



ARTÍCULO / ARTICLE

## DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y ECOLÓGICA DE 13 ESPECIES DE HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES EN OAXACA

### GEOGRAPHIC AND ECOLOGICAL DISTRIBUTION OF 13 SPECIES OF WILD EDIBLE MUSHROOMS IN OAXACA

Marisela Cristina Zamora-Martínez<sup>1</sup>, Antonio González Hernández<sup>1</sup>,  
Fabián Islas Gutiérrez<sup>1</sup>, Eunice Nayeli Cortés Barrera<sup>2</sup> y Luz Iris López Valdez<sup>3</sup>

#### RESUMEN

Oaxaca es uno de los estados más ricos de México, tanto por su diversidad cultural como biológica, por lo que es importante el estudio e inventario de su biota. Sus habitantes poseen una vasta tradición en la recolección y consumo de hongos silvestres; sin embargo, para incluirlos en los programas de manejo integral de los bosques es necesario conocer sus requerimientos ecológicos y sus características biológicas, así como sus áreas de distribución, lo que implica el mapeo y monitoreo de sus poblaciones silvestres. En este contexto, se planteó sistematizar el conocimiento sobre el hábitat y distribución geográfica de 13 especies de macromicetos comestibles de importancia biológica y socioeconómica asociados a los bosques templados de Oaxaca, mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG), con el fin de generar un mapa de la distribución espacial conocida para dichos taxa, elaborado a partir de información bibliográfica y de herbarios. Las especies recolectadas en una mayor diversidad de ambientes fueron *Cantharellus cibarius* y *Lycoperdon perlatum*. A pesar del sesgo generado por la distribución espacial de las recolectas consideradas, ya que estas se concentran en regiones específicas, los SIG son una herramienta útil para determinar la distribución actual de los recursos fúngicos.

**Palabras clave:** Bosques templados, hongos ectomicorrizógenos, hongos saprófitos, macromicetos silvestres comestibles, recursos fúngicos, SIG.

#### ABSTRACT

Oaxaca is one of the richest states in Mexico, both culturally and for its biodiversity, so it is important to study and make an inventory of its biota. Its people have a rich tradition in the collection and/or consumption of various wild mushrooms, but in order to include them in forest management plans, it is necessary to know their ecological requirements and their biological characteristics as well as its distribution areas, which implies mapping and monitoring their wild populations. Therefore, it was planned to systematize the knowledge about their habitat, phenology and distribution of 13 species of edible macrofungi of biological and socio-economic importance associated to the temperate forests of Oaxaca, by using GIS to generate a map of known spatial distribution of these species, starting from the information in literature and that that belong to several herbaria. The taxa collected in a wider range of environments were *Cantharellus cibarius* and *Lycoperdon perlatum*. Despite the bias generated by the spatial distribution of the analyzed collections, since they are gathered at specific regions, SIGs are a useful tool to determine the present distribution of fungal resources.

**Key words:** Temperate forests, ectomycorrhizal fungi, saprophyte mushrooms, macrofungi, fungal resources, GIS.

Fecha de recepción/date of receipt: 11 de abril de 2012; Fecha de aceptación/date of acceptance: 27 de marzo de 2013.

<sup>1</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. Correo-e: zamora.marisela@inifap.gob.mx

<sup>2</sup> Prestadora de servicios profesionales del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP.

<sup>3</sup> Ex Becaria del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP.

## INTRODUCCIÓN

Oaxaca es uno de los estados de México más ricos en diversidad cultural y biológica. Sus habitantes poseen una vasta experiencia en el uso y manejo del medio ambiente, entre cuyas prácticas figura la recolección de diversos hongos silvestres que forman parte del patrón alimentario de los oaxaqueños, y su venta representa un ingreso económico adicional para las familias rurales y urbanas marginadas, durante la temporada de lluvias (García-Mendoza *et al.*, 2004).

En México se ha propuesto el aprovechamiento de los esporomas comestibles como una alternativa para el desarrollo regional y la integración de las comunidades rurales a los mercados regionales, nacionales e internacionales (Garibay-Orijel, 2006); por ello es importante tener presente que su recolección con fines comerciales y sin riesgos para la conservación del recurso fúngico, solo es posible en la medida que se le incluya como parte de los programas de manejo de los bosques (Villarreal y Pérez-Moreno, 1989). Esta meta será alcanzable si su extracción parte de la base del conocimiento de las características ecológicas y biológicas de las diversas especies de hongos a nivel regional, ya que la definición de una estrategia de aprovechamiento que no ponga en riesgo su viabilidad debe considerar la disponibilidad de cada taxon en sitios específicos; puesto que es imprescindible que se consideren sus requerimientos ambientales. Así, el desarrollo de planes de manejo sustentables requiere del mapeo y monitoreo de las diferentes poblaciones silvestres de hongos (Salas y Cinta, 1998; Garibay-Orijel, 2006).

La bibliografía referente a las características del hábitat y distribución geográfica de los hongos silvestres comestibles en el país es dispersa. Figuran materiales constituidos por listados de la fungora, aspectos taxonómicos y ecológicos mediante la descripción de su hábitat, hábito, en ocasiones fenología reproductiva y comestibilidad. El registro de su distribución espacial, generalmente solo consigna a la entidad federativa. Otras fuentes consideran grupos taxonómicos particulares e incluyen la caracterización de los factores relacionados con la distribución geográfica de un taxón a nivel nacional (Zamora-Martínez *et al.*, 1999).

Por otra parte, en el área de las ciencias biológicas los sistemas de información geográfica (SIG) son cada vez más utilizados para el estudio de la diversidad, pues ante las actuales tasas de cambio uso de suelo ha surgido la necesidad urgente de conocer su estatus y tendencias (Sánchez-Cordero y Townsend, 2001). La capacidad de desplegar e integrar numerosas referencias obtenidas de la interpretación de imágenes que han sido capturadas en sistemas de percepción remota, o de observaciones hechas en campo asociadas a la distribución de las especies ha posibilitado llevar a cabo proyectos de análisis multitemáticos que permiten conocer la

## INTRODUCTION

Oaxaca is one of Mexico's richest states in cultural and biological diversity. Its inhabitants have extensive experience in the use and management of the environment, whose practices include the collection of various wild mushrooms that are part of the Oaxacan food pattern, and its sale represents an additional income for rural and marginalized urban families during the rainy season (García-Mendoza *et al.*, 2004).

Mexico has proposed the use of food as an alternative sporomes for regional development and integration of rural communities to regional, national and international markets (Garibay - Orijel, 2006), so it is important to note that these crops with commercial purposes and without risk to preserve the fungal resource is only possible to the extent that it be included as part of the programs of forest management (Villarreal and Pérez -Moreno, 1989). This goal will be achieved if the extraction starts from the basis of knowledge of the ecological and biological characteristics of the various species of fungi at the regional level, since the definition of a strategy of use that does not threaten its viability must consider the availability of each taxon at specific sites, since it is essential to consider their environmental requirements. Thus, the development of sustainable management plans requires the mapping and monitoring of different wild populations of fungi (Salas and Cinta, 1998, Garibay - Orijel, 2006)

Literature on habitat characteristics and geographical distribution of wild edible fungi in the country is dispersed. There are several materials such as fungora lists, taxonomic and ecological aspects describing their habitat, habit, sometimes reproductive phenology and edibility. The record of their spatial distribution usually only consigns the state. Other sources consider particular taxonomic groups and include the characterization of the factors related to the geographic distribution of a taxon at national level (Zamora-Martínez *et al.*, 1999).

Moreover, in the area of life sciences, geographic information systems (GIS) are increasingly used for the study of diversity, as to the current rates of land use change has arisen an urgent need to know their status and trends (Sánchez-Cordero and Townsend, 2001). The ability to deploy and integrate numerous references obtained from the interpretation of images that have been captured in remote sensing systems, or field observations associated with the distribution of the species, has made it possible to carry out multi-thematic analysis projects that provide insight into the distribution area occupied by a species (Agree *et al.*, 1989; Davis *et al.*, 1990; White *et al.*, 1995; Cruz *et al.*, 1997; Sánchez-Cordero and Townsend, 2001; Welch *et al.*, 1992 ), and various plant associations and structure (Davis *et al.*, 1990; Berry and Ripple, 1994; White *et al.*, 1995; Skidmore *et al.*, 1997).

distribución y área que ocupa una especie (Agree *et al.*, 1989; Davis *et al.*, 1990; White *et al.*, 1995; Cruz *et al.*, 1997; Sánchez-Cordero y Townsend, 2001; Welch *et al.*, 1992); y las diferentes asociaciones vegetales y su estructura (Davis *et al.*, 1990; Berry y Ripple, 1994; White *et al.*, 1995; Skidmore *et al.*, 1997).

En México existen pocas publicaciones que señalan la ocurrencia regional o local de los taxa fúngicos. Zamora-Martínez *et al.* (1999) elaboraron mapas de la distribución conocida para 48 especies de hongos silvestres comestibles de la región central del país, mediante un SIG. Los autores integraron formatos tabulares, gráficos y datos de los factores ecológicos relacionados con su distribución, los que a su vez se utilizaron para modelar de manera predictiva las áreas de distribución de los taxa. Esta investigación constituyó una de las primeras aproximaciones sobre el uso de los SIG como una herramienta en la definición de áreas potenciales a nivel estatal de especies fúngicas en México (Reygadas *et al.*, 2000). En la misma línea, Moreno-Sánchez *et al.* (1997), realizaron un mapa de distribución potencial para *Tricholoma magnivelare* (Peck) Readhead, en el estado de Hidalgo, una de las especies de mayor importancia socioeconómica en el país.

En este contexto, en el presente estudio se caracteriza el hábitat, y a partir de esa información se generan los mapas de distribución geográfica y ecológica de 13 especies de hongos silvestres comestibles en los bosques templados de Oaxaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estado de Oaxaca tiene una extensión de 95 364 km<sup>2</sup>, que representa 4.8 % de la superficie del país y por su extensión ocupa el quinto lugar entre los 31 estados mexicanos. Se localiza en la región sureste del Pacífico Mexicano; limita al norte con Puebla y Veracruz, al este con Chiapas y al oeste con Guerrero, y sus coordenadas geográficas extremas son 18°39' al norte, 15°39' al sur, 93°52' oeste y 98°32' al este (INEGI, 2006a).

Con base en sus recursos naturales, se divide en ocho regiones: Istmo, Papaloapan (también denominada Región Golfo por su cercanía con el Golfo de México), Cañada, Sierra Norte, Valles Centrales, Sierra Sur, Mixteca y Costa. En la Constitución del estado se establece que su territorio comprende 30 distritos (divisiones administrativas, judiciales y rentísticas) y 570 municipios que corresponden a 25 % del total nacional (García-Mendoza *et al.*, 2004).

Las condiciones climáticas y los tipos de vegetación de la zona de interés se describen en el Cuadro 1.

