

# MODELOS PREDICTIVOS DE LA PRODUCCIÓN DE HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES EN BOSQUES DE CONÍFERAS, TLAXCALA, MÉXICO

## PREDICTIVE MODELS OF WILD EDIBLE MUSHROOM PRODUCTION IN CONIFER FOREST OF TLAXCALA STATE, MEXICO

Efraín Velasco Bautista <sup>1</sup>, Marisela C. Zamora-Martínez <sup>1</sup>,  
Cecilia Nieto de Pascual Pola <sup>1</sup>, Jesús Iroel Martínez-Valdez <sup>2</sup> y Adriana Montoya <sup>3</sup>

### RESUMEN

La producción de los hongos silvestres en condiciones naturales está determinada por la biología de cada taxón, la conformación de las dimensiones del arbolado presente en los rodales donde se desarrollan, así como por los elementos edáficos y climatológicos propios de sus hábitats. Conocer con precisión las particularidades ecológicas y dasométricas de los sitios de recolecta de hongos permite asociar su productividad tanto con dichos componentes, como con la fisiografía de los bosques. Por ello, se llevó a cabo un estudio de monitoreo de los macromicetos comestibles durante tres temporadas de lluvias (2004-2006) en tres localidades ubicadas en los municipios de Tlaxco, Terrenate y Nanacamilpa pertenecientes al estado de Tlaxcala. En cada sitio se establecieron 10 parcelas de muestreo de 33 x 33 m (1,089 m<sup>2</sup>), dentro de las cuales se registraron datos ambientales; además del número y peso de esporomas por especie y las características dasométricas del arbolado; se generaron modelos de regresión para definir la posible relación entre dichas variables. Se identificaron 153 especies de hongos silvestres comestibles, cuya producción total fue equivalente a 193,688 kg. Los resultados indican que la producción total fúngica se puede predecir a partir del número de árboles presentes, su altura, diámetro normal y cobertura, así como de información precisa de temperatura y de precipitación media anual correspondiente al periodo considerado en el muestreo.

Palabras clave: Diversidad fúngica, hongos silvestres comestibles, micocenología, modelos de regresión, productividad fúngica, Tlaxcala.

### ABSTRACT

Wild edible mushroom production under natural conditions is determined by the biology of each species, the tree dimensions of the stands where they grow as well as by soil and climatic elements of their habitat. If the ecology and tree-dimensions of the fungus-collecting sites is known, it's possible to link their productivity to the physiographic elements of forests. Thus, a monitoring study of wild edible mushrooms was carried out during three rainy seasons (2004-2006) at Tlaxcala state, in three locations that belong to Tlaxco, Terrenate and Nanacamilpa. In each location, ten 33 x 33 m (1,089 m<sup>2</sup>) permanent-sampling plots were placed, where environmental data were taken as well as the number and fresh weight of carpophores and tree-mensuration. Regression models were obtained in order to find association among those variables. 153 wild edible mushrooms were found, with a total production of 193,688 kg. Results show that the total wild-edible mushroom production can be predicted as it is related to the number of trees and tree-mensuration characteristics (BHD, total height and cover) of each location, as well as to climatic factors such as temperature and average year rainfall during the time of sampling.

Key words: Fungi diversity, wild-edible mushrooms, fungal coenology, regression models, mushroom productivity, Tlaxcala state.

Fecha de recepción: 04 de septiembre de 2009.

Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2010.

### INTRODUCCIÓN

Los hongos silvestres comestibles son un recurso forestal no maderable que constituye una fuente alternativa de ingresos para los habitantes de las zonas boscosas o que viven cerca de ellas, pues complementan la economía familiar a la mitad del año, cuando se verifica la emergencia masiva de esporomas, en los meses de junio a septiembre, principalmente, aunque, la mayor parte del producto obtenido es para el autoconsumo y en menor proporción se comercializa a nivel local o regional. Cabe señalar que su aprovechamiento se practica sobre la base del conocimiento empírico y se realiza sin técnicas de manejo que garanticen su conservación (Zamora-Martínez y Nieto de Pascual, 1995; Zamora-Martínez, 1999; Estrada-Martínez, 2002; Ruan *et al.*, 2002).

Tlaxcala es la entidad con menor superficie de la República Mexicana, ya que su extensión es de 4,060.93 km<sup>2</sup>, lo que representa 0.2% del territorio nacional. Contrastante en su paisaje, compuesto por extensos llanos que se alternan con sierras, elementos volcánicos y con lomeríos formados por rocas ígneas extrusivas, posee una extensión cubierta por vegetación que corresponde a la de los climas fríos o templados está representada por géneros resistentes a las bajas temperaturas, como *Pinus*, *Abies*, *Quercus* y *Alnus* (Espejel y Carras, 2004). Sus bosques se inscriben en el macizo forestal del Eje Neovolcánico Transversal; por ello, muchos de sus atributos son comunes a los descritos para la Sierra Nevada que se distribuye en entidades vecinas (Sánchez-González *et al.*, 2005; Valenzuela *et al.*, 2004). Sin embargo, los habitantes del lugar, usuarios directos o indirectos de los recursos naturales, les imprimen rasgos propios a través de los años, integrando tales características a la historia local; por lo tanto, una aproximación analítica de

<sup>1</sup> (CENID-COMEF), INIFAP. Correo-e: [velascoefrain@inifap.gob.mx](mailto:velascoefrain@inifap.gob.mx)

<sup>2</sup> Planeación y Proyectos de Investigación, S. C.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Tlaxcala. Laboratorio de Sistemática. CICB, Maestría en Ciencias Biológicas. Ixtacuitla, Tlaxcala.

los principales sitios de producción de hongos arrojará resultados específicos para las condiciones y tiempo en los que se hizo el levantamiento y serán válidos como referencia por su originalidad.

La comercialización de los hongos silvestres comestibles en el estado durante la temporada de lluvias es una actividad que complementa el ingreso financiero de los campesinos, pues se ha calculado que equivale aproximadamente a \$10,000.00 (base año 2000) en dicho periodo (Zamora-Martínez, 2008). Su venta es importante en los mercados de la ciudad de Tlaxcala, Apizaco, Nanacamilpa, Santa Ana Chiautempan y Huamantla, poblaciones que representan centros de acopio del producto procedente de diversas zonas como el Volcán La Malinche, Tlaxco y Nanacamilpa (Montoya *et al.*, 2004; Zamora-Martínez, 2008).

