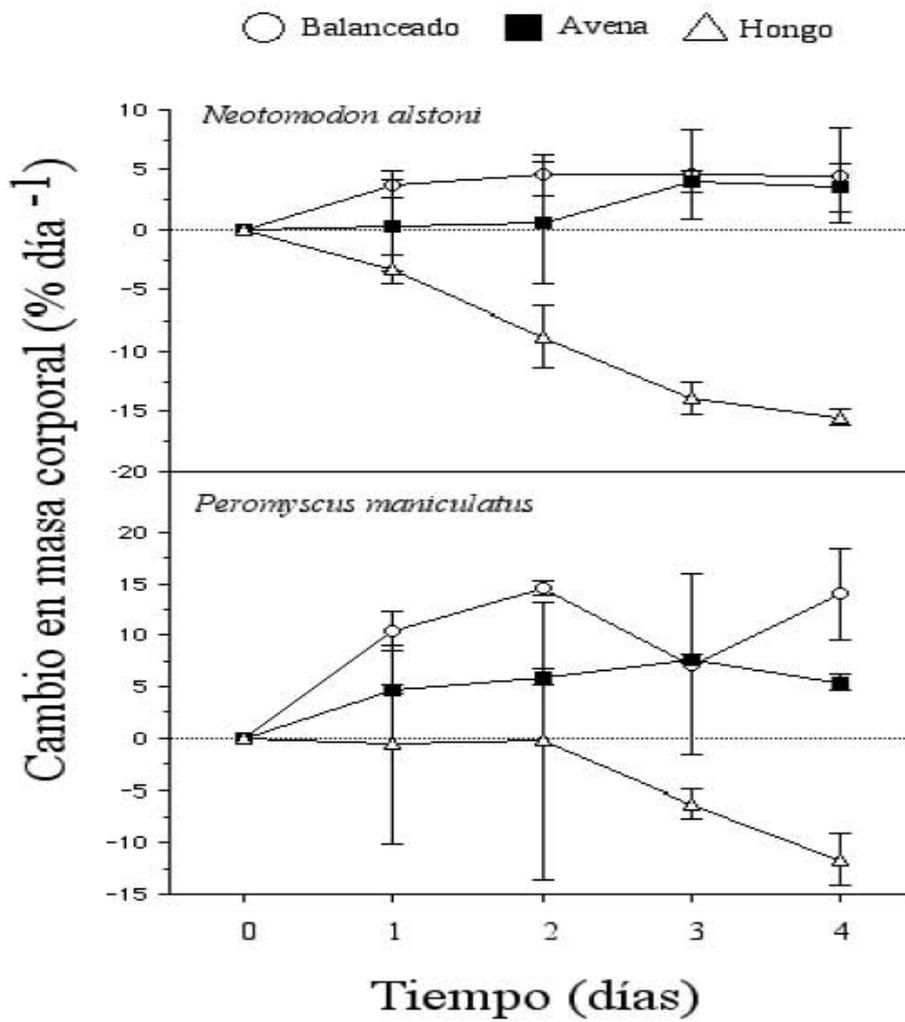


Figura 1. Variación diaria en el cambio de masa corporal (%) en ratones de ambas especies sometidos a las tres dietas experimentales.

Tabla 2. ANDEVA de medidas repetidas examinando la variación en el peso corporal entre ratones de ambas especies, alimentados con dietas únicas (es decir, respectivamente cada ratón de las diferentes especies comió un tipo de alimento) durante 4 días.

Fuente	gl	CM	F	P
Variación inter-individual				
Especie de ratón	1	582.94	11.22	0.01
Dieta	2	435.16	8.37	0.01
Especie de ratón x dieta	2	54.85	1.05	0.391
Variación intra-individual				
Día	4	64.84	6.56	0.001
Día × especie de ratón	4	60.93	6.17	0.001
Día × dieta	8	92.89	9.4	0.001
Día × especie de ratón × dieta	8	13.38	1.35	0.253
Error	32	9.87		

Nota: Especie de ratón y dieta fueron tratados como efectos fijos y el cambio en la masa corporal (%) (transformado al arco-seno) fue el factor repetido. La masa corporal fue medida 5 veces a través del experimento.