In Mexico there are few publications that indicate regional or local occurrence of fungal taxa. Zamora-Martínez *et al.* (1999) produced maps of the known distribution of 48 species of edible wild mushrooms of the central part of the country through GIS. The authors integrated tabular formats, graphics and data of ecological factors related to their distribution, which in turn were used to model predictively, the distribution areas of the taxa. This research was one of the first approaches on the use of GIS as a tool to define potential areas statewide fungal species in Mexico (Reygadas *et al.*, 2000). In the same vein, Moreno-Sánchez *et al.* (1997) conducted a potential distribution map for *Tricholoma magnivelare* (Peck) Readhead, in the state of Hidalgo, one of the species of major socioeconomic importance in the country.

In this context, the present study characterized the habitat, and from that information generated maps, geography and ecology of 13 species of wild edible fungi in the temperate forests of Oaxaca.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The state of Oaxaca has an area of, which represents 4.8 % area of 95 364 km<sup>2</sup> the country and by its extension, it ranks fifth among the 31 states. It is located in the southeast of the Mexican Pacific region, bordered on the north by Puebla and Veracruz, Chiapas to the east and west by Guerrero, and its geographical coordinates are 18° 39' North, 15° 39' South, 93° 52' W and 98° 32' East (INEGI, 2006a).

Based on its natural resources, it is divided into eight regions: Istmo, Papaloapan (also called Gulf region because of its proximity to the Gulf of Mexico), Cañada, Sierra Norte, Valles Centrales, Sierra Sur, Mixteca and Costa. In the state Constitution it is declared that its territory includes 30 districts (administrative divisions, judicial and revenue sources) and 570 municipalities which correspond to 25 % of the total number at a national scope (García-Mendoza *et al.*, 2004).

The climate and vegetation types of this area are described in Table 1.

### Selection of fungal species

The species were selected based on the work of Zamora-Martínez *et al.* (1999), who defined the potential distribution of 48 species of edible mushrooms in greater demand in the market, among which 13 were chosen cited for the temperate forests of Oaxaca (Table 2).

Cuadro 1. Relación entre los tipos de vegetación que se distribuyen en las zonas templadas de Oaxaca y las condiciones climáticas.  
Table 1. Relationship between vegetation types distributed in the temperate zones of Oaxaca and the weather conditions.

Tipos de vegetación <sup>1</sup>	Tipo de clima <sup>2</sup>	Temperatura	Precipitación
		media anual (°C)	media anual (mm)
Bosque de <i>Abies</i>	Cb'(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	8 a 12	800 - 2 500
Bosque de <i>Pinus</i>	C(w <sub>2</sub> ), C(w <sub>1</sub> ), Aw <sub>2</sub> , (A)C(w <sub>2</sub> )	14 a 18	600 - 2 500
Bosque de <i>Pinus-Quercus</i>	C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> ), (A)C(w <sub>2</sub> )	16 a 20	800 - 2 500
Bosque Mesófilo de Montaña	(A)Cf, (A)C(m), C(m), (A)C(w <sub>2</sub> )	16 a 20	2 000-4 500
Bosque de <i>Quercus</i>	C(w <sub>0</sub> ), (A)C(w <sub>0</sub> ), C(w <sub>1</sub> ), (A)C(w <sub>1</sub> )	14 a 20	600 - 1 200
Bosque de <i>Juniperus</i>	BSkw, C(w <sub>0</sub> ), BS <sub>hw</sub> , C(w <sub>1</sub> )	16 a 18	400 - 1 000

Fuente: Modificado de Trejo (2004).

<sup>1</sup> De acuerdo con la nomenclatura utilizada en el Inventario Nacional Forestal 2000 (INEGI, 2000).

<sup>2</sup> De acuerdo a la simbología de Köppen, modificado por García (1988).

Source: Adjusted from Trejo (2004).

<sup>1</sup> According to the nomenclature used in the National Forest Inventory (Inventario Nacional Forestal) 2000 (INEGI, 2000);

<sup>2</sup> According to the symbolism of Köppen, modified by García (1988).

## Selección de especies fúngicas

Las especies fueron seleccionadas con base en el trabajo de Zamora-Martínez *et al.* (1999), quienes definieron la distribución potencial de 48 especies de hongos comestibles con mayor demanda en el mercado, entre las cuales se eligieron 13 citadas para los bosques templados de Oaxaca (Cuadro 2).

## Recopilación de información

Se acudió a las colecciones micológicas más completas del país: Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional; Instituto de Biología (MEXU), Facultad de Ciencias (FCME), Facultad de Estudios Superiores Unidad Iztacala (IZTA) y Facultad de Estudios Superiores Unidad Zaragoza (FEZA) de la Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto de Ecología, A. C. (XAL); Herbario Nacional Forestal (INIF) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; y Herbario Etnomicológico Teófilo Herrera (ITVO) del Instituto Tecnológico de Oaxaca. En ellas se revisaron los ejemplares de interés y se registró la información consignada en las etiquetas del herbario; además se consultó bibliografía



## Collection of information

The most complete collections with micological data of the country were visited: National School of Biological Sciences (ENCB) of the National Polytechnic Institute [Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN)], Institute of Biology (MEXU) [Instituto de Biología (MEXU)], Faculty of Sciences (FCME) [Facultad de Ciencias (FCME)], School of Advanced Studies Iztacala Unit (IZTA) [Facultad de Estudios Superiores Unidad Iztacala (IZTA)] and Faculty of Zaragoza Studies Unit (FEZA) [Facultad de Estudios Superiores Unidad Zaragoza (FEZA)] of the National Autonomous University of Mexico [Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)], Institute of Ecology, A. C. (XAL) [Instituto de Ecología, A. C. (XAL)] National Forestry Herbarium [Herbario Nacional Forestal (INIF)] of the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock [Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)], and Teófilo Herrera Ethnomycological Herbarium (ITVO) [Herbario Etnomicológico Teófilo Herrera (ITVO)] of the Technological Institute of Oaxaca [Instituto Tecnológico de Oaxaca].

In them were reviewed the focal samples and the reported information in the herbarium labels was registered; in addition, specialized literature was consulted, and in both cases, data about location, altitude, type of vegetation (habitat) type of

especializada, en ambos casos se recopilaron los datos referentes a localidad, altitud, tipo de vegetación (hábitat), tipo de clima (temperatura, precipitación), características edáficas y hábito (sustrato). Cabe señalar que solo se consideraron los ejemplares en los que se especificó su ubicación a nivel municipal, o bien la localización exacta del sitio de recolecta.

climate (temperature, precipitation) edaphic characteristics and habit (substrate). It is worth noticing that only were recorded those examples in which it was clear their location at a municipality level, or else the precise site of collection.

Cuadro 2. Especies de hongos silvestres comestibles seleccionadas por su importancia socioeconómica y biológica.  
Table 2. Edible wild mushroom species selected for their socio-economic and biological importance.

Especie	Estatus de conservación en la		Hábito <sup>#</sup>	
	NOM-059-SEMARNAT-2010		ECM	S
	A	Pr		
<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.			X	
<i>Amanita rubescens</i> Pers.			X	
<i>Amanita vaginata</i> (Bull.) Lam.			X	
<i>Boletus edulis</i> Bull.	X		X	
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.		X	X	
<i>Gomphus floccosus</i> (Schwein.) Singer			X	
<i>Helvella crispa</i> (Scop.) Fr.			X	
<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.				X
<i>Lycoperdon pyriforme</i> Schaeff.				X
<i>Russula risigallina</i> (Batsch) Sacc.			X	
<i>Suillus granulatus</i> (L.) Roussel			X	
<i>Tricholoma equestre</i> (L.) P. Kumm.			X	
<i>Tricholoma magnivelare</i> (Peck) Redhead		X	X	

# Tedersoo et al. (2009); A= amenazada, Pr= sujeta a protección especial; ECM= ectomicorrizógena; S= saprófita  
# Tedersoo et al. (2009); A= threatened, Pr =under special protection; ECM = ectomycorrhizal; S= saprophyte

### Georreferenciación de las localidades

Los sitios de recolecta referidos en la bibliografía y en las etiquetas de herbario, se ubicaron sobre mapas topográficos escala 1:50 000 del INEGI (1970); con apoyo de la cartografía correspondiente a la división municipal geoestadística escala 1:250 000 (INEGI, 2002), límite estatal geoestadístico escala 1:250 000 (INEGI, 2002) y el archivo de localidades de INEGI (2006a). Cuando la localidad se registró como el municipio, el punto se situó en la cabecera municipal y se asociaron los datos de vegetación, suelo y clima de los alrededores a la zona urbana (Reygadas et al., 2000). Una vez ubicado el lugar de recolecta en el mapa, se obtuvieron sus coordenadas geográficas mediante el uso de un juego de escuadras. Las recolectas descritas en coordenadas UTM (*Universal Transversal Mercator*) se transformaron a grados decimales con ayuda del programa de conversión *TRANINV* (INEGI, 2006b).

### Georeferencing locations

The collection sites reported in literature and the herbarium labels were located on topographic maps 1:50 000 from INEGI (1970), with corresponding mapping support to the municipal division at a 1:250 000 Geostatistical scale (INEGI, 2002), 1:250 000 geostatistical state limit (INEGI, 2002) and INEGI's locations files (2006a). When the town was recorded as the municipality, the point was at the municipal head and the data of vegetation, soil and climate of the surrounding urban area were associated (Reygadas et al., 2000). Once the place was located on the map, the geographic coordinates were obtained by using a set-square. The collections described in UTM (*Universal Transverse Mercator*) were converted to decimal degrees by using the conversion program *TRANINV* (INEGI, 2006b).

## Distribución geográfica conocida

La información referente a la distribución geográfica (nombre de las localidades y sus coordenadas geográficas) y el hábitat de los especímenes se capturó en una hoja de cálculo de *Excel*. Durante dicho proceso se respetó la información consignada en las etiquetas de herbario; aunque para el caso de algunos rubros se homogeneizó; por ejemplo, el tipo de vegetación se ajustó a la clasificación de Rzedowski (1978) y el nombre de la localidad se corrigió; de tal manera que la ortografía, las abreviaturas, las unidades de distancia y los nombres de los parajes coincidieran, cuando fueran los mismos.

La conversión a grados decimales de las coordenadas geográficas se hizo con la fórmula:  $\text{grados} + (\text{minutos}/60) + (\text{segundos}/3600)$ , para hacerlos compatibles con los mapas temáticos en el Sistema de Información Geográfica (SIG) *ArcView* 3.2 (ESRI, 1999). La versión resultante se exportó a un formato *DBase* (DBF 4), para generar una cobertura de los puntos georreferenciados en formato *Shapefile* de los sitios de recolecta.

Para el procesamiento de los datos espaciales se empleó la cartografía digital en formato *Shapefile* de *Arcview*, existente para Oaxaca: clima, escala 1: 250 000 (García-Conabio, 1998); edafología, escala 1: 250 000 (Conabio, 2004); uso de suelo y vegetación Serie II, escala 1: 250 000 (INEGI, 2001) y Serie III, escala 1: 250 000 (INEGI, 2005); Modelo de Elevación Digital (MED) (pixel 90x90) (INEGI, 2000); y se usaron los módulos y extensiones: *Spatial Análisis*, *Geoprocessing Wizard*, *Projector* y *Grids Tools* del programa *Arc View* 3.2.