A pesar del interés que supone este recurso no maderable, la microbiota de la entidad ha sido poco estudiada con respecto a los trabajos florísticos; en las últimas décadas, especialistas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala han hecho aportaciones relativas a la determinación taxonómica de diversos grupos de hongos (Estrada-Torres *et al.*, 1991; Sierra y Cifuentes, 1994); así como a su comestibilidad (Montoya, 2005; Zamora-Martínez, 2000; Zamora-Martínez *et al.*, 2007) o toxicidad (Montoya *et al.*, 2004; 2007), y a la descripción del hábitat en el que se desarrollan (Estrada-Torres y Santiago-Martínez, 2003).

En años recientes se ha evaluado la producción de esporomas en los bosques de *Pinus* spp. en predios ubicados en el municipio de Nanacamilpa y en el Volcán La Malinche, con estimaciones de 45.645 kg ha<sup>-1</sup> y 15.528 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Zamora-Martínez *et al.*, 2007).

Los intentos por predecir la productividad de los hongos en condiciones naturales en relación a factores ambientales ha generado diversas investigaciones a nivel mundial (Villarreal, 1994). Incluso Correa, 2001 (citado por Peña y Hernández, 2004) señala que el estudio del crecimiento de hongos se ha hecho de manera tradicional mediante técnicas formales de diseño de experimentos, las cuales han tenido como meta principal la identificación del crecimiento del hongo a través de modelos lineales que, en muchos casos, arrojan niveles muy bajos de confiabilidad debido a la complejidad observada en los datos obtenidos.

Al respecto, se han generado algunas ecuaciones alométricas para estimar la capacidad de carga de diferentes especies de hongos silvestres comestibles a partir de técnicas no destructivas, como es la determinación de la relación entre el diámetro promedio del píleo y el peso fresco de *Cantharellus formosus* Corner y *C. subalbidus* A.H. Sm. & Morse (Pilz *et al.*, 2003). Arteaga y Moreno (2006) elaboraron un modelo para estimar la producción de hongos en un bosque de pino, a partir de la cobertura arbórea y el número de especies de hongos silvestres comestibles registrados.

En la actualidad se considera que el aprovechamiento de los productos forestales debe hacerse bajo criterios de sustentabilidad ecológica y económica, para lo cual es necesario conocer las características biológicas y las del ambiente en el que se desarrolla el recurso por manejar, así como el contexto socioeconómico de

la población humana beneficiaria. En este sentido, se planteó la investigación que se describe a continuación, cuyo objetivo consistió en predecir la producción de hongos silvestres comestibles al considerar como base los factores que influyen en la emergencia de los esporomas mediante modelos de regresión, en tres localidades del estado de Tlaxcala.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en tres predios forestales: El Nacimiento, municipio de Tlaxco; Rancho Viejo, municipio de Terrenate y Piedra Canteada, municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista (Figura 1). Dichas localidades fueron seleccionadas a partir de su riqueza fúngica y forestal (Zamora *et al.*, 2000), el tipo de propiedad territorial, su forma de manejo, su biodiversidad y las condiciones ecológicas contrastantes entre ellas.

En cada localidad se establecieron al azar 10 parcelas permanentes de muestreo, con una superficie de 1,089 m<sup>2</sup> (33 x 33 m), mismas que fueron marcadas en los puntos extremos con material visualmente distintivo; así, se utilizaron cintas fosforescentes de abanderamiento (Sunglo Hi-Viz Ben Meadows color amarillo, rosa y naranja) y marcaje de los árboles definidos como señuelo, identificados con el número de la parcela, mediante pintura de aceite color amarillo.

### Estimación de la biomasa fúngica

Con base en lo propuesto por Villarreal y Guzmán (1985), Villarreal (1994) y Zamora-Martínez y Nieto de Pascual (1995) se hicieron visitas semanales a las parcelas en los meses de junio a noviembre de los años 2004 al 2006, lo que representó 22 fechas por año. Los sitios de muestreo fueron revisados en su totalidad, siguiendo transectos en zig-zag a partir de una de las esquinas; en los recorridos se recolectaron, cuantificaron y pesaron en fresco los esporomas de cada una de las especies comestibles presentes. Para ello se utilizó una báscula digital OHAUS CS 2000<sup>®</sup> de 3 kg. En este estudio la productividad se registró como el peso fresco, ya que en términos de la disponibilidad del recurso susceptible de ser aprovechado por el hombre este tiene mayor valor, puesto que constituye la medida de comercialización. No obstante, el peso seco es la forma usual de consignarla (Pilz y Molina 1998). Los ejemplares en mejor estado se conservaron para incorporarlos al Herbario Nacional Forestal (INIF), previa determinación a partir de claves taxonómicas y monografías específicas (Phillips, 1991; Singer, 1962; Snell y Dick, 1970; Vite, 2005).

### Evaluación dasométrica

Se consideraron todos los árboles en pie >10 cm de Diámetro Normal (DN) en términos de altura total (m), DN (cm) y cobertura de la copa (m<sup>2</sup>), que consiste en el promedio de la dimensión del radio mayor (rama más larga) y del radio menor (rama más corta), para aplicar la fórmula que calcula el área del círculo.

El equipo utilizado para la obtención de los datos fue: clisímetro (Pistola HAGA<sup>®</sup>), cinta diamétrica (Ben Meadows<sup>®</sup> de 20 m/320 cm de 16 mm) y cinta métrica de 15 m.



Figura 1: Ubicación de las parcelas permanentes de monitoreo.

#### Modelos de regresión

La información de campo se integró en una base de datos, cuyas filas representan a las parcelas y las columnas a las variables dasométricas, fúngicas y climáticas. Estas últimas se consideraron como valores mensuales de junio a noviembre, en cada año de valoración. La producción de hongos y la precipitación se tomaron como un total acumulado; en tanto que la temperatura se calculó como un promedio de los valores diarios del mes correspondiente. Las variables de clasificación fueron el año y la localidad.