Por último, los individuos que ingirieron avena también presentaron ganancia de masa corporal. Se registró un aumento del 4% en ratones de *P. maniculatus* desde el primer día, e igual aumento (4%) en ratones de *N. alstoni* a partir del tercer día. El análisis realizado de digestibilidad aparente de los diferentes ítems dietarios que fueron ingeridos por ambas especies de ratones demostró que no hay diferencia significativa entre especies ($F_{1,54}=0.455$, $P=0.5031$), pero es evidente que existe un efecto significativo con respecto al tipo de alimento ($F_{2,54}=75.090$, $P=0.0001$). El alimento con mejor digestibilidad tanto para *N. alstoni* como para *P. maniculatus* es el pellet comercial (alimento balanceado), seguido por la avena. El ítem menos digerible es el hongo epigeo (*Russula occidentalis*). La interacción entre especie de ratón y tipo de alimento no fue significativa ($F_{2,54}=2.853$, $P=0.664$).

La Tabla 3 muestra la ingesta, digestibilidad e ingesta de energía digestible como una función de los tres tipos de dietas. La ingesta de materia seca y energía fueron significativamente altas en los pellets comerciales para ambas especies de ratones, y esto puede explicar la ganancia de masa corporal registrada en individuos que se alimentaron con esta dieta.

La digestibilidad de los hongos no fue consistente con la alta calidad nutricional. Los individuos de ambas especies fueron incapaces de mantener su masa corporal cuando se alimentaron de hongos, incluso si la ingesta diaria fue alta. La digestibilidad fue diferente entre las dietas para ambas especies de ratones. Asimismo, la ingesta de energía digestible fue significativamente menor cuando los ratones de ambas especies se alimentaron de hongos (Tabla 3).

Tabla 3. Ingesta y digestibilidad (media±E.E.) de las dietas experimentales ofrecidas a:
a) *Neotomodon alstoni* (n=8) y b) *Peromyscus maniculatus* (n=6).

	Pellet comercial	Avena	Hongo (<i>R.occidentalis</i>)	P
(a)				
Materia seca				
Ingesta (g/día)	4.8 ± 0.5 ^a	4.3 ± 0.03 ^a	4.5 ± 0.02 ^a	>0.05
Digestibilidad aparente	94.7 ± 1.70 ^a	92.2 ± 1.55 ^a	80.5 ± 0.94 ^b	<0.05
Nitrógeno				
Digestibilidad aparente	91.2 ± 0.08 ^a	90.1 ± 0.05 ^a	66.1 ± 0.10 ^b	<0.001
Energía				
Digestibilidad aparente	90.9 ± 0.16 ^a	89.1 ± 0.21 ^a	51.5 ± 0.10 ^b	<0.001
(b)				
Materia seca				
Ingesta	4.3 ± 0.1 ^b	3.7 ± 0.01 ^a	3.2 ± 0.01 ^a	<0.05
Digestibilidad aparente	95.3 ± 1.70 ^a	93.9 ± 1.55 ^a	75.6 ± 1.70 ^b	<0.01
Nitrógeno				
Digestibilidad aparente	93.2 ± 0.09 ^a	90.1 ± 0.32 ^a	51.2 ± 0.10	<0.001
Energía				
Digestibilidad aparente	94.1 ± 0.09 ^a	92.2 ± 1.55 ^a	47.6 ± 0.06	<0.001

Valores con la misma letra como superíndice no son significativamente distintos entre ellos.

5.3 Dietas mixtas

Se registró un cambio diario en la ganancia de masa corporal en ambas especies de ratones al ser sometidas a una dieta mixta (cantidades iguales de avena, hongo y alimento balanceado) en la figura 2 se puede observar este cambio en la masa corporal. La masa corporal de ambas especies fue cambiando significativamente a lo largo de los días, y la interacción entre la especie de ratón y el día fue significativa (Tabla 4).

Los individuos de *N. alstoni* alcanzaron una ganancia de masa corporal de hasta el 33% a partir del tercer día de iniciado el experimento, mientras que los ratones de *P. maniculatus* alcanzaron su ganancia máxima (20%) hasta el final del experimento.

Durante el experimento, el análisis del índice de elección mostró diferencias significativas entre especie ($F_{1,33}=4.11$, $P=0.057$), demostrando que los ratones de las dos especies presentan los índices de elegibilidad mayores para los hongos ($F_{2,33}= 29.41$, $P=0.0001$), aun teniendo la posibilidad de ingerir otros alimentos que tienen un alto valor nutricional. La interacción entre especie y dieta fue no significativa ($F_{2,33}=1.17$, $P=0.32$) (ver Tabla 5).

Cuando los ratones son enfrentados a la posibilidad de seleccionar entre los tres tipos de alimento utilizados en este estudio, nuestros resultados demuestran que son los pellets comerciales (alimento balanceado) y la avena, los de menor preferencia para ambas especies de ratones. Sin embargo, a pesar de este reducido consumo, los resultados sugieren que las cantidades ingeridas parecen ser suficientes para compensar los requerimientos nutricionales de los ratones, lo cual se refleja en el aumento de masa corporal registrado.