Para el MED se eligieron solo las cartas sobre las que se sobrepusieron dichos puntos; estas se unieron mediante la extensión "*Grid Transformation Tools*" y el comando "*Merge*" de "*Transform Grid*", en *ArcView* 3.2; de tal forma que se obtuvo la altitud correspondiente para cada una de las localidades de recolecta. Dado que el MED original tenía una proyección UTM (*Universal Transversal Mercator*), una vez que se generó el MED simplificado fue necesario cambiarlo a coordenadas geográficas para hacerlo compatible con el resto de las coberturas utilizadas, lo que se logró con el SIG *ArcInfo* (ver 8.0); y la cobertura final se transformó a un archivo *Shape*. La distribución altitudinal de los taxa se expresó en intervalos de 500 msnm.

Los datos de precipitación y temperatura procedentes de las cartas de García-Conabio (1998) incluyen intervalos muy amplios, que dificultan el conocimiento puntual del hábitat de las especies; por lo tanto, se requirió la creación de nuevas coberturas. Para ello, se obtuvieron registros provenientes de las estaciones climatológicas ubicadas en el territorio estatal con más de 15 años de registro del programa NORM2 (Programa de cómputo para el manejo de normales climatológicas de México, con datos de 1950 al 1980), y se crearon coberturas

## Known geographical distribution

Information regarding the geographic distribution (locality names and geographical coordinates) and the habitat of the specimens were captured on an *Excel* spreadsheet. During that process is respected the information contained in herbarium labels, although in the case of some items it was homogenized, e.g. vegetation type was adjusted to Rzedowski classification (1978), and the name of the town was corrected; so that the spelling, abbreviations, units of distance and the names of the places coincide, when they were the same.

The conversion to decimal degrees of the geographic coordinates was done with the formula:  $\text{degrees} + (\text{minutes}/60) + (\text{seconds}/3600)$ , to be compatible with the thematic maps in Geographic Information System (GIS) *ArcView* 3.2 (ESRI, 1999). The resulting version was exported to a *DBase* format (DBF 4), to generate a coverage of the georeferenced points in shapefile format of the collection sites.

For spatial data processing was used digital mapping *ArcView* Shapefile format, Oaxaca existing climate, scale 1: 250 000 (García-Conabio, 1998) soils, scale 1: 250 000 (Conabio, 2004); land use and vegetation Series II, scale 1: 250 000 (INEGI, 2001) and Series III, scale 1: 250 000 (INEGI, 2005) Digital Elevation Model (DEM)(MED for its acronym in Spanish) (90x90 pixel) (INEGI, 2000); and used the modules and extensions: *Spatial Analysis*, *Geoprocessing Wizard* *Tools* *Grids* *Projector* and *Arc View* 3.2 program were used.

For MED there were only chosen the cards that are superimposed on these points, and these were joined by the "Grid Transformation Tools" extension and the "Merge" command of "Transform Grid" in *ArcView* 3.2, so that the altitude corresponding to each of the collection localities was obtained. Since the original MED had an UTM (Universal Transverse Mercator) projection, once the simplified MED was generated, it was necessary to change it to geographic coordinates to make it compatible with the rest of the hedges used, which was achieved with the *ArcInfo* GIS (8.0 version) and the final coverage was transformed to a *Shape* file. The altitudinal distribution of the taxa was expressed in 500 masl intervals.

The precipitation and temperature data from the Conabio-García (1998) charts include very large intervals, which hinder the exact knowledge of species habitat; therefore, it was necessary to create new coverages. To do this, records were obtained from weather stations located in the state territory with over 15 years of records of the NORM2 program (Program for handling computing climatological normals of Mexico, with data from 1950 to 1980), and coverages of mean annual temperatures (MAT) (TMA, for its acronym in Spanish) and of mean annual precipitation (MAP) (PMA, for its acronym in Spanish) were created for each database. This period was chosen because 46 % of

de temperatura media anual (TMA) y precipitación media anual (PMA) para cada base de datos. Se eligió ese periodo porque 46 % de los registros curatoriales y documentales se ubican entre las décadas de los años 50 y 90 del siglo XX.

Los datos de altitud, latitud y longitud, precipitación media anual (PMA) y temperatura media anual (TMA) se capturaron en hojas de cálculo de *Excel*. Este archivo se exportó en formato *DBase* (DBF 4) a *ArcView* 3.2 y se desplegó mediante el comando *Add event theme*, proceso que permitió la depuración de la información. Posteriormente, se llevó a cabo una interpolación por el método *IDW* (Inverso de la distancia al cuadrado) incluido en el módulo *Spatial Analysis* de *Arcview* y se pasó a formato de archivo *shape*. Los valores de precipitación media anual se reclasificaron en intervalos de 100 mm para la PMA y de 1°C para la TMA.

El hábitat de las 13 especies de hongos silvestres comestibles en los bosques templados de Oaxaca se definió conforme a intervalos de distribución para los rubros de altitud, temperatura media anual y precipitación media anual.

### Mapas de distribución geográfica conocida

Las capas temáticas, en una misma proyección geográfica, se integraron en el SIG *ArcView* 3.2 con la finalidad de generar una base de datos con información asociada a los ejemplares. Para ello se desplegaron los puntos de recolecta obtenidos de las colecciones sobre las cartas digitales temáticas (vegetación, edafología, clima, PMA, TMA y altitud) y se unieron las variables de cada tema con estos, mediante la extensión *Geoprocessing Wizard* y el comando *Assign data by location*.

Los mapas temáticos digitales, a nivel municipal, se generaron a partir de la intersección de los municipios con cada una de las capas temáticas, las herramientas utilizadas fueron la extensión *Geoprocessing Wizard* y el comando *Intersect*. Así se obtuvieron seis mapas de cada tema, delimitados de acuerdo a los municipios sobre los que se situaron los puntos de recolecta. La cartografía final se elaboró con base en los lineamientos de la Conabio (2004).

## RESULTADOS

Se trabajó con un total de 179 registros correspondientes a 68 sitios georreferenciados. Entre los taxa mejor representados estuvieron *Lycoperdon perlatum* Pers., *Boletus edulis* Bull., *Lycoperdon pyriforme* Schaeff., *Cantharellus cibarius* Fr., *Amanita caesarea* (Scop.) Pers., *Amanita vaginata* (Bull.) Lam. y *Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer. En la Región Sierra Norte se ubicaron 65 % de los sitios de recolecta; sin embargo, estos solo abarcan 20 % del total de los municipios (68) con bosques templados, por lo que su diversidad fúngica dista de estar completamente estudiada. Destacan Ixtlán de Juárez con 51 % de los registros y

the curatorial and documental records are among the decades of the 50's and 90's of the XX<sup>th</sup> century.

The data of altitude, latitude and longitude, mean annual precipitation (MAP) and mean annual temperature (MAT) were captured in *Excel* spreadsheets. This *dBase* (DBF 4) format file was exported to *ArcView* 3.2 and displayed by using the *Add event theme*, a process that allowed to filter information. Subsequently, an interpolation was conducted by the *IDW* method (Inverse of the squared distance) included in the *ArcView Spatial Analysis* module and was transformed to the *shapefile* format. The average annual rainfall values were reclassified into 100 mm intervals for the MAP and 1° C for MAT.

The habitat of 13 species of wild edible fungi in temperate forests of Oaxaca was defined according to the distribution ranges for the altitude, mean annual temperature and mean annual precipitation items.

### Known geographic distribution maps

The thematic layers in the same geographic projection were integrated into the GIS *ArcView* 3.2 in order to generate a database with information associated with the specimens. Thus, the collection points obtained from the collections of digital thematic charts (vegetation, soil, climate, MAP, MAT and altitude) were displayed and the variables of each issue were joined with these, by the *Geoprocessing Assign Wizard* extension and the *Assign data by location* command.

The digital thematic maps at the municipal level, were generated from the intersection of the municipalities with each of the thematic layers, the tools used were the *Geoprocessing Wizard* extension and the *Intersect* command. Thus, six maps were obtained for each subject, defined according to municipalities on which the collection points were placed. Final mapping was prepared upon the guidelines of Conabio (2004).

## RESULTS

A total of 179 records for 68 georeferenced sites was managed. Among the best represented taxa *Lycoperdon perlatum* Pers., *Boletus edulis* Bull., *Lycoperdon pyriforme* Schaeff., *Cantharellus cibarius* Fr., *Amanita caesarea* (Scop.) Pers., *Amanita vaginata* (Bull.) Lam. and *Gomphus floccosus* (Schwein.) Singer. In the Sierra Norte region were located 65 % of the collection sites, but these only cover 20 % of the municipalities (68) with temperate forests, so that fungal diversity is far from being fully studied. Highlighted are Ixtlán de Juárez with 51 % of the records and San Miguel Amatlán with 21 %. In the regions of Cañada, Mixteca y Sierra Sur, with a high percentage of municipalities with the type of vegetation of interest, data of the taxa studied are present in 6 % of its surface and there were no records for

San Miguel Amatlán con 21 %. En las regiones Cañada, Mixteca y Sierra Sur, con un alto porcentaje de municipios con el tipo de vegetación de interés, existen datos de los taxa estudiados en 6 % de su superficie; y para la Región del Istmo no hubo registros (figuras 2 y 3). Además de la carencia de información curatorial en la microrregión de la Sierra (noreste) de esta región es importante considerar que, por su relieve, presenta una gran superficie con clima fundamentalmente Cálido Húmedo, en el cual está ausente el hábitat que alberga las especies de hongos incluidas en el presente trabajo.

the Isthmus Region (Figures 2 and 3). In addition to the lack of information on the microrregion of the Sierra (northeast) region, it is important to consider that, for its topography, has a large surface, essentially, Warm Humid Climate, in which the habitat that houses fungal species included in this study is absent.