Se generaron modelos de regresión múltiple para cada localidad, en los que la variable dependiente fue la producción más alta de hongos silvestres comestibles alcanzada durante los meses de junio a noviembre, en función del promedio de los tres años de estudio. Respecto a las características dasonómicas, el número total de árboles, el diámetro normal (DN) promedio, la altura promedio, el diámetro de copa promedio y la cobertura promedio del arbolado en pie constituyeron las variables independientes. La unidad de estudio en todos los casos fue la parcela de muestreo, cuya superficie total fue de 1,089 m<sup>2</sup>; por parcela se obtuvieron datos fúngicos y dasométricos en un punto en el tiempo.

En el análisis de la información, así como en la determinación de los promedios o totales por parcela, se utilizó el paquete Statistical Analysis System (SAS, Versión 9). Los modelos de regresión se generaron a través del PROC REG. Para la selección de las variables que hicieron el mayor aporte en la predicción de la producción de hongos se aplicó el procedimiento BACKWARD (Der y Everitt, 2002).

Se utilizó una metodología similar para elaborar los modelos de regresión en los cuales la variable dependiente fue la producción media de hongos silvestres comestibles y las variables independientes los promedios de temperatura y la precipitación pluvial mensual de los tres años estudiados. Se usó información fúngica y climática por localidad para los meses de junio a noviembre. Los datos climatológicos proceden de los registros de las estaciones meteorológicas más cercanas a las localidades bajo estudio: Tlaxco (19°35'33" y -98°07'32"), Toluca de Guadalupe, Terrenate (19°27'53" y -97°57'29") y Escuela Agropecuaria Nanacamilpa (19°29'53" y -98°31'29").

#### RESULTADOS

Las localidades incluyen tres escenarios que resultan de la combinación de los factores de sitio (Cuadro 1).

#### Producción total estimada

Al concluir las tres temporadas de monitoreo de la producción natural de hongos comestibles se identificaron 153 especies, pertenecientes a 31 familias y 44 géneros; de ellas, 69% son ectomicorrizógenas y 31% saprótrofos, con una abundancia total de 15,925 esporomas, que registraron un peso fresco total de 193,688.8 g (Cuadro 2). Los taxa con valores altos de producción fueron: *Hygrophorus russula* (Schaeff.) Kauffman (5,681 g) y *Boletus erythropus* Pers (3,856 g), en Piedra Canteada; *Cantharellus cibarius* Fr. (2,008 g) y *Russula brevipes* Peck (4,291 g), en Rancho Viejo y *Amanita rubescens* Pers. (2,935 g) y *Suillus granulatus* (L.) Roussel (1,710 g), en el Nacimiento (figuras 2 a 5).

Cuadro 1. Información geográfica y topográfica de las localidades de estudio.

Localidad	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Pendiente (%)	Exposición
El Nacimiento (Tlaxco)	N19°39'47.2''	2,430-3,126	20-48	S, SSE, O, NO
	19°40'23.8''			
	O-98°04'29.4''			
Rancho Viejo (Terrenate)	-98°05'21.9''	3,029-3,222	10-40	SE, NNE, NE, E, S
	N19°29'34.4''			
	19°29'59.9''			
Piedra Canteada Nanacamilpa de Mariano Arista	O-97°52'50.3''	2,817-3,157	4-25	SE, NE, N, E, S, O
	-97°53'9.6''			
	N19°27'34.3''			
	19°27'50.9''			
	O-98°36'46.6''			
	-98°37'13.8''			

Cuadro 2. Resultados del monitoreo de hongos silvestres comestibles durante tres temporadas de lluvias (2004-2006).

Localidad	Riqueza (Número de especies)*	Abundancia (Número de esporomas)	Producción (g)**
El Nacimiento	77	2,750	40,134.0
Rancho Viejo	39	1,058	17,377.0
Piedra Canteada	79	2,483	45,605.5
Total	153	15,925	193,688.8

\* Valores totales para las tres temporadas de evaluación.

\*\* Producción total para las tres temporadas de evaluación (peso fresco).

### Dasometría

Los datos obtenidos en las tres localidades muestran comunidades naturales con una composición arbórea diferente, que resulta en bosques con características fisonómicas y poblacionales particulares (Cuadro 3).

### Modelos

A continuación se presentan las expresiones que mejor predicen la producción de esporomas, en función de las variables dasométricas, para cada una de las áreas de trabajo.

Rancho Viejo, mpio. Terrenate:

$$\hat{y} = 128.67 + 1.52 X_1 + 6.36 X_2 + 22.40 X_3 - 6.11 X_4 \quad (1)$$

\* (0.0405) (0.0385) (0.0762) (0.0098) (0.0145)

Donde:

$\hat{y}$  = Producción estimada de hongos (g) en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_1$  = Número total de árboles en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_2$  = Diámetro normal (cm) promedio en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_3$  = Altura (m) promedio en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_4$  = Cobertura (m<sup>2</sup>) promedio en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

\* = Valores de  $p$  correspondientes a la prueba de  $t$  de cada parámetro estimado.

La  $R^2$  se calculó en 0.99. El valor de  $p$  de la prueba de  $F$  fue de 0.0113, por lo que las variables consideradas contribuyen en forma significativa en la predicción de la producción de hongos. El valor de  $p$  correspondiente a la prueba de  $t$  fue menor a 0.05, excepto en  $X_2$ , en donde dicho valor resultó ser 0.08.



Figura 2. Ejemplar de *Suillus granulatus* (L.) Rousel evaluado en El Nacimiento.



Figura 3. Ejemplar de *Russula brevipes* Peck evaluada en Rancho Viejo.



Figura 4. Ejemplar de *Amanita rubescens* Pers. evaluada en El Nacimiento.



Figura 5. Ejemplar de *Hygrophorus russula* (Schaeff.) Kauffman evaluada en Piedra Canteada.