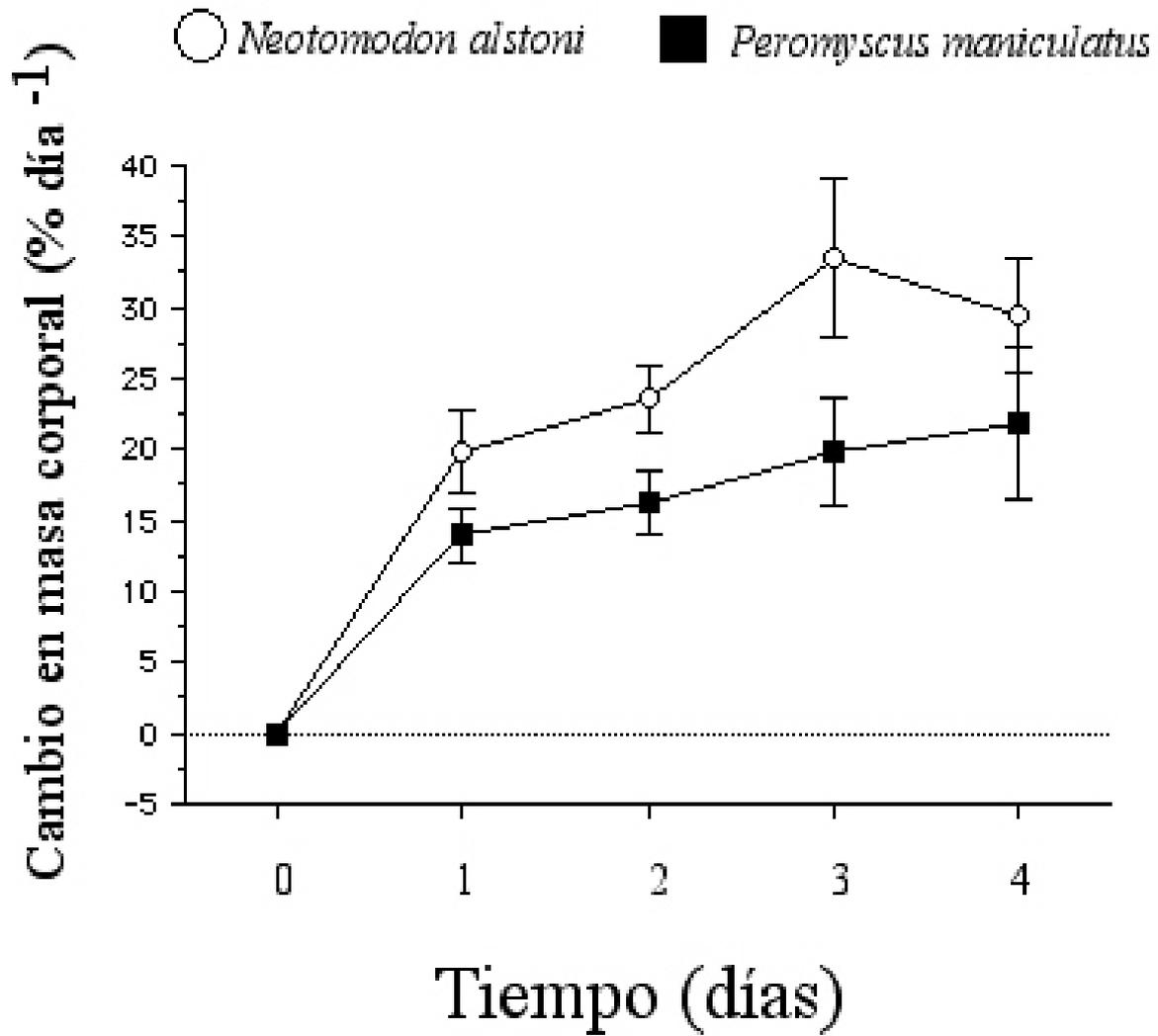


Figura 2. Variación diaria en el cambio de masa corporal (%) en ratones de ambas especies sometidos a la dieta mixta.

Tabla 4. ANDEVA de medidas repetidas examinando la variación en el peso corporal entre ratones de ambas especies, alimentados con la misma dieta (avena, hongo y alimento balanceado) durante 4 días.