### Habitat characterization

According to the deployment of georeferenced collection points in the charts of land use and vegetation, the specimens included

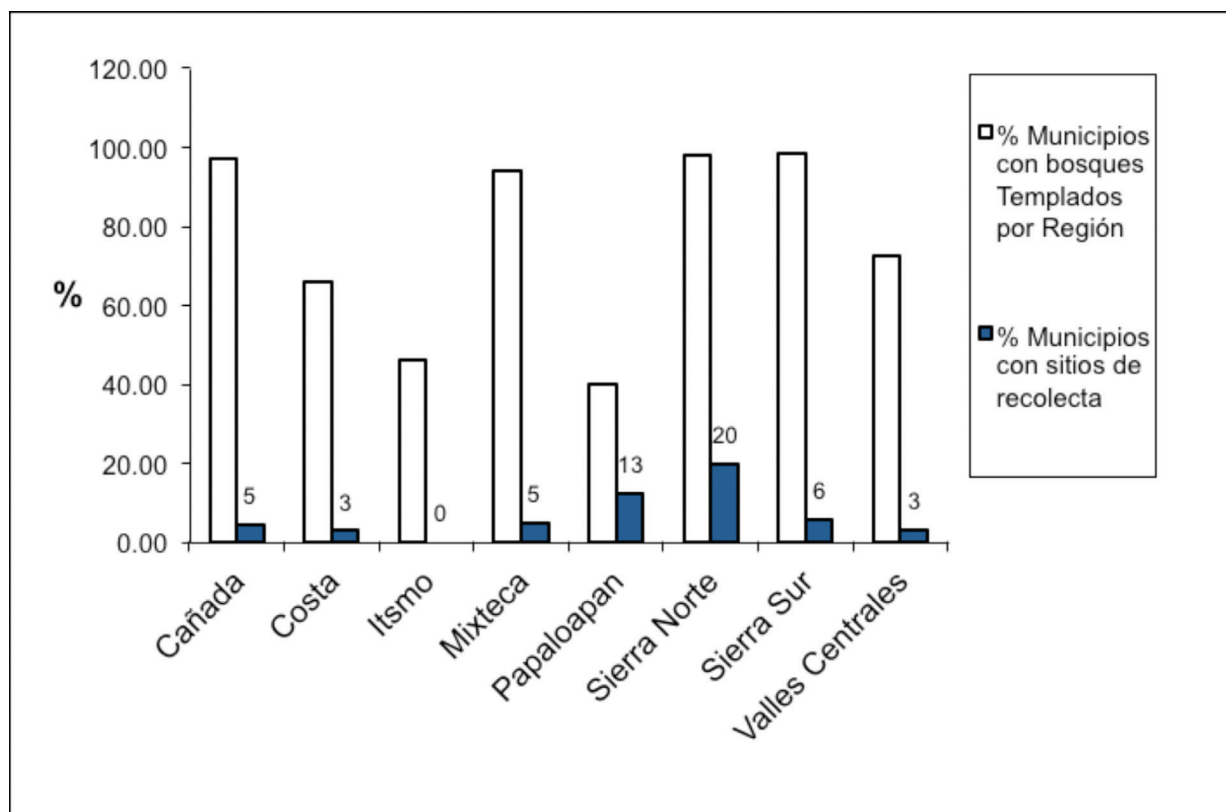


Figura 2. Proporción de municipios con registros de recolecta con respecto al porcentaje de municipios con bosques templados por región geográfica de Oaxaca.

Figure 2. Distribution of the municipalities with collection records in regard to the percentage of municipalities with temperate forests of the geographic regions of Oaxaca state.

### Caracterización del hábitat

De acuerdo al despliegue de los puntos de recolecta georreferenciados en las cartas de uso de suelo y vegetación, los especímenes incluidos en el presente estudio fueron recolectados en bosques de *Pinus*, *Quercus*, *Pinus-Quercus*, *Quercus-Pinus*, *Pinus-Abies*, *Pinus-Quercus-Abies* y *Mesófilo de Montaña*. Cuando se utilizó la Serie III del Inventario Nacional Forestal (INEGI, 2005) se observaron diferencias entre la vegetación asociada a los puntos en los mapas de la Serie II (INEGI, 2001) (figuras 4 y 5). El intervalo altitudinal varió

in this study were collected in forests of *Pinus*, *Quercus*, *Pinus-Quercus*, *Quercus-Pinus*, *Pinus-Abies*, *Pinus-Quercus-Abies* and Mountain Messic Cloud Forest. When using the Series III National Forest Inventory (INEGI, 2005) differences were observed between the vegetation associated with the points on the maps of the Serie II (INEGI, 2001) (figures 4 and 5). The altitudinal interval ranged from 1 000 to 3 500 m, with most taxa were between 2 000 and 3 000 m. *Lycoperdon perlatum* was collected in as many altitudinal classes, as well as in areas closer to sea level, but only *Boletus edulis* and *Gomphus floccosus* were in altitudes above 3 000 m (Figure 6).



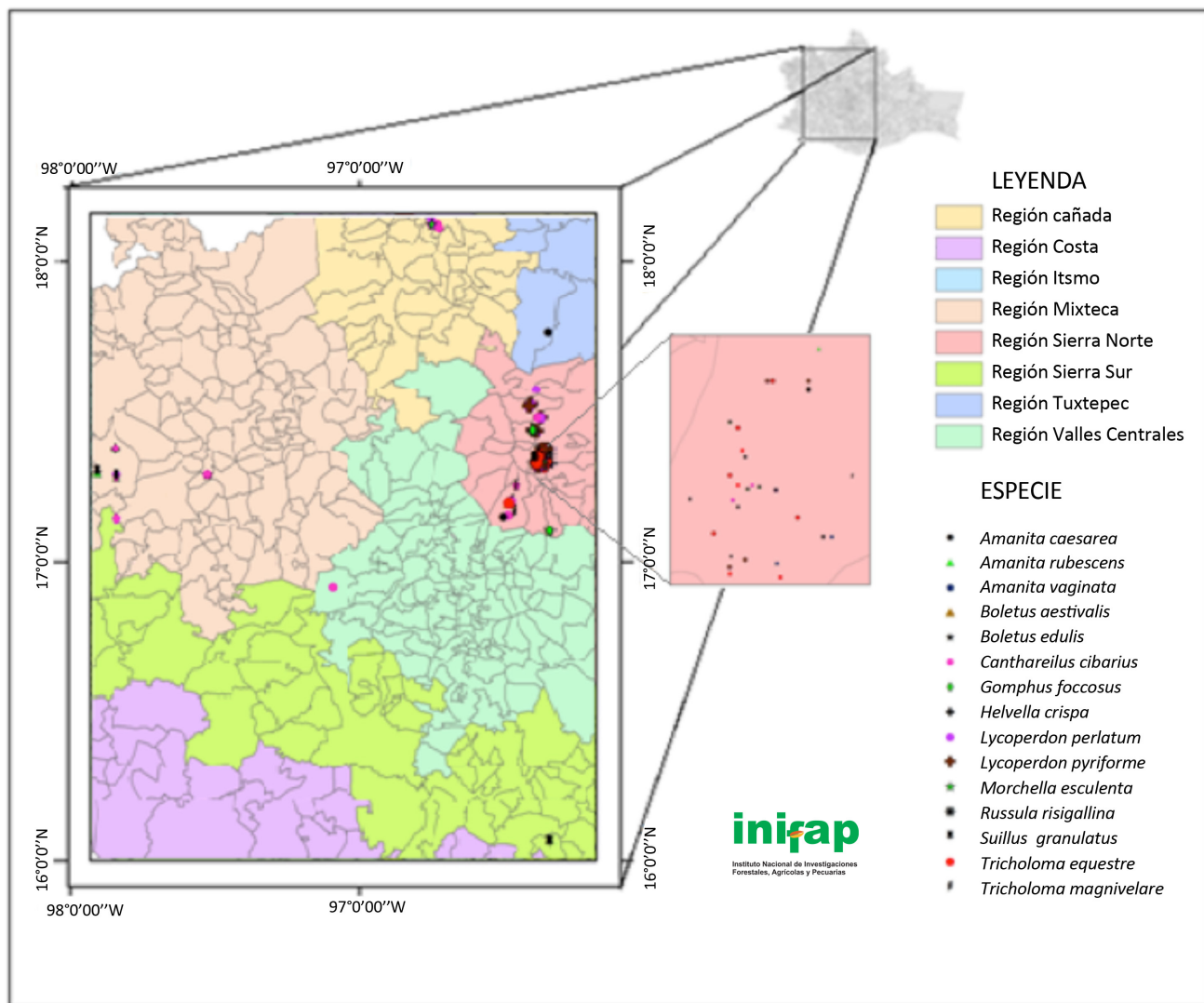


Figura 3. Distribución de los sitios de recolecta de 13 especies de hongos silvestres comestibles en las regiones geográficas de Oaxaca.  
 Figure 3. Distribution of the collection sites of the 13 wild edible mushroom species in the geographic regions of Oaxaca state.

de 1 000 a 3 500 m; la mayoría de los taxa se ubicaron entre 2 000 y 3 000 msnm. *Lycoperdon perlatum* se recolectó en el mayor número de clases altitudinales, así como en las zonas más cercanas al nivel del mar, pero solo *Boletus edulis* y *Gomphus floccosus* se registraron en altitudes superiores a los 3 000 m (Figura 6).

Los principales tipos de suelos en los que se distribuyeron las especies de hongos estudiadas fueron Acrosol húmico (Ah), Cambisol crómico (Bc), Cambisol dístico (Bd), Cambisol eútrico (Be), Cambisol húmico (Bh), Cambisol cálcico (Bk), Litosol (l), Rendzina (E), Feozem háplico (Hh), Feozem lúvico (Hl), Luvisol vértico (Lv), Regosol calcárico (Rc) y Regosol eútrico (Re). El porcentaje más alto de ejemplares se recolectó en el tipo Lv con textura media y gruesa, el cual está asociado a los bosques de *Pinus-Quercus*, *Quercus* y Mesófilo de Montaña (Figura 7). En todos los tipos de

The main types of soil in which were distributed the fungal species that were studied were Humic Acrosol (Ah), Chromic Cambisol (Bc), Dystric Cambisol (Bd), Eutric Cambisol (Be), Humic Cambisol (Bh), Calcium Cambisol (Bk), Litosol (l), Rendzina (E), Haplic Phaeozem (Hh), Luvic Phaeozem (Hl), Vertic Luvisol (Lv), Calceric Regosol (Rc) and Eutric Regosol (Re). The highest percentage of specimens were collected in the type Lv medium and coarse textured, which is associated with *Pinus-Quercus* forests, *Quercus* and Mountain Messic Cloud Forest (Figure 7). In all vegetation types are related you collect any of the soil B subtypes identified, except *Quercus-Pinus* forest and tropical forest (Plantation of *Pinus*) (Table 3, Figure 7). The taxa that occurred in more diversity of soils were: *Helvella crispa*, *Cantharellus cibarius* and *Lycoperdum perlatum*. Another soil that was well represented was Ah. In all the types of vegetation there are collections related to one of the subtypes of the identified B