El Nacimiento, mpio. Tlaxco:

$$\hat{y} = 728.44 + 4.20 X_1 - 8.54 X_2 + 208.10 X_3 - 3.104 X_4 \quad (2)$$

\* (0.0079) (0.0072) (0.0146) (0.0060) (0.0076)

Donde:

$\hat{y}$  = Producción estimada de hongos (g) en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_1$  = Número total de árboles en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_2$  = Diámetro normal (cm) promedio en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_3$  = Diámetro de la copa (m) promedio en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_4$  = Cobertura (m<sup>2</sup>) promedio en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

\* =Valores de p correspondientes a la prueba de t de cada parámetro estimado.

La R<sup>2</sup> fue de 0.90, lo cual indica que alrededor del 90% de la variabilidad del peso fresco de los hongos es explicada por el modelo de regresión (Montgomery et al., 2004). El valor de p de la prueba de F fue de 0.0268, por lo que las variables consideradas contribuyen en forma significativa en la predicción de la producción de hongos. Para las cuatro variables independientes

el valor de  $p$  correspondiente a la prueba de  $t$  fue menor al 0.05. El agregar una unidad a todas las variables independientes, excepto en el número total de árboles y del diámetro de copa promedio de la parcela, incide en la disminución del valor de la producción total de hongos en la misma.

La  $R^2$  fue de 0.76. El valor de  $p$  de la prueba de  $F$  fue de 0.0278, por lo que las variables consideradas contribuyen en forma significativa en la predicción de la producción de hongos. Para  $X_1$  y  $X_2$  el valor de  $p$  correspondiente a la prueba de  $t$  fue menor al 0.05; mientras que, para  $X_3$  estuvo alrededor de 0.11.

Cuadro 3. Descripción del arbolado de las parcelas de monitoreo de hongos en las localidades de muestreo.

Localidad	Especies Forestales	Árboles/ ha <sup>-1</sup> (n)	Alturas (m)		DN (cm)		Cobertura (m <sup>2</sup> )	
			I*	M**	I*	M**	I*	M**
El Nacimiento	<i>Abies religiosa</i> (HBK.) Schltdl. et Cham.	282	9-36	27.8	10-67.2	35.0	1.76-153.93	31.42
	<i>Pinus</i> spp.	160	11-45	31.43	10-68.5	39.02	3.14-20.16	55.53
	<i>Quercus crassifolia</i> Humb. et Bonpl.	7	3-17.5	11.16	10-46	11.63	3.14-23.75	13.31
	<i>Quercus</i> sp.	30	3.5-19	9.71	10-36.4	16.37	1.76-78.54	16.98
Rancho Viejo	<i>Pinus</i> spp.	459	3-29	18.10	10.9-86.1	28.33	1.76-237.75	43.96
	<i>Quercus</i> spp.	4	9-13	11.25	25-42	31.02	9.62-78.53	33.08
	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	8	11-17	14.98	3-10	5.87	10.17-47.78	20.38
	<i>Cupressus</i> sp.	9	3-12	8.88	11.7-30.2	19.70	1.76-201.06	36.68
Piedra Canteada	<i>Pinus</i> spp.	119	6-45	20.66	12-82.10	31.32	2.0-134.37	26.68
	<i>Abies religiosa</i>	373	8-58	27	10.5-102	32.7	4.98-113.09	27.90
	<i>Arbutus xalapensis</i>	5	8-17	11.87	16-28	19.36	9.18-28.27	17.06
	<i>Litsea glaucescens</i> HBK.	3	2-9	5.33	10-18	9.2	1.25-2.30	1.50
	<i>Pseudotsuga macrolepis</i> Flous	2	1-5	2.5	10-14	12	3.14-7	4.00
	<i>Quercus crassifolia</i> Humb. et Bonpl.	30	8-30	16.26	10.5-43.5	24.0	3.46-72.4	22.96
	<i>Quercus rugosa</i> Née	107	5-37	19.12	11-50	26	1.90-76.20	21.14

\*I = intervalo; \*\*M = Valores promedio

Piedra Canteada, mpio. Nanacamilpa de Mariano Arista:

$$\hat{y} = 2234.23 - 172.43 X_1 + 2.76 X_2 + 90.29 X_3 \quad (3)$$

\* (0.0327) (0.0125) (0.0146) (0.1117)

Donde:

$\hat{y}$  = Producción estimada de hongos (g) en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_1$  = Diámetro normal (cm) promedio en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_2$  = Diámetro normal (cm) promedio al cuadrado en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

$X_3$  = Diámetro de la copa (m) promedio en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>

\* = Valores de  $p$  correspondientes a la prueba de  $t$  para cada parámetro estimado.

Respecto a los parámetros meteorológicos sólo se obtuvieron ecuaciones predictivas robustas para dos predios, a saber: El Nacimiento y Piedra Canteada.

El Nacimiento, mpio. Tlaxco:

$$\hat{y} = 224.72 - 10.60 X_1 \quad (4)$$

\* (0.0046) (0.0106)

Donde:

$\hat{y}$  = Producción estimada de hongos (g) en la parcela de 1,089 m<sup>2</sup>, para los meses de junio a noviembre

$X_1$  = Temperatura promedio de valores diarios por mes de junio a noviembre

\* = Valores de  $p$  correspondientes a la prueba de  $t$  de cada parámetro estimado.

La  $R^2$  fue de 0.84. El valor de  $p$  de la prueba de  $F$  de 0.0106, por lo que la temperatura contribuye fuertemente en la predicción de la producción de los hongos. Así, por cada grado centígrado que se incremente la temperatura media, la producción de hongos disminuye en 10.6 g.

Piedra Canteada, mpio. Nanacamilpa de Mariano Arista:

$$\hat{y} = -465.32 + 40.83 X_1 - 0.41 X_2$$

$$* (0.0492) (0.0261) (0.0879) \quad (5)$$

Donde:

$\hat{y}$  = Producción estimada de hongos (g) en la parcela

$X_1$  = Temperatura promedio de valores diarios por mes de junio a noviembre

$X_2$  = Precipitación acumulada por mes (junio a noviembre)

\* = Valores de  $p$  correspondientes a la prueba de  $t$  de cada parámetro estimado.