Fuente	gl	CM	F	P
Variación inter-individual				
Especies de roedores	1	4139.36	21.26	0.001
Variación intra-individual				
Día	4	96.05	40.67	0.001
Día × especie de ratón	4	14.69	6.24	0.005
Error	44	2.36		

Nota: Especie de ratón fue tratada como efecto fijo y el cambio en la masa corporal (%) (transformado al arcoseno) fue el factor repetido. La masa corporal fue medida 5 veces a través del experimento.

Tabla 5. Índices de elección (\pm E.E) registrados para *N. Alstoni* (n=8) y *P. maniculatus* (n=6) ante los tres tipos de dietas.

	Pellet comercial	Avena	Hongo (<i>R. occidentalis</i>)	P
<i>N. alstoni</i>	^a 0.243 \pm 0.05	^a 0.425 \pm 0.07	0.697 \pm 0.05	<0.05
<i>P. maniculatus</i>	^a 0.164 \pm 0.08	^a 0.314 \pm 0.03	0.617 \pm 0.04	<0.05

Valores con la misma letra como superíndice no son significativamente distintos entre ellos.

5.4 Dieta de hongo

Encontramos diferencias significativas entre especies de ratones ($F_{1,33}=23.6$, $P=0.0001$) y de hongo (*Russula brevipes*, *Russula grisaciens* y *Helvella lacunosa*) ($F_{2,33}= 5.041$, $P=0.01$) en los índices de elección. La interacción entre el factor especie de ratón y especie de hongo fue no significativa ($F_{2,33}=0.98$, $P=0.38$) (ver Tabla 6).

Los resultados obtenidos sugieren que aunque *Russula brevipes* es la especie más consumida por ambas especies de ratones, aun en presencia de los otros hongos. Sin embargo, su manipulación es distinta. Nuestras observaciones durante el experimento, demuestran que los ratones de *N. alstoni*, usualmente despedazan los esporocarpos del hongo, de tal forma que obtienen únicamente laminillas que conforman el pileo, las cuales consumen lentamente. Por el contrario, los individuos de *P. maniculatus* usualmente mordisquean la totalidad del esporocarpo.

Tabla 6. Índice de elección (+E.E) registrados para *N. alstoni* (n=8) y *P.maniculatus* (n=6) ante los tres tipos de hongos.

	<i>Russula grisaciens</i> 	<i>Russula brevipes</i> 	<i>Hervella lacunosa</i> 	<i>P</i>
<i>N. alstoni</i>	a0.933 + 0.03	^a 0.968 ± 0.03	0.793 ± 0.06	< 0.05
<i>P. maniculatus</i>	a0.558+0.10	0.797 ± 0.13	^a 0.528 ± 0.07	< 0.06

Valores con la misma letra como superíndice no son significativamente distintos entre ellos.

6. DISCUSIÓN

En la naturaleza los organismos enfrentan una serie de disyuntivas antes y después de ingerir un alimento. La cantidad y tipo de alimento incluyendo la composición química del mismo, la cual sirve para determinar los nutrimentos que tiene cada alimento, presencia de material indigestible y el tiempo para digerirlo, son algunos de los factores que determinan la inclusión de un alimento en la dieta de los individuos (Bozinovic y Martínez del Rio, 1996).

En este estudio se demostró que los cuerpos fructíferos del hongo *R. occidentales* son mucho menos digeribles que alimentos alternativos para los ratones de *N. alstoni* y *P. maniculatus*. Estos resultados concuerdan con datos previos sobre la baja digestibilidad de hongos hipogeos para una especie de ardilla norteamericana (*Spermophilus saturus*, Cork y Kenagy, 1989^a, 1989b) y de hongos epigeos para un ratón sudamericano (*Abrothrix longipilis*; Bozinovic y Muños-Pedrerros 1995a, 1995b), ambas especies micófagas no especializadas. Dichos estudios reportaron que los organismos incrementan su tasa de ingestión de hongos para poder satisfacer sus requerimientos, pero siempre con una tendencia en la disminución en su masa corporal, como sucedió en el siguiente el estudio.

Los resultados obtenidos sugirieren que los ratones deben complementar su dieta con alimentos alternativos de una calidad superior a la del hongo, para poder mantener e incrementar su masa corporal, como ocurrió al someter a los ratones de ambas especies a las dietas mixtas. A este respecto, se sabe que al existir mayor disponibilidad de nitrógeno producto de la inclusión de otros alimentos (avena o los pellets comerciales en nuestro caso), la flora bacteriana del tracto digestivo puede aumentar rápidamente y

degradar los carbohidratos complejos presentes en los hongos (Bjondal 1991). Este fenómeno probablemente ocurre cuando los individuos de ambas especies de ratones ingieren avena o pellet comercial en las dietas mixtas, lo que explicaría el mantenimiento e incremento de la masa corporal aún cuando los individuos continúan consumiendo preferentemente los hongos.