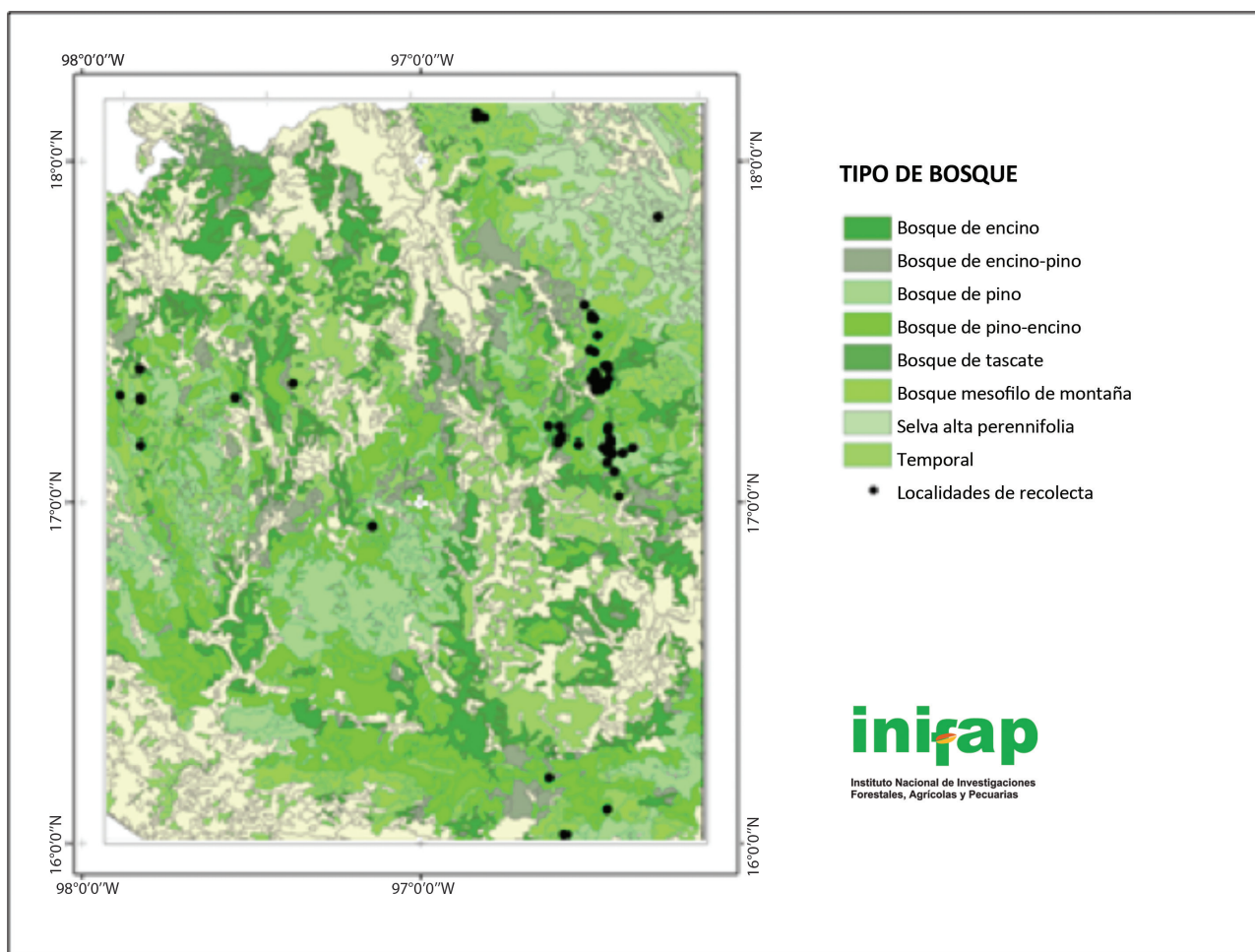


Figura 4. Tipo de bosques templados en donde se ubicaron las colectas de las 13 especies de hongos silvestres comestibles, con base en el mapa de uso de suelo y vegetación Serie II (INEGI, 2001).

Figure 4. Type of temperate forests where the collections of the 13 wild edible mushroom species were located, based on the map of land use and vegetation Series II (INEGI, 2001).

vegetación hay recolectas relacionadas con alguno de los subtipos de suelo B identificados, excepto en los bosques de *Quercus-Pinus* y selva alta perennifolia (plantación de *Pinus*) (Cuadro 3, Figura 7). Los taxa que se presentaron en más diversidad de suelos fueron: *Helvella crispa*, *Cantharellus cibarius* y *Lycoperdum perlatum*. Otro suelo bien representado fue el Ah.

soils, except in the *Quercus-Pinus* forests and in the tropical rain forest (*Pinus* plantation) (Table 3, Figure 7). Taxa that were present in a greater soil diversity were Ah.

The types of climate in which the taxa studied were collected corresponded to (A)C(w<sub>2</sub>), semi warm sub-humid; Am, warm humid; BS<sub>h</sub>w, temperate semiarid; BS<sub>k</sub>w, temperate semiarid; C (m), humid temperate; C (w<sub>2</sub>), sub-humid temperate (the wettest); C (w<sub>1</sub>), humid temperate (intermediate); C (w<sub>0</sub>), temperate sub-humid (the less humid) and Cb'(m), wet semi-cold (Figure 8).



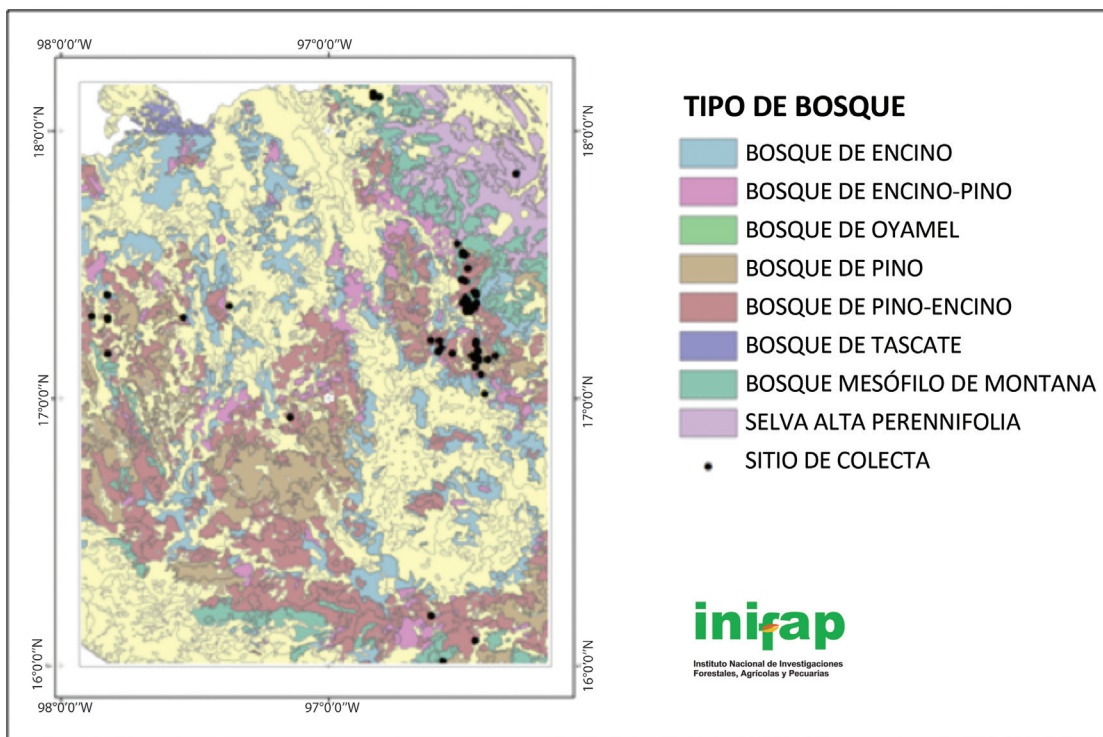


Figura 5. Tipo de bosques templados en donde se ubicaron las colectas de las 13 especies de hongos silvestres comestibles, con base en el mapa de uso de suelo y vegetación Serie III (INEGI, 2005).

Figure 5. Type of temperate forests where the collections of the 13 species of wild edible fungi were located, based on the map of land use and vegetation Series III (INEGI, 2005).

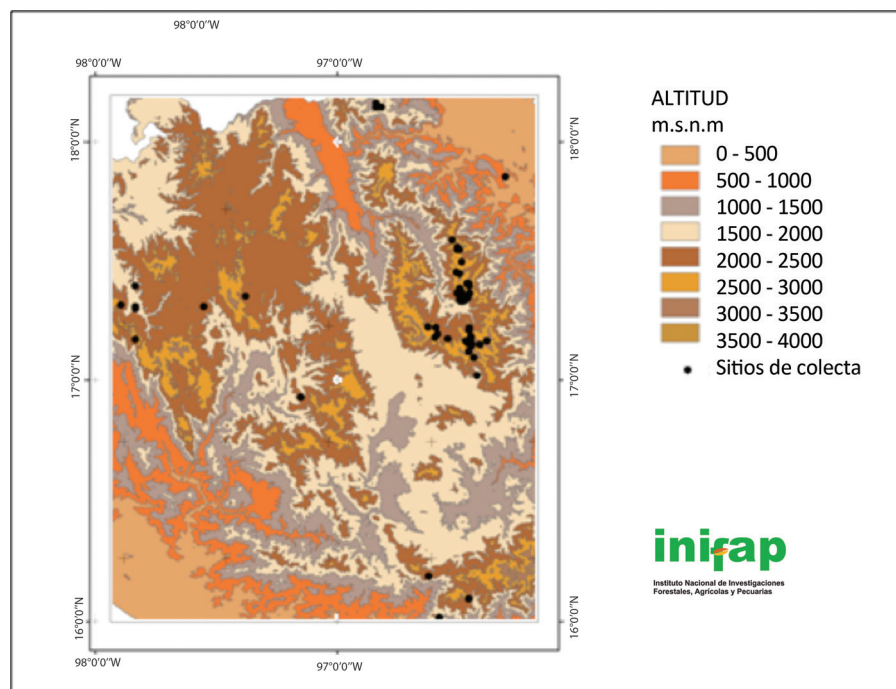


Figura 6. Distribución altitudinal de los sitios con recolectas micológicas en los bosques templados de Oaxaca.

Figure 6. Altitudinal distribution of the sites with mycological collections in the temperate forests of Oaxaca.

Cuadro 3. Características del hábitat de 13 especies de hongos silvestres comestibles en los bosques templados de Oaxaca.  
Table 3. Habitat features of 13 species of wild edible fungi in temperate forests of Oaxaca.