El valor de  $R^2$  fue de 0.89 y el valor de  $p$  de la prueba de  $F$  de 0.0341, por lo que las variables consideradas contribuyen en forma significativa en la predicción de la producción de los hongos. Para  $X_1$  el valor de  $p$  correspondiente a la prueba de  $t$  fue menor a 0.05; en tanto que para  $X_2$  fue alrededor de 0.09. En este caso el incremento de un grado centígrado en la temperatura implica que la producción de hongos aumente en 40.83 gramos, pero disminuye en 0.41 g al incrementarse la precipitación en un mm.

## DISCUSIÓN

Las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 estiman la producción total de macromicetos comestibles en las localidades estudiadas con  $R^2$  que varían de 76 a 99%, valores aceptables si se parte del hecho de que el número de datos utilizados para generarlas fue reducido, 10 por localidad; lo anterior confirma la relevancia de las variables consideradas, tanto del arbolado como las de tipo meteorológico, sobre la producción de hongos silvestres comestibles en las tres localidades estudiadas del estado de Tlaxcala. En cada una de ellas la respuesta varió como resultado de las características del arbolado y las condiciones topográficas prevalecientes en los predios estudiados (Cuadro 1).

Las expresiones predictivas generadas confirman la existencia de una relación entre los componentes silvícolas de los ecosistemas y la producción de macromicetos, en particular los correspondientes al número total de árboles presentes por parcela, diámetro normal, diámetro de copa y cobertura arbórea; éste último parámetro también es registrado con valor predictivo por Arteaga y Moreno (2006) quienes obtuvieron una relación positiva entre el porcentaje de cobertura arbórea y la producción e esporomas comestibles en dos rodales de *Pinus* spp. y de *Abies religiosa*, con  $R^2$  de 0.91 y 0.70, respectivamente. En el caso de los sitios de muestreo los valores de  $R^2$  son del orden de 0.90 y 0.76 para los bosques de *A. religiosa* y de 0.99 para el de *Pinus* spp.

Estos mismos autores generaron sus modelos con datos de una temporada de lluvias, lo cual incide en la confiabilidad de sus resultados, ya que se ha documentado ampliamente que tanto la producción, como la riqueza de especies fúngicas ectomicorrizógenas varía no sólo en la escala espacio, sino de manera importante, en

el tiempo (Smith *et al.*, 2002; Luoma *et al.*, 2004). En este sentido los modelos que se presentan en este estudio son una mejor aproximación, pues integran información del monitoreo de tres temporadas de emergencia de cuerpos fructíferos.

Bonet *et al.* (2008) en su modelo para predecir la producción de hongos silvestres comestibles en bosques de *Pinus sylvestris* L. monitoreados durante tres años (otoño), establecieron que de las variables propias del rodal la del área basal constituye su mejor estimador. Ésta última es una característica muy relacionada con la cobertura del arbolado, misma que resultó con mayor valor predictivo tanto en el estudio aquí documentado, como en el de Arteaga y Moreno (2006).

La cobertura arbórea responde a las condiciones del hábitat relativas a la disponibilidad del agua, la salud del arbolado y la calidad del suelo, entre otras. Así, el dosel abierto favorece una mayor penetración de luz y viento al sotobosque. En consecuencia, aumenta la evapotranspiración a este nivel y la temperatura de las capas superficiales del sustrato, con la automática reducción de la humedad; todo esto, en conjunto, impacta de manera significativa la producción fúngica.

Al respecto hay registros que relacionan a diversos factores edáficos con el desarrollo de los macromicetos; así Jonathan y Fasidi (2003) mencionan que la temperatura y el pH del suelo ejercen gran influencia en el crecimiento de *Psathyrella atrorubronata* Pegler. En este mismo contexto, resultados preliminares destacan a la temperatura del sustrato como factor determinante para la producción de hongos silvestres comestibles en bosques de latifoliadas de Irlanda (Harrington y Cullen, 2008).

En el caso contrario, un dosel cerrado, además de mantener la humedad y temperatura edáficas adecuadas para la fructificación de los hongos, los fitobiontes conservan una alta actividad fotosintética (Bonet *et al.*, 2008; Nara *et al.*, 2003) y con ello garantizan el suministro de carbohidratos y otros metabolitos necesarios para la formación de los esporomas (Pilz y Molina, 2001), de esta manera, los micobiontes cubren sus necesidades de carbono, en particular los ectomicorrizógenos (Nehls *et al.*, 2007; Nehls, 2008). Cabe señalar que 69% de las especies identificadas en los predios bajo estudio corresponden a taxa de ese tipo.

La composición y estructura de la vegetación en los rodales son elementos que limitan o promueven la emergencia, abundancia y la distribución espacial de los esporomas, especialmente de los hongos ectomicorrizógenos (Jumpponen y Egerton-Warburton, 2005). Pilz y Molina (1996 citados por Peterson *et al.*, 2000) concluyeron que la edad del arbolado, la composición y la estructura de la comunidad tienen una gran influencia sobre la producción del recurso.

El efecto de la temperatura y de la precipitación pluvial sobre la emergencia de los carpóforos en los bosques emplados es bastante predecible, ya que por su gran demanda de agua, estas fructificaciones se manifiestan en plenitud durante la temporada de lluvias, en particular de julio a septiembre, periodo en el cual se concentra la mayor cantidad de precipitación en

México y fue coincide con el verano, principios del otoño. Esta situación también ha sido registrada en los bosques de *Pseudotsuga menziesii* (Mir.) Franco, una localidad de Oregon, EUA, donde los máximos de producción fúngica se citan en el otoño (Smith *et al.*, 2002). El análisis estadístico de ambos elementos es complicado por la dificultad que supone la integración de todos los componentes bióticos y abióticos que inciden, positiva o negativamente, en dicho evento.

Así, sólo en las localidades de Nanacamilpa y Tlaxco se lograron modelos sólidos para las variables meteorológicas, en ambos casos se trata de bosques con dominancia de *Abies religiosa*; y permiten hacer estimaciones de la producción fúngica del orden de 91 y 82%, respectivamente.