Cork y Kenagy (1989b) demostraron que las altas concentraciones de nitrógeno presentes en los hongos no necesariamente indican su digestibilidad para los animales que consumen hongos, esto coincide con el presente estudio, ya que se encontró un alto porcentaje de nitrógeno en el hongo *R. occidentales*, siendo indigerible para ambas especies de ratones. La digestibilidad encontrada es incluso menor a la reportada para la mayoría de las plantas herbáceas consumidas por mamíferos de distintos tamaños y hábitos alimenticios (entre 80 y 96% sensu Van Soest, 1982), el cual contrasta con el 50-66 % registrado para *R. occidentalis*. Asimismo, la digestibilidad de la energía de este hongo es de aproximadamente 50%, valores que pueden ser considerados como de los más bajos para alimentos naturales de pequeños mamíferos. Se desconoce la causa de la baja disponibilidad de energía registrada para esta especie de hongo, pero posibles explicaciones incluyen el alto contenido de pared celular y la baja digestibilidad de estas, como se ha demostrado en el hongo *Elaphomyces granulatus* (Cork y Kenagy, 1989b).

La digestibilidad pudo haber variado por algunos factores dado que no todos los alimentos fueron digeribles para las dos especies de roedores, aún siendo jóvenes o adultos hay una variación en la digestibilidad de los alimentos, también es importante mencionar que las especies con las que se hizo el estudio son disímiles y tienen diferencias en cuanto a su peso y tamaño.

Durán (2006) evaluó durante un año el uso del recurso fúngico por ratones silvestres en zonas de bosque de pino, bosque de oyamel y pastizales en el parque nacional La Malinche, Tlaxcala. Sus resultados demostraron que 8 de las 9 especies de ratones presentes en la zona, consumen hongos epigeos a lo largo del año. Tanto el ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni*), como el ratón venado (*Peromyscus maniculatus*), mostrando evidencias de la inclusión de varias especies de hongos hipogeos y epigeos, tales como *Gautieria*, *Leucogaster*, *Leucophleps*, *Histerangium* y *Russula*, lo cual sugiere que los hongos son parte importante de sus dietas.

Los resultados obtenidos en el estudio de dietas mixtas de hongos soportan los hallazgos de Durán (2006) con respecto a que estas especies de ratones pueden incluir el consumo de distintas especies de hongos. Aunque los hongos utilizados en los experimentos de dietas diferentes hongos son solo epigeos, resulta interesante que ambas especies parecen consumir preferentemente a las *Russulas* y en menor proporción a *Helvela lacunosa*.

En un estudio realizado con la ardilla voladora (*Glaucomas sabrinus*), un micófago especializado, Zabel y Water (1997) encontraron que a pesar de mostrar preferencia del consumo de hongos con respecto a otro tipo de alimentos como líquenes y semillas, no todas las especies de hongos son igualmente consumidas, e incluso algunas son evitadas ante la presencia de determinados grupos de hongos. Estos resultados y los nuestros, sugieren que la conformación de una dieta que incluya distintos tipos de hongos puede representar distintos aportes energéticos a los consumidores, lo cual denota la aparición de preferencias cuando la presencia de los hongos es la misma en tiempo y espacio. Futuros estudios deben evaluar esta hipótesis.

Claramente la especie de hongo utilizada en este estudio no representa un alimento de alta calidad, pero es interesante determinar en futuras investigaciones ¿porqué los ratones *N. alstoni* y *P. maniculatus* lo consumen en su hábitat natural? Es bien conocido que tanto hongos hipogeos como epigeos representan un complemento alimenticio altamente consumido por una gran variedad de pequeños mamíferos (Pirozynski y Hawksworth 1988) y resulta interesante que solo una pequeña porción de estos animales cuenta con las adaptaciones suficientes para poder utilizarlos eficientemente. Por ejemplo, la marmota de espalda roja (*Clethrionomys californicus*), que basa casi completamente su alimentación en hongos hipogeos, ha desarrollado una estructura dental muy frágil, con una sola capa de esmalte cubriendo la dentina interna y presencia de dentales con raíces (a diferencia de la mayoría de los roedores). Otro ejemplo sobresaliente son las ratas canguro de Tasmania (*Bettongia* spp.), que han sufrido elongación del intestino dando lugar a la coexistencia de bacterias anaerobias encargadas de la fermentación de los compuestos nitrogenados fúngicos para su transformación en nutrimentos asimilables (Claridge y May 1994). Sin embargo, no solo los organismos especializados para la micofagia pueden obtener beneficios del consumo de este recurso. Por ejemplo, Claridge y Cork (1994) encontraron que el valor energético de dos especies de hongos hipogeos fue alto para una especie de marsupial (*Potorous tridactylus*) en Australia, ya que su alto contenido de agua es un importante aporte en los periodos de sequía.