Especie	Tipo de vegetación	Altitud (msnm)	Clima	Tipo de Suelo	Textura de Suelo	TMA (°C)	PMA (mm)
<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers. s.l.	Q, P-Q, BMM	1 500 - 3 000	(A)C(w <sub>2</sub> ), C(m), C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), C(w <sub>0</sub> ), Cb'(m)	Ah, Be, Bk, Lv	2,3	13, 16 - 19	800 - 1 100, 1 400 - 1 500
<i>Amanita rubescens</i> (Pers.) Gray	Q, P-Q, BMM	1 500 - 2 500	BS <sub>kw</sub> , C(m), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Ah, Bd, l, Lv	2,3	16 - 17, 20	700 - 800, 900 - 1 000, 1 300 - 1 400, 2 500 - 2 600
<i>Amanita vaginata</i> (Bull.) Lam. s.l.	P-Q, BMM	1,500 - 3,000	C(m), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Ah, E, Lv	2,3	16 - 17	700 - 1 300, 1 400 - 1 500, 2 500 - 2 600
<i>Boletus edulis</i> Bull. s. l.	P, P-Q, P-A, BMM	2 000 - 3 500	C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Be, Bh, Lv	2,3	10 - 17	800 - 1,100
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr. s.l.	Q, P-Q, BMM	1 500 - 3 000	BS <sub>hw</sub> , BS <sub>kw</sub> , C(m), C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Ah, Bd, Be, Bk, l, Lv, Re	2,3	16 - 20	700 - 1 100, 300 - 1 400, 1 500 - 1 600, 2 500 - 2 600
<i>Gomphus floccosus</i> (Schwein.) Singer	P-Q, Q-P, BMM	2 000 - 3 500	C(m), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)		2,3	11, 16 - 17	700 - 800, 900 - 1 300
<i>Helvella crispa</i> Fr.	Q, P-Q, BMM	1 500 - 3 000	(A)C(w <sub>2</sub> ), BS <sub>kw</sub> , C(m), C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Ah, Bd, Be, l, Hh, Lv, Rc	2,3	16 - 17, 20	700 - 1 000, 1 300 - 1 400, 1 500 - 1 600, 2 500 - 2 600
<i>Lycoperdum perlatum</i> Pers.	P, P-Q, Q-P, P-Q-A, BMM	1 000 - 3 000	Am, BS <sub>hw</sub> , C(m), C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Ah, Be, Bk, E, Hl, Lv, Re	2,3	16 - 19, 20	700 - 1 000, 1 200 - 3 700
<i>Lycoperdum pyriforme</i> Schaeff.	P-Q, P-Q-A	1 500 - 3 000	C(m), C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Ah, Bc, Lv	2,3	16 - 17	700 - 1 300
<i>Russula risigallina</i> (Batsch) Sacc.	P-Q	2 000 - 3 000	C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Ah, Lv	2,3	16 - 17	800 - 1 100
<i>Suillus granulatus</i> (L.) Snell	P-Q	2 000 - 2 500	C(w <sub>2</sub> )	Lv	3	17	900 - 1 000
<i>Tricholoma equestre</i> (L.:Fr.) Quéf.	P-Q, Q-P	2 000 - 3 000	C(m), C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> ), Cb'(m)	Ah, Be, Lv	2,3	16 - 17	800 - 1 000, 1 200 - 1 300
<i>Tricholoma magnivelare</i> (Peck) Redhead	P-Q	2 000 - 3 000	C(w <sub>1</sub> ), C(w <sub>2</sub> )	Be, Lv	2,3	16 - 17	800 - 1 100

Q = bosque de encino; P-Q = bosque de pino-encino; BMM = bosque mesófilo de montaña; P = bosque de pino; P-A = bosque de pino-oyamel; P-Q-A = bosque de pino-encino-oyamel; Q-P = bosque de encino-pino; Ah = Acrisol húmico; Be = Cambisol eútrico; Bc = Cambisol crómico; Bd = Cambisol dístrico; Bh = Cambisol húmico; Bk = Cambisol cálcico; l = Litosol; E = Rendzina; Hh = Feozem háptico; Hl = Feozem lúvico; Lv = Luvisol vértico; Rc = Regosol calcárico; Re = Regosol eútrico.

Q = oak forest; P-Q = pine-oak forest; BMM = mountain mesic cloud forest; P = pine forest; P-A = pine-fir forest; P-Q-A = pine-oak-fir forest; Q-P = oak-pine forest; Ah = Humic acrosol; Be = Eutric Cambisol; Bc = Chromic Cambisol; Bd = Distric Cambisol; Bh = Humic Cambisol; Bk = Calcic Cambisol; l = Lithosol; E = Rendzina; Hh = Haplic Phaeozem; Hl = Luvic Phaeozem; Lv = Vertic Luvisol; Rc = Calcic Regosol; Re = Eutric Regosol.

Los tipos de clima en los que se han recolectado los taxa estudiados correspondieron al (A)C(w<sub>2</sub>), semicálido subhúmedo; Am, cálido húmedo; BShw, semiárido semicálido; BSkw, semiarido templado; C(m), templado húmedo; C(w<sub>2</sub>), templado subhúmedo (el más húmedo); C(w<sub>1</sub>), templado subhúmedo (intermedio); C(w<sub>0</sub>), templado subhúmedo (el menos húmedo); y Cb' (m), semifrío húmedo (Figura 8).

En el clima C(w<sub>2</sub>) se distribuyeron 49% de las recolectas, el cual está asociado a los bosques de *Pinus-Quercus*, *Quercus-Pinus* y *Pinus*. Los especímenes provenientes de bosques de *Quercus-Pinus* y *Quercus* incluyeron una mayor diversidad de climas. Los taxa registrados en una diversidad de climas más grande fueron el complejo *Amanita caesarea*, *Lycoperdon perlatum* y *Helvella crispa*. Los ejemplares obtenidos en climas más cálidos correspondieron a *Amanita caesarea*, *A. rubescens*, *C. cibarius*, *Helvella crispa* y *Lycoperdon perlatum*; pero la mayoría de estos se relacionaron con climas templados o fríos y diferentes grados de humedad. Todas las especies fúngicas de interés han sido recolectadas en localidades con clima tipo C(w<sub>2</sub>).

In the C(w<sub>2</sub>) climate were distributed 49% of the collections, which is associated with *Pinus-Quercus*, *Quercus-Pinus* and *Pinus* forests. The specimens from the *Quercus-Pinus* and *Quercus* forests included a wider range of climates. The taxa recorded in a wider variety of climates were the *Amanita caesarea*, *Lycoperdon perlatum* and *Helvella crispa* complex. The specimens from warmer climates were for *Amanita caesarea*, *A. rubescens*, *C. cibarius*, *Helvella crispa* and *Lycoperdon perlatum*, but most of these were related to temperate or cold climates and different degrees of humidity. All fungal species of interest have been collected in localities with the C(w<sub>2</sub>) climate type.

## DISCUSSION

The data obtained from scientific collections represent an important source of information to define the geographical and ecological distribution of species, although the final result is influenced by the existence of a high percentage of specimens with

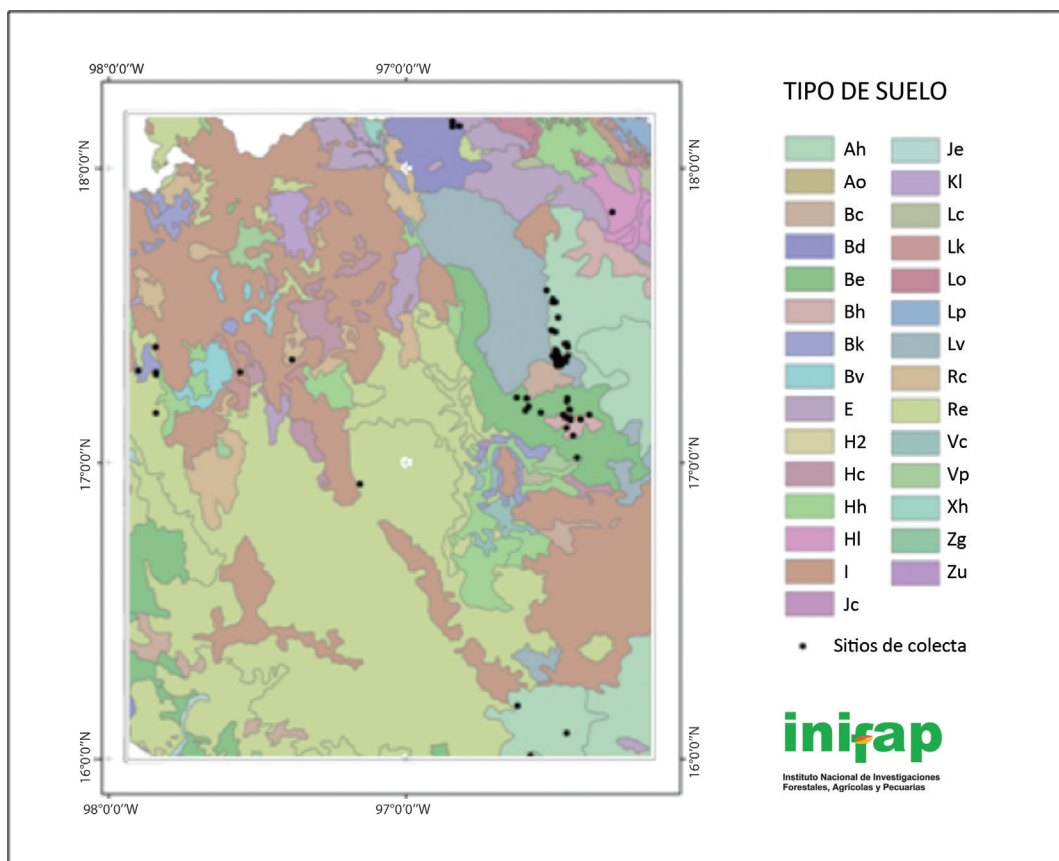


Figura 7. Tipos de suelo en los que se distribuyen los sitios con recolectas de las 13 especies de hongos silvestres comestibles estudiadas.

Figure 7. Soil types in which are displayed sites with the collections of the 13 species of wild edible fungi that were studied.

