

## Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca\*

### Wild mushrooms with nutritional, medicinal and biotech potential marketed in Central Valleys, Oaxaca

Mario Jiménez Ruiz<sup>1</sup>, Jesús Pérez-Moreno<sup>1§</sup>, Juan J. Almaraz-Suárez<sup>1</sup> y Margarita Torres-Aquino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Microbiología y Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, Km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel: 95 202 00 Ext.1280 y 1269. (marbora\_86@hotmail.com), (jalmaraz@colpos.mx). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Agustín de Iturbide N° 73, Salinas de Hidalgo, Salinas, S. L. P. México. C. P. 78600. Tel. (496) 96 302 40 Ext. 4029. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: jperezm@colpos.mx.

#### Resumen

Los hongos comestibles silvestres son un recurso forestal no maderable que ha sido utilizado desde épocas prehispánicas en México por su alto contenido nutrimental y sus propiedades medicinales. México constituye un importante reservorio de dichos