En el caso de las especies de ratones estudiadas, no se cuenta con información sobre la importancia de la inclusión de hongos en su dieta con respecto a otros alimentos en la naturaleza. Esta falta de información de sus dietas dificulta establecer la importancia del hábito de la micofagia. Sin embargo, es muy factible que la inclusión de hongos permita a estas especies de ratones, sobrevivir durante la época de escasez de otros alimentos, y

el establecimiento de dietas mixtas durante estos periodos permita el mantenimiento de la masa corporal en los individuos. Esto tiene sentido si consideramos que los tiempos de búsqueda, durante la escasez de alimentos de alta calidad, pueden aumentar considerablemente, y energéticamente hablando, resulta poco costoso ignorar a un alimento abundante como los hongos mientras se realizan estas búsquedas. Este hecho podría explicar porqué los animales ingieren ítems de aparente bajo valor nutricional como los hongos.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo concluimos lo siguiente:

- 1) El hongo epigeo *Russula occidentalis* es un complemento dietario de baja calidad nutricional tanto para el ratón de los volcanes (*N. alstoni*) y para el ratón venado (*P. maniculatus*).
- 2) La digestibilidad aparente de la materia seca, nitrógeno y energía en este hongo, es baja, en comparación con los otros alimentos utilizados, para ambas especies de ratones.
- 3) Los ratones de ambas especies utilizados en el experimento que fueron sometidos a una dieta única de hongo (*Russula occidentalis*) presentaron una pérdida constante de masa corporal a lo largo del tiempo.
- 4) En los experimentos de dietas mixtas, ambas especies de ratones mostraron una preferencia por el consumo de hongos, a pesar de la presencia de alimentos de alta calidad (avena y pellets balanceados).
- 5) La inclusión de avena y pellets balanceados, permitió a los individuos de las dos especies sometidos a la dieta mixta, mantener su peso corporal a lo largo del tiempo, aun cuando el consumo de hongos fue constante.
- 6) Ambas especies de ratones mostraron una preferencia diferencial ante las dietas que se les proporciono de diferentes hongos como *R. griseascens*, *R. brevipes* y *Helvella lacunosa* sugiriendo que los ratones consumen con distinta intensidad, diferentes especies de hongos, sin embargo si se hubieran alimentado durante cinco días consecutivos los ratones de ambas especies perderían mucha de su masa corporal.

8. LITERATURA CITADA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1980. Official methods of analytical chemist. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington. D.C.
- Barkley, S. A., Batzli G. O. y Collier B. D. 1980. Nutritional ecology of micotine rodents: a simulation model of mineral nutrition for brown lemmings. *Oikos*. 43: 103-114.
- Batzli, G. O. y Cole F. R. 1979. Nutritional ecology of microtine rodents: digestibility of forage. *Journal of Mammalogy*. 60:740-750.
- Bjondal, K. A. 1991. Diet mixing: nonaditive interactions of diet items in an omnivorous freshwater turtle. *Ecology* 72:1234-1241.
- Bozinovic, F. 1993. Fisiología ecológica de los procesos de alimentación y mecanismos de digestión en vertebrados: modelos y teorías. *Revista Chilena de Historia Natural*.66:375-382.
- Bozinovic, F. y Muñoz-Pedreros. A. 1995a. Nutritional ecology and digestive responses of an omnivorous-insectivorous rodent (*Abrothrix longipilis*) feeding on fungus. *Physiological Zoology* 68:474-489.
- Bozinovic, F. y Muñoz-Pedreros. A. 1995b. Dieta mixta y energética nutricional de un roedor micófago en el sur de Chile: interacciones entre ítemes dietarios. *Revista Chilena de Historia Natural*. 68:383-389.