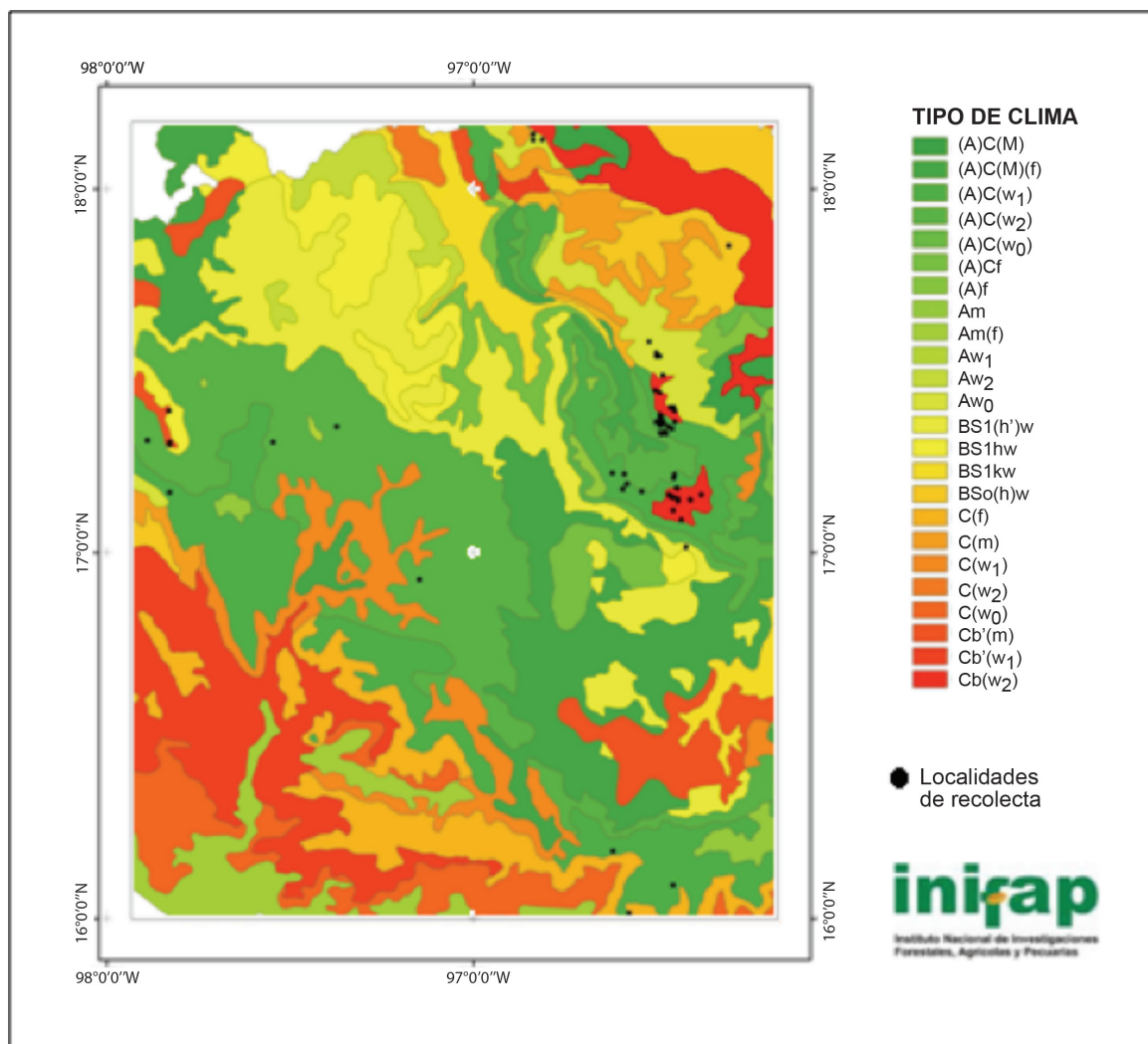


Figura 8. Distribución de los especímenes fúngicos registrados en las diversas regiones climáticas de Oaxaca.  
Figure 8. Distribution of fungal specimens recorded in the various climatic regions of Oaxaca.

## DISCUSIÓN

Los datos obtenidos a partir de colecciones científicas representan una importante fuente de información para delimitar la distribución geográfica y ecológica de las especies; aunque el resultado final está influenciado por la existencia de un alto porcentaje de especímenes con errores en su determinación debido, principalmente, a la falta de datos morfológicos de sus esporomas frescos y a la escasa disponibilidad de bibliografía especializada (Guzmán, 1998; Cifuentes *et al.*, 2004). Esto conlleva a que las áreas de distribución definidas correspondan a complejos de especies y no a un taxon en particular, como en el caso de *Amanita caesaria*, *Amanita vaginata*, *Boletus edulis* y *Cantharellus cibarius*.

Al igual que en la región de estudio, los temas referentes a la ecología y la biología de los hongos mexicanos han sido poco desarrollados; algo similar ocurre con la relación de las

errors in their determination, due mainly to lack of morphological data of its fresh sporomes and the limited availability of literature (Guzmán, 1998; Cifuentes *et al.*, 2004). This leads to the situation where the defined ranges correspond to species complexes and not to a taxon in particular, as in the case of *Amanita caesaria*, *Amanita vaginata*, *Boletus edulis* and *Cantharellus cibarius*.

As in the study region, the issues concerning the ecology and biology of the Mexican mushrooms have been poorly developed; something similar happens with the relationship of environmental, ecological and silvicultural variables influencing the development of fungal populations (Córdova, 2004). However, in most macromycetes studies vegetation is considered as a factor in the distribution patterns of these organisms (Guzmán, 1973; Mueller and Halling, 1995); the composition, the age and structure of the vegetation in particular is crucial for fungal diversity, since plants are the habitat and source of energy for most species, especially for ectomycorrhiza (Zamora-Martínez,

variables ambientales, ecológicas y silvícolas que inciden en el desarrollo de las poblaciones fúngicas (Córdova, 2004). Sin embargo, en la mayoría de los estudios de macromicetos se considera a la vegetación como un factor relevante en los patrones de distribución de estos organismos (Guzmán, 1973; Mueller y Halling, 1995); en particular, la composición, la edad y la estructura de las formaciones vegetales es determinante para la diversidad fúngica, ya que las plantas constituyen los hábitats y fuentes de energía para la mayoría de las especies, en especial para las ectomicorrizógenas (Zamora-Martínez, 2010), que en el caso del presente estudio corresponden a 85 % de los taxa (Cuadro 2).

Respecto a la presencia del complejo *Amanita caesarea* en los bosques de *Pinus-Quercus*, esta concuerda con la registrada por Garibay-Orijel *et al.* (2006) en la zona de Ixtlán de Juárez, Oax; aunque estos autores hicieron precisiones en cuanto a la distribución específica de los taxa que integran dicho complejo taxonómico. En la misma investigación se consigan dos morfoespecies identificadas como *Cantharellus cibarius*; una de ellas se observó en ese tipo de vegetación a una altitud superior a 2 200 m. Lo anterior coincide con lo aquí documentado (Cuadro 3).

La distribución conocida de los especímenes, principalmente en los bosques de *Pinus-Quercus*, corresponde con los resultados de otras investigaciones en las que se anota una mayor diversidad y abundancia de macromicetos de hábito ectomicorrizógeno en este tipo de vegetación (Guzmán-Dávalos y Guzmán, 1979; León y Guzmán, 1980; Chávez-Sánchez, 2001); aunque es factible que dicho resultado sea un reflejo del mayor número de exploraciones micológicas que se han realizado en esos bosques, en comparación con los otros tipos de vegetación existentes en Oaxaca. Otro factor relevante para el desarrollo de la mayoría de los taxa fúngicos estudiados en los bosques de pino, de pino-encino y en los encinares, es la concentración de especies arbóreas formadoras de asociaciones micorrícicas, en particular ectomicorrícicas (Cifuentes *et al.*, 1993).

La extensa distribución registrada para *Lycoperdon perlatum* y *C. cibarius*, está en concordancia con los resultados citados a nivel nacional e internacional, y evidencia su amplio intervalo de adaptación a los factores asociados a su distribución, además de, su complejidad taxonómica, dada su enorme variación morfológica y de hábitat (Danell, 1994; Garibay-Orijel *et al.*, 2006).

En relación con las propiedades del suelo, particularmente la acidez; así como la temperatura, la precipitación y la altitud impactan de manera importante en la distribución de los macromicetos (Tan y Wu, 1986; Villarreal y Guzmán, 1986; Tyler, 1989; De Diego, 1990; Gulden *et al.*, 1992; Cifuentes *et al.*, 2004; Córdova, 2004; Salerni y Perini, 2004; Villanueva-Jiménez *et al.*, 2006; Daza *et al.*, 2007). Así, para *Tricholoma*

2010), which in the case of this study correspond to 85 % of the taxa (Table 2).

Regarding the presence of *Amanita caesarea* complex in *Pinus-Quercus* forests, this is consistent with that recorded by Garibay-Orijel *et al.* (2006) in the Ixtlán de Juárez, Oaxaca, although these authors made some explanations about the specific distribution of the taxa that comprise such taxonomic complex. In the same research, two morphospecies were identified as *Cantharellus cibarius*; one of them was observed in this type of vegetation at an altitude over 2200 m. This coincides with what is documented here (Table 3).

The known distribution of specimens, mainly in the forests of *Pinus-Quercus*, corresponds with the results of other investigations in which it is recorded a greater diversity and abundance of macrofungi of ectomicorrhizal habit in this type of vegetation (Guzmán-Dávalos and Guzmán, 1979; León and Guzmán, 1980; Chávez-Sánchez, 2001), although it is feasible that such result might be a reflection of the greater number of mycological explorations that have been made in these forests, as compared to other vegetation types in Oaxaca. Another important factor for the development of most fungal taxa studied in pine, pine-oak and oak forests is the concentration of tree species forming mycorrhizal associations, particularly ectomycorrhizal (Cifuentes *et al.*, 1993).

The widespread distribution recorded for *Lycoperdon perlatum* and *C. cibarius* is in agreement with the results quoted in the national and international level, and demonstrates its wide range of adjustment to the factors associated with their distribution; in addition, to its taxonomic complexity, given its enormous morphological and habitat variation (Danell, 1994; Garibay-Orijel *et al.*, 2006).

In regard to soil properties, particularly acidity as well as temperature, rainfall and altitude significantly impact on the distribution of macrofungi (Tan and Wu, 1986; Villarreal and Guzmán, 1986; Tyler 1989; De Diego, 1990; Gulden *et al.*, 1992; Cifuentes *et al.* 2004; Córdova, 2004; Salerni and Perini, 2004; Villanueva-Jiménez *et al.*; 2006 Daza *et al.*, 2007). Thus, for *Tricholoma magnivelare* physiography is an important factor for its development mainly through its effects on the soil climate and vegetation (Zamora-Martínez y Nieto de Pascual, 2004).

In this context, knowing the ecological distribution of fungi is important because, according to their nature cater they fit to a specific medium; in addition there is evidence that environmental conditions influence the characteristics of sporomes (Guzmán-Dávalos and Guzmán 1979; Chávez-Sánchez, 2001; Montañez, 2006); and in production (Visser, 1995; Gómez *et al.*, 2002).

*magnivelare* la fisiografía es un factor relevante para su desarrollo, fundamentalmente, por sus efectos en el edafoclima y la vegetación (Zamora-Martínez y Nieto de Pascual, 2004).

En este contexto, conocer la distribución ecológica de los hongos es relevante, pues de acuerdo a su naturaleza se adaptan a un medio específico; además existen evidencias de que las condiciones ambientales influyen en las características de los esporomas (Guzmán-Dávalos y Guzmán 1979; Chávez-Sánchez, 2001; Montañez, 2006); y en su producción (Visser, 1995; Gómez *et al.*, 2002).

## CONCLUSIONES

La definición de la distribución geográfica y ecológica de los poblaciones silvestres de hongos comestibles mediante sistemas de información geográfica es una herramienta relevante para el diseño de programas de manejo sustentable de hongos; y para delimitar las zonas aptas para su conservación o recolecta.

La región Sierra Norte cuenta con el mayor número de sitios de recolecta, lo que no necesariamente indica que está bien explorada; por el contrario, en la región del Istmo no existen registros micológicos.

*Lycoperdon perlatum* tiene la distribución ecológica más amplia entre los taxa investigados.