Estos son valores bastante aceptables si se considera que fueron calculados a partir de tres años de monitoreo, a diferencia de lo citado por Arteaga y Moreno (2006), quienes obtuvieron un modelo con una  $R^2 = 70\%$ , con registros de una sola temporada. Cabe señalar que la frecuencia y el número de especies fúngicas que fructifican en cada periodo lluvioso es variable, de ahí la importancia de contar con información de campo generada mediante periodos de monitoreo de al menos tres o cinco años (Pilz *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 2002).

En el presente estudio la temperatura tuvo un valor predictivo relevante en las dos localidades con bosque de oyamel, El Nacimiento y Piedra Canteada, en la última también la precipitación incide de manera negativa en la producción de los esporomas. Las variaciones interanuales en la fructificación de los hongos silvestres comestibles ectomicorrizógenos obedecen a los regímenes de precipitación y temperatura propios de los ecosistemas donde se desarrollan. Las fluctuaciones meteorológicas lo largo del año modifican los periodos de emergencia, maduración y supervivencia de los carpóforos, durante cada temporada de lluvias (Zamora-Martínez y Nieto de Pascual, 1995; Méndez, 2002; Arteaga y Moreno, 2006).

Dahlberg (1991) determinó que los factores climáticos explican entre 60 y 80% de la producción de esporomas ectomicorrízicos. Sobre el particular Martínez de Aragón *et al.* (2007), en una investigación realizada en bosques de *Pinus sylvestris* de España, concluyeron que la temporalidad de la precipitación y de manera relevante la temperatura y el contenido de humedad del suelo, durante el mes con producción fúngica más alta, son las variables de mayor impacto en la misma.

Para el caso de las dos localidades de Tlaxcala, cuyos resultados se consignan aquí, sobresale el poder predictivo de la temperatura media mensual sobre la producción de fructificaciones (Piedra Canteada), mientras que en El Nacimiento este es de tipo negativo. Los resultados se explican a partir de los registros de la temperatura media mensual, mismos que son superiores en El Nacimiento (Figura 6), lo cual responde a la menor densidad arbórea (Cuadro 3). Así, al disminuir la temperatura, la evapotranspiración también se reduce y en consecuencia la disponibilidad de agua en el suelo se conserva mayor tiempo, lo que a su vez favorece la emergencia de los esporomas (Villanueva-Jiménez *et al.*, 2006).

En Piedra Canteada, la situación es diferente en respuesta a las condiciones dasonómicas propias de las parcelas de monitoreo, específicamente, a la densidad de la masa arbórea ( $639 \text{ árboles ha}^{-1}$ ), que es superior a la existente en El Nacimiento ( $479 \text{ árboles ha}^{-1}$ ), condición que propicia ambientes menos cálidos (Figura 3); por lo tanto el incremento o decremento de la temperatura tiene un efecto en igual sentido sobre la producción de hongos.

Aún cuando en términos generales los modelos del presente trabajo coinciden con las observaciones de otras investigaciones, es conveniente evaluar con mayor detalle las condiciones ecológicas que estimulan la aparición de hongos en diferentes comunidades forestales, puesto que para describir la distribución de los organismos y comprender su papel en el funcionamiento de los ecosistemas, es fundamental entender y considerar las escalas espaciales y temporales (Morris y Robertson, 2005).

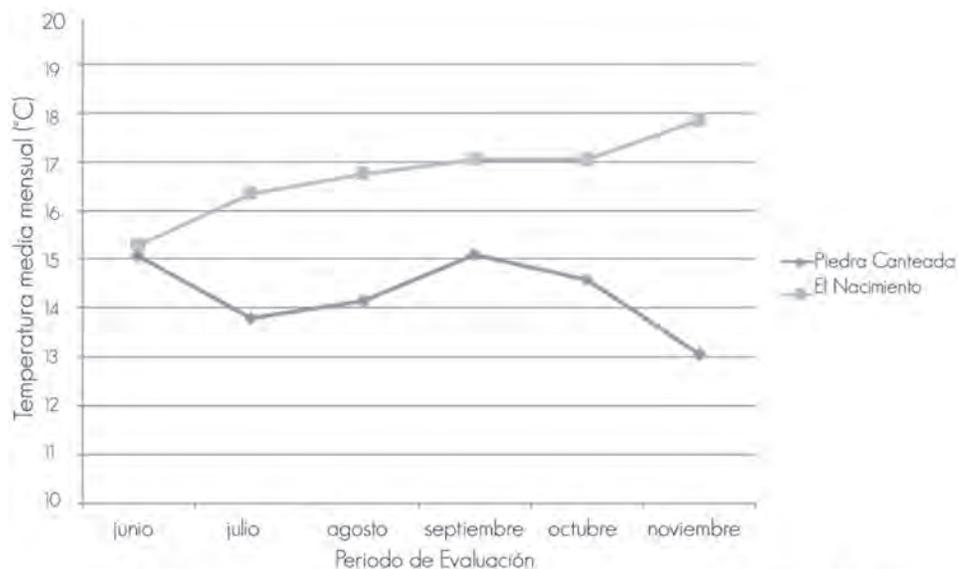


Figura 6. Temperatura media mensual en Piedra Canteada y El Nacimiento, Tlaxcala.

Las ecuaciones obtenidas en el presente estudio, al integrar información de tres periodos de lluvias, representan un referente de la escala temporal de la producción de esporomas para rodales con características topográficas y vegetales semejantes a las áreas de trabajo.

Las diferencias observadas en las variables dasométricas que fueron determinantes de la producción fúngica en cada predio, reflejan la composición diversa de la masa forestal existente en los rodales, hecho que también se puede constatar en la riqueza de especies identificadas (Cuadro 2).

Los modelos pretenden explicar el comportamiento de la producción de hongos silvestres comestibles en el lapso considerado, aunque las variables explicativas son significativas (en algunos casos altamente significativas), es conveniente incrementar el número de parcelas de muestreo y llevar a cabo investigaciones que generen información, a nivel local y regional, sobre los factores ambientales y biológicos que influyen en la distribución y abundancia de los macromicetos, todo ello con la intención de generar modelos predictivos más robustos que coadyuven en la toma de decisiones que garanticen el manejo sustentable de este recurso forestal no maderable.