- Bozinovic, F. y Martínez del Río, C. 1996. Animals eat what they should not: why do they reject our foraging models? *Revista Chilena de Historia Natural*. 69:15-20.
- Cazares, E., Luoma, D. L., Amaranthus, P., Chambers C. L. y Lehmkuhl. J. F. 1998. Interaction of fungal sporocarp production with small mammal abundance and diet in Douglas-fir stands of the southern Cascade range. *Northwest Science*. 73:64-76.
- Carta estatal de suelos (1987) Dirección General del Territorio Nacional. SPP.
- Claridge, A. W., Tanton, M. T., Seebeck, J. H., Cork S.J. y Cunningham R.B. 1992. Establishment of ectomycorrhizae on the roots of two species of *Eucalyptus* from fungal spores contained in the faeces of the long-nosed potoroo (*Potorous tridactylus*). *Australian Journal of Ecology*. 17:207-217.
- Claridge, A. W., Cork, S. J. 1994. Nutritional value of hypogean fungal sporocarps for the long-nosed potoroo (*Potorous tridactylus*), a forest-dwelling mycophagous marsupial. *Australian Journal of Zoology*. 42:701-710.
- Claridge, A. W. y May, W. 1994. Mycophagy among Australian mammals. *Australian Journal of Ecology* 19:251-275.
- Claridge, A. W. y Lindenmayer, D. B. 1998. Consumption of hypogeous fungi by the mountain brushtail possum (*Trichosurus caninus*) in eastern Australia. *Mycological Research*. 102:269-272
- Claridge, A. W., Trappe, J. M., Cork, S. J. y D. L. Claridge. 1999. Mycophagy by small mammals in the forests of North America: nutritional value of sporocarps of

- Rhizopogon vinicolor*, a common hypogeous fungus. *Journal of Comparative Physiology B*. 169:172-178.
- Colgan, W. y Claridge, A. W. 2002. Mycorrhizal effectiveness of *Rhizopogon* spores recovered from faecal pellets of small forest-dwelling mammals. *Mycological Research*. 106:314-320.
- Cork, S. J. 1994. Digestive constraints on dietary scope in small and moderately-small mammals: how much do we really understand? En: Chivers D y Langer P. (eds). *The digestive system in mammals: food, form and function*. Pages 337-369.
- Cork, S. J. y Kenagy, G. J. 1989a. Rates of gut passage and retention of hypogeous fungal spores in two forest-dwelling rodents. *Journal of Mammalogy*. 70:512-519.
- Cork, S. J. y Kenagy, G. J. 1989b. Nutritional value of hypogeous fungus for a forest-dwelling ground squirrel. *Ecology* 70:576-586.
- Church, D. C. Pond, W. G. y Pond, K. R. 2004. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. Limus Wiley.
- Durán, Z. 2006. *Micofagia por roedores terrestres en tres ambientes del Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- Fogel, R. 1975. *Insect Mycophagy: A Preliminary Bibliography*. General Technical Report PNW-36. Pacific Northwest Forest and Range Experiment station, USDA Forest Service, Portland, O.R.

- Fogel, R. y J. M. Trappe. 1978. Fungus consumption (mycophagy) by small animals. Northwest Science. 52:1-31.
- Grönwall, O. y Pehrson, A. 1984. Nutrient content in fungi as a primary food of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*). Oecologia. 64:230-231.
- Hall, D. S. 1991. Diet of the northern Flying squirrel at Sagehen Creek, California. Journal of Mammalogy. 72:615-617.
- Hunt, G. A y Maser, Z. 1985. Consumption of hypogeous fungi by the deer mouse (*Peromyscus maniculatus*). Page 272 in R. Molina, ed., Proceedings of the Sixth North American conference on mycorrhizae. For. Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, Oregon.
- Ivlev, V. S. 1961. Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale University Press, New Haven, Conn.
- Janos, D. P., Sahley C. T. 1995 Rodent dispersal of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in Amazonian Peru. Ecology. 76: 1852-1858
- Johnson, C. N. 1994. Nutritional ecology of a mycophagous marsupial in relation to production of hypogeous fungi. Ecology. 75:2015-2021.
- Johnson, C. N. 1996. Interactions between mammals and ectomycorrhizal fungi. Trends in Ecology and Evolution 11: 503-507.
- Karasov, W. H y Diamond, J. M. 1988. Interplay between physiology and ecology in digestion. Bioscience. 38:602-611.