La información curatorial referente a los sitios de colecta y sus características ecológicas para las especies consideradas en el presente trabajo se caracteriza por ser poco precisa, con excepción de *Tricholoma magnivelare*.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Comisión Nacional para Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) por el cofinanciamiento otorgado para el desarrollo del Proyecto AS005, en cuyo contexto se generó la información aquí documentada; y al fondo sectorial Semarnat-Conacyt por su financiamiento a través del proyecto SEMARNAT-2002-C01-0423.

## REFERENCIAS

- Agree, J. K., S. C. Stitt, M. Nyquist and R. Root. 1989. A geographic analysis of historical Grizzly Bear sightings in the North Cascades. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 55(11): 1 637-1 642.
- Berry, J. K. and W. J. Ripple. 1994. Emergence and role of GIS in natural resources. In: Ripple, W. J. (ed.). *The GIS applications book examples in natural resources: a compendium*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, MD. USA. pp. 3-19.
- Cifuentes, J., M. Villegas-Ríos y L. Pérez-Ramírez. 1993. Hongos macroscópicos. In: Luna-Vega, I. y J. Llorente (eds.). *Historia natural del parque ecológico estatal Omiltemi*, Chilpancingo, Gro. México. Universidad Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. México. pp. 59-126.

## CONCLUSIONS

The definition of the geography and ecology of wild populations of edible fungi by using GIS is an important tool for the design of sustainable management programs of fungi, and to define areas suitable for conservation or harvesting.

The Sierra Norte region has the largest number of collection sites, which does not necessarily indicate that it is well explored, on the contrary, in the region of Istmo there are no mycological no records.

*Lycoperdon perlatum* has the widest ecological distribution among the investigated taxa.

Curatorial information concerning the collection sites and their ecological characteristics of the species considered in this work is characterized by lacking precision, except for *Tricholoma magnivelare*.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to the National Commission for Knowledge and Use of Biodiversity (Conabio) [Comisión Nacional para Conocimiento y Uso de la Biodiversidad] for the co-financing provided for the development of the AS005 Project, in which context the information generated and here reported, and to Semarnat-Conacyt Sectoral Fund for its funding through the SEMARNAT-2002-C01-0423 project.

*End of the English version*





- Cifuentes, J., M. Villegas, R. García-Sandoval, G. Vidal-Gaona, S. Sierra, R. Valenzuela-Garza, L. Pérez-Ramírez y E. Morales-Torres. 2004. Distribución de macromicetos: una aproximación al análisis de áreas de endemismo. In: Luna I., J. Morrone, D. Espinosa (eds.). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. Las Prensas de Ciencias. México, D.F. México. pp. 355-369.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (Conabio). 2004. Edafología. Escala 1:250 000. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (12 de julio de 2006).
- Córdova, J. 2004. Producción natural de hongos silvestres comestibles del bosque de pino-encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. México, D. F., México. 104 p.
- Cruz, I., E. Martínez, E. Muñoz y F. Vázquez. 1997. La Biodiversidad y los Sistemas de Información Geográfica. *Biodiversitas* (11):11-14.
- Danell, E. 1994. Formation and growth of the ectomycorrhiza of *Cantharellus cibarius*. *Mycorrhiza* (1994) 5:89-97.
- Davis, F. W., D. M. Soms, J. E. Estes, J. Scepan and J. M. Scott. 1990. An information systems approach to the preservation of biological diversity. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.* 4(1):55-78.
- Daza, A., M. Camacho, L. Romero de la Osa, J. L. Manjón, G. Moreno y C. Santamaría. 2007. Distribución espacial de la fructificación del hongo ECM comestible *Amanita ponderosa* Malençon & R. Heim durante seis años consecutivos en un encinar adhesionado de la Sierra de Aracena (Huelva). *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 16(1): 89-94.
- De Diego, F. 1990. Setas (hongos): guía ilustrada. Mundi-Prensa. Madrid, España. 456 p.
- Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI). 1999. ArcView GIS Ver.3.2. GIS by ESRI Inc. New York, NY. USA. s/p.
- García, E.-Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (Conabio). 1998. Climas. Escala 1:1 000 000. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (16 de abril de 2012).
- García-Mendoza, A. J., J. Ordóñez M. y M. Briones-Salas. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología-Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y World Wildlife Fund. México, D. F., México. 602 p.
- Garibay-Origel, R. 2006. Análisis de la relación entre la disponibilidad recurso fúngico y la importancia cultural de los hongos en los bosques de *Pinus-Quercus* de Ixtlán, Oaxaca. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 231 p.
- Gómez C., M., J. F. Castellanos B., M. C. Zamora-Martínez, M. A. Cano, E. Bravo, G. Rodríguez y M. Valdés. 2002. Factores limitantes para la conservación del hongo blanco de ocote en Oaxaca. In: *Memorias del VII Foro Estatal de Investigación Científica y Tecnológica. CONACYT-SIBEJ*, Oaxaca, Oax., México. pp. 173-177.
- Gulden, G., K. Holland, K. Bendiksen, T. E. Brandrud, B. S. Foss, H. B. Jenssen and D. Laber. 1992. Macromycetes and air pollution: Mycoenological studies in three oligotrophic spruce forests in Europe. *Bibliotheca Mycologica* Band 144. 81 p.
- Guzmán, G. 1973. Observaciones sobre el género *Calostoma* en México. *Bol. Soc. Mex. Mic.* 7: 99-104.
- Guzmán, G. 1998. Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (Ensayo sobre el inventario fúngico del país). In: Halffter, G. (Comp.) 1998. *La Diversidad Biológica de Iberoamérica II. Volumen Especial, Acta Zoológica Mexicana, nueva serie, CYTED e Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Ver. México.* pp. 111-175.
- Guzmán-Dávalos, L. y G. Guzmán. 1979. Estudio ecológico comparativo entre los hongos (macromicetos) de los bosques tropicales y los de coníferas del sureste de México. *Bol. Soc. Mex. Mic.* 13: 89-126.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1970. Cartas Topográficas. Escala 1:50 000.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Modelo Digital de Elevación. Pixel 90 x 90 m.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2002. Base digital de División política estatal y municipal.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Uso de suelo y vegetación serie III. Escala 1:250 000.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2006a. Archivo histórico de localidades. <http://mapserver.inegi.gob.mx/dsist/ah12003/index.cfm> (julio de 2006).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2006b. Programa de transformación de coordenadas TRANINIV. <http://antares.inegi.gob.mx/traninv/> (julio de 2006).
- León, G. y G. Guzmán. 1980. Las especies de hongos micorrízicos conocidas en la región de Uxpanapa Coatzacoalcos-Los Tuxtla-Papaloapan-Xalapa. *Bol. Soc. Mex. Mic* 14:27-38.
- Montañez, A. 2006. Contribución al conocimiento taxonómico del género *Tricholoma* (Fungi: Agaricales) en el centro de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 87 p.
- Moreno-Sánchez, F., D. Reygadas y M. C. Zamora-Martínez. 1997. Distribución Potencial de *Tricholoma magnivelare* (Peck) Readhead, en el estado de Hidalgo. In: *Memorias del VI Congreso Nacional de Micología. Tapachula, Chis., México.* p. 48.
- Mueller, G. M. and R. E. Halling. 1995. Evidence for high biodiversity of Agaricales (Fungi) in Neotropical Montane *Quercus* forest. In: Churchill, S. P., H. Balsev, E. Forero and J. L. Luteyn (eds.). *Biodiversity and conservation of Neotropical Montane Forests. The New York Botanical Garden, New York, NY. USA.* pp. 303-312.
- Reygadas, D., M. C. Zamora-Martínez y F. Moreno. 2000. Sistemas de Información Geográfica para la determinación de áreas potenciales de hongos comestibles. In: *Memorias del VII Congreso Nacional de Micología. Querétaro, Qro., México.* p. 75.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México.* Limusa. México, D. F., México. 432 p.
- Salas, I e I. Cinta. 1998. Aprovechamiento de hongos comestibles silvestres en unidades de conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de vida silvestre en (UMAS). In: *Memorias del 1er Simposio Nacional de Hongos. Pachuca, Hgo., México.* pp. 65-66.
- Salerni E. and C. Perini. 2004. Experimental study for increasing productivity of *Boletus edulis* s.l. in Italy. *Forest Ecol. Manag.* 201 (2-3): 161-170.
- Sánchez-Cordero V. y A. Townsend. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la biodiversidad biológica. In: Hernández H. M., García A. A., Álvarez F y Ulloa M. (Eds.) *Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad.* Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. México. pp. 359-379.
- Skidmore, K., B. Wietske, K. Schmidt and L. Kumar. 1997. Use of remote sensing and GIS for sustainable land management. *ITC Journal* 3/4. pp. 302-315.
- Tan, H-C. and Wu, R-J. 1986. The ecological and geographical distribution of 108 species of macromycetes from the subtropical, evergreen, broad-leaved forests in China. *Mycotaxon* 25(1): 183-194.
- Tedersoo, L., T. Suvi, T. Jairus, I. Ostonen and S. Polme. 2009. Revisiting ectomycorrhizal fungi of the genus *Alnus*: differential host specificity, diversity and determinants of the fungal community. *New Phytologist.* 182(3):727-735.
- Trejo, I. 2004. Clima. In: García-Mendoza, A. J., M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). *Biodiversidad de Oaxaca.* Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund. México, D. F., México. pp. 67-85.
- Tyler, G. 1989. Edaphically distribution patterns of macrofungal species in deciduous forest of south Sweden. *Acta Oecologica* 10: 309-326.
- Villareal, L. y G. Guzmán. 1986. Producción de los hongos comestibles silvestres en los bosques de México. *Xalapa (México). Biótica* Vol.11(4): 281-280.
- Villareal L. y J. Pérez-Moreno. 1989. Los hongos comestibles silvestres de México, un enfoque integral. *Micol. Neotrop.* Apl. 2: 77-114.
- Visser, S. 1995. Ectomycorrhizal fungal succession in jack pine stands following wildfire. *New Phytologist.* 129: 389- 401.
- Welch, R., M. Remillard and J. Alberts. 1992. Integration of GPS, Remote Sensing, and GIS techniques for coastal resource management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 58(11): 1 571-1 578.

White, J., K. Glenn and J. Pinder. 1995. Forest mapping at Lassen Volcanic National Park, California, using Landsat TM data and a Geographical Information System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(3): 299-305.

Zamora-Martínez, M. C. 2010. El monitoreo de las poblaciones de macromicetos ectomicorrícicos y su relevancia en estudios ecológicos y el manejo sustentable. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 84 p.

Zamora-Martínez, M. C., D. Reygadas, L. Zamora-Martínez, F. Moreno, G. Alvarado y J. Domínguez. 1999. Distribución conocida y potencial de 48 especies de hongos comestibles silvestres de la región central del país. Informe final proyecto No. 1013. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D. F. México. 31 p. [www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/Inf\\_proyecto\\_1013.pdf](http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/Inf_proyecto_1013.pdf). (julio de 2006).

Zamora-Martínez, M. C. and C. Nieto de Pascual P. 2004. Studies of *Tricholoma magnivelare* in Mexico. *Micología Aplicada Internacional*. 16 (1): 13-23.