Pese al tamaño reducido de la muestra, los resultados obtenidos permiten aseverar que las localidades estudiadas son importantes tanto para la producción de hongos silvestres comestibles, como para la producción maderable en municipios como Tlaxco y Nanacamilpa, siendo además de un reservorio de la diversidad de especies fúngicas, y por ende de la biodiversidad global de este tipo de ecosistemas, lo que las convierte en zonas fundamentales para la conservación de los recursos naturales del estado de Tlaxcala.

## CONCLUSIONES

El modelo de regresión que mejor explica la relación existente entre el arbolado y la producción de hongos silvestres comestibles (99%) fue el obtenido para la localidad de Terrenate (Rancho Viejo).

El modelo de regresión que mejor explica la relación existente entre el clima y la producción de hongos silvestres comestibles (91%) correspondió al generado para la localidad de Nanacamilpa (Piedra Canteada).

Dado que los modelos generados cuentan con un tamaño de muestra reducido (menor o igual a 10 observaciones), los supuestos del modelo pueden no cumplirse en su totalidad, por lo que su aplicación debe manejarse con precaución. Por otra parte, es deseable su verificación en campo. Además, su aplicación está restringida de forma temporal y espacial a ecosistemas semejantes a los descritos en este trabajo. 

## REFERENCIAS

- Artega M, B. y C. Moreno Z. 2006. Los hongos comestibles silvestres de Santa Catarina del Monte, Estado de México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12 (2): 125-131.
- Bonet, J. A., T. Pukkala, Ch. R. Fischer, M. Palahí, J. Martínez de Aragón and C. Colinas. 2008. Empirical models for predicting the production of wild mushrooms in Scotpine (*Pinus sylvestris* L.) forests in the Central Pyrenees. *Ann. For.Sci.* 65: 206-215.
- Der, G. and B. S. Everitt. 2002. *A Handbook of Statistical Analysis using SAS*. 2nd Edition. Chapman & Hall/Crc. London, UK. 351 p.
- Dahlberg, A., 1991. Dynamics of ectomycorrhizal fungi in a swedish coniferous forest: a five year survey of epigeous sporocarps. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Mycology and Pathology: Uppsala, Switzerland. 23 p.
- Espejel R, A. y G. Carras R. 2004. El deterioro ambiental en Tlaxcala y las políticas de desarrollo estatal 1988-1999. [www.inegob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/277/espejel.html](http://www.inegob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/277/espejel.html). (abril, 2009).
- Estrada-Martínez, E. 2002. Etimología en torno a los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl. In: Guzmán, G. y G. Mata (Eds.). 2002. Estudio sobre los hongos latinoamericanos. Nanacatepec, Xalapa, Ver. México. pp. 541.
- Estrada-Torres, A. y Ma. G. Santiago-Martínez (Eds.). 2003. Avances en el estudio de la ectomicorriza en el estado de Tlaxcala, México. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Ixtacuixtla, Tlax. México. 76 p.
- Estrada-Torres, A., G. Galindo, L. Hernández-Cuevas y M. Rodríguez-Palma. 1991. Análisis biogeográfico de los mixomicetos de un bosque de Abies-Pinus en el Volcán La Malinche, Tlax. In: Memorias del IV Congreso Nacional de Micología. Tlaxcala, Tlax. México. pp. 64.
- Harrington, T. and M. Cullen. 2008. Assessment of wild edible fungal production in Irish woodlands. *CoFor Connects. Silviculture/Management No.* 16. 4 p.
- Jonathan, S. G. and I. O. Fasidi. 2003. Studies in *Psathyrella atroumbonata* Pegler, a Nigerian edible fungus. *Food Chemistry*, Vol. 81(4): 481-484.
- Jumpponen, A. and L. M. Egerton-Warburton. 2005. Mycorrhizal fungi in successional environments: a community assembly, model incorporating host plant, environmental and biotic filters. In: Dighton, J., J. F. White and P. Oudemans (Eds.). *The fungal community. Its organization and role The ecosystems*. CRC Press. Boca Raton, FL USA. pp. 139-167.
- Luoma, D. L., J. L. Eberharta, R. Molina and M. P. Amaranthus. 2004. Response of ectomycorrhizal fungus sporocarp production to varying levels and patterns of green-tree retention. *Forest Ecology and Management*. 202: 337-354
- Martínez de Aragón, J., J. A. Bonet, C. R. Fisher and C. Colinas. 2007. Productivity of ectomycorrhizal and selected edible saprotrophic fungi in pine forest of the pre-Pyrenees mountains, Spain: predictive equations for forest management of mycological resources. *Forest Ecology and Management* 252: 239-256.
- Méndez C., C. N. 2002. Influencia de la humedad edáfica en la producción de *Tricholoma magnivelare* (Peck) Redhead (Fungi) en Ixtlán, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico y Agropecuario No. 23 de Oaxaca. Xoxocotlán, Oax. México. 70 p.
- Montgomery, D. C., E. A. Peck y G. G. Vining. 2004. *Introducción al análisis de regresión lineal*. Compañía Editorial Continental, S. A. México, D. F. México. 588 p.
- Montoya E., A. 2005. Aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles en el Volcán La Malinche, Tlaxcala. Tesis de Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 154 p.
- Montoya, A., A. Kong, A. Estrada-Torres, J. Cifuentes and J. Caballero. 2004. Useful wild fungi of La Malinche National Park, Mexico. *Fungal Diversity* 17: 115-143.
- Montoya, A., C. Méndez-Espinoza, R. Flores-Rivera, A. Kong y A. Estrada-Torres. 2007. Hongos tóxicos de Tlaxcala. Libro Técnico No. 2. INIFAP-CENID COMEF/ UAT/CONACYT/CONAFOR. México, D. F. México. 85 p.
- Morris, Sh. J. and G. Ph. Robertson. 2005. Linking function between scales and resolution. In: Dighton, J., J. F. White and P. Oudemans (Eds.). *The fungal community. Its organization and role. The ecosystems*. CRC Press. Boca Raton, FL USA. pp. 13-26.