- Kotter, M. M y Farentinos, R. C. 1984. Formation of ponderosa pine ectomycorrhizae after inoculation with feces of tassel-eared squirrels. *Mycologia*. 76:758-760.
- Lamont, B. B., Ralph C. S., y Christensen P. E. S. 1985. Mycophagous marsupials as dispersal agents for ectomycorrhizal fungi on *Eucalyptus calophylla* and *Gastrolobium bilobum*. *New Phytol.* 101:651-656.
- Lawrence, J. F. 1989. Mycophagy in the Coleoptera: feeding strategies and morphological adaptation. Pags. 1-23 En: Wilding, Collins N. M., Hammond P. M., Webber J. F. (eds) insect-fungus interactions. Academic Press. New York.
- Malajczuk, N., Trappe, J. M., Molina, R. 1987. Interrelationships among some ectomycorrhizal trees, hypogeous fungi and small mammals: Western Australian and northwestern American parallels. *Australian Journal of Ecology*. 12:53-55.
- Mangan, S. A., Alder. G. H. 2000. Consumption of arbuscular mycorrhizal fungi by terrestrial and arboreal small mammals in a Panamanian cloud forest. *Journal of Mammalogy*. 81:563-570.
- Mangan, S. A. y Adler, G. H. 2002. Seasonal dispersal of arbuscular mycorrhizal fungi by spiny rats in a Neotropical forest. *Oecologia*. 131:587-597.
- Martin, M. M. 1979. Biochemical implications of insect mycophagy. *Biological Reviews*. 54:1-21.
- Maser, C. y Maser, Z. 1988. Interactions among squirrels, mycorrhizal fungi, and coniferous forest in Oregon. *The Great Basin Naturalist*. 48:358-369.

- Maser, C., Trappe, J. M. y R. A. Nussbaum. 1978a. Fungal-Small mammal interrelationships with emphasis on Oregon coniferous forests. *Ecology*. 59:799-809.
- Maser, C., Trappe, J. M. y D. C. Ure. 1978b. Fungal-small mammal mycophagy to the management of western coniferous forests. *Trans. 43rd N. American Wildlife*. Pp. 75-88.
- McIlwee, A. P. y Johnson C. N. 1998. The contribution of fungus to the diets of three mycophagous marsupials in Eucalyptus forests, revealed by stable isotope analysis. *Functional Ecology*. 12:223-231.
- Muzarelli, R. A. 1977. *Chitin*. Pergamon, Oxford, England.
- Ovaska, K. y Herman, T. B. 1986. Fungal consumption by six species of small mammals in Nova Scotia. *Journal of Mammalogy*. 67:208-211.
- Penry, D. L. 1993. Digestive constrains on diet selection. En: Hughes RN (ed). *Diet selection: an interdisciplinary approach to foraging behaviour*. 32-55.
- Pirozynski, K. A y Hawksworth, D. L. 1988. Coevolution of fungi with plants and animals: introduction and overview. 1-29. Academic Press, Oxford.
- Polaco, O. J., Guzmán, G., Guzmán-Dávalos, L. y T. Álvarez. 1982. Micofagia en la Rata montera *Neotoma mexicana* (Mammalia, Rodentia). *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*. 17:114-119.
- Prieto, B. M. 1988. Hábitos alimenticios de tres especies de roedores cricétidos. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México 73 p.

- Reddell, P. Spain, A. V. 1991. Earthworms as vectors of viable propagules of mycorrhizal fungi. *Soil. Biol. Biochem.* 23:767-774.
- Sibly, R. M. 1981. Strategies of digestion and defecation. In: *Physiological Ecology: An Evolutionary Approach to Resource Use* (eds Townsend, C. R. & Calow, P.). Blackwell, Oxford, pp. 109–139.
- Stephens, D. W y Krebs J. R. 1986. *Foraging theory*. Princenton University Press. New Jersey.
- Singer, R. 1949 (1951). The Agaricales (Mushrooms) in Modern Taxonomy. *Lilloa* 22: 5-832.
- Taylor, R. J. 1991. Plants, fungi and beetles: a fire dependent co-evolutionary relationship. *Australian Journal of Ecology*. 6: 409-411.
- Trappe, J. M., Maser C. 1976. Germination of spores of *Glomus macrocarpus* (Endogonaceae) after passage through a rodent digestive tract. *Mycologia*. 68: 433-436.
- Trappe, J. M., and Cázares, E. 1990. Evolución, ecología y micofagia en los hongos hipogeos. *Rev. Mex. Micol.* 6:33-40.
- Van Soest, P. J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. Durham and Downey, Portland, Oregon, USA.
- Whitaker, J. O., y Maser. C. 1976. Food habits of five western Oregon shrews. *Northwest Science* 50: 102-107.

Zabel, C. J. y Waters, J.R. 1997. Food preferences of captive northern flying squirrels from the Lassen National Forest in northeastern California. Northwest Science 71:103-107.

Zar, J. 1999. Biostatistical Analysis. 4th edit. Prentice Hall. New Jersey. U.S.A.