- Nara, K., H. Nakaya and T. Hogetsu. 2003. Ectomycorrhizal sporocarp succession and production during early primary succession on Mount Fuji. *New Phytol.* 158: 193-206.
- Nehls, U. 2008. Mastering ectomycorrhizal symbiosis: the impact of carbohydrates. *Journal of Experimental Botany*, 59(5):1097-1108.
- Nehls, U., N. Grunze, M. Willmann, M. Reich and H. Kuste. 2007. Sugar for my honey: carbohydrate partitioning in ectomycorrhizal symbiosis. *Phytochemistry* 68: 82-91.
- Peña P., A. y J. A. Hernández R. 2004. Emulación del crecimiento de hongos comestibles y medicinales utilizando un algoritmo evolutivo con un operador genético de tipo cilíndrico. *Revista Colombiana de Computación*. Vol. 5 (2). Diciembre. 15 p.
- Peterson, M. J., R. Outerbridge and J. Dennis. 2000. Chanterelle productivity on burned and unburned regeneration sites in the vicinity of Skidegate Lake on Moresby Island. Final report to the South Moresby Forest Replacement Account. British Columbia, Canada. 37 p.
- Phillips, R. 1991. *Mushrooms of North America* Little, Brown and Company. Hong Kong. UK. 233 p.
- Pitz, D., J. Smith, M. P. Amaranthus, S. Alexander, R. Molina and D. Luoma, 1999. Managing the commercial harvest of the American matsutake and timber in the southern Oregon Cascade Range. *J. For.* 97 (2), 8-15.
- Pitz, D. and R. Molina. 2001. Commercial harvests of edible mushrooms from the forests of the Pacific Northwest United States: issues, management, and monitoring for sustainability. *Forest Ecology and Management*. 5593: 1-14.
- Pitz, D., L. Norvell, E. Danell and R. Molina. 2003. Ecology and management of commercially harvested Chanterelle mushrooms. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, General Technical Report PNW-GTR-576. March. 90 p.
- Ruán, F., R. Garibay-Orijel y J. Cifuentes. 2002. Aproximación al conocimiento micológico tradicional en tres regiones del sureste mexicano a través de un estudio en mercados. In: Guzmán, G. y G. Mata (Ed.). 2002. Estudio sobre los hongos latinoamericanos. Nanacatepec, Xalapa, Ver. México. 549 p.
- Sánchez-González, A., L. López-Mata y D. Granados-Sánchez. 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Bol. Instituto de Geografía*. No. 56: 62-76.
- Sierra, G. S. y J. Cifuentes B. 1994. Nuevos registros de hongos tremeloides del estado de Tlaxcala. In: *Memorias del V Congreso Nacional de Micología*. Guanajuato, Gto. México. 27-30 de noviembre. p. 31.
- Singer R. 1962. *Agaricales in Modern Taxonomy*. 2nd. Ed. J. Cramer. Germany. 915 p.
- Smith, J. E., R. Molina, M. M. P. Huso, D. L. Luoma, D. McKay, M. A. Castellano, T. Lebel, and Y. Valachovic. 2002. Species richness, abundance, and composition of hypogeous and epigeous ectomycorrhizal fungal sporocarps in young, rotation-age, and old-growth stands of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Cascade Range of Oregon, USA. *Can. J. Bot.* 80, 186-204.
- Snell, H. W. and E. A. Dick. 1970. *The Boleti of Northeastern North America*. Verlag Von. Cramer, Lehrer; Germany. 115 p. + anexos.
- Valenzuela, R., T. Raymundo y M. R. Palacios 2004. Macromicetos que crecen sobre *Abies religiosa* en el Eje Neovolcánico Transversal. *Polibotánica*. No. 18: 33-52.
- Villanueva-Jiménez, E., M. Villegas-Ríos, J. Cifuentes-Blanco y H. León-Avedaño. 2006. Diversidad del género *Amanita* en dos áreas con diferente condición silvícola en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 17-22.
- Villarreal, L. 1994. Análisis ecológico-silvícola de la productividad natural de hongos comestibles silvestres en los bosques del Cofre de Perote, Ver. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de Méx. México. 158 p.
- Villarreal, L. y G. Guzmán. 1985. Producción de los hongos silvestres comestibles en los bosques de México (Parte 1). *Rev. Mex. Mic.* 1:51-90.
- Vite G., T. 2005. Revisión taxonómica de los ejemplares del género *Helvella* (Ascomycota: Pezizales) depositados en la Sección de Micología del Herbario FCME-UNAM. Tesis de Licenciatura. Fac. Cienc. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 76 p.
- Zamora-Martínez, M. C. 1999. Hongos comestibles de México. In: *Ciclo de Conferencias. "La investigación y educación forestal en México"* Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Subsecretaría de Recursos Naturales, Dirección General Forestal. 6 de abril al 29 de junio de 1999. México, D. F. México. pp. 87-104.
- Zamora-Martínez, M. C. 2008. Los hongos silvestres comestibles. In: *Guerra de la C., V. y C. Mallén R. (Comp). Tlaxcala sus recursos forestales: conservación, aprovechamiento y bases para su manejo*. INIFAP/CENID-COMEF/CONACYT. México, D. F. México. Libro Técnico Núm. 4, pp. 151-168.
- Zamora-Martínez, M. C. and C. Nieto de Pascual-Pola. 1995. Natural production of wild edible mushrooms in the southwestern rural territory of Mexico City, Mexico. *Forest Ecology and Management* 72:13-20.
- Zamora-Martínez, M. C., Alvarado López, G. y Domínguez-G, J. M. 2000. Hongos silvestres comestibles de Tlaxcala. Parte I. INIFAP. Campo Experimental Tlaxcala. Folleto Técnico No. 21. Tlaxcala, Tlax. México. 18 p.
- Zamora-Martínez, M. C., A. Montoya, C. Nieto de Pascual-Pola, A. Kong, A. Kong, A. González H. y J. I. Martínez Valdez. 2007. Hongos silvestres comestibles de Tlaxcala II. INIFAP/ CENID-COMEF/ Universidad Autónoma de Tlaxcala. México, D. F. México. Libro Técnico No. 3. 59 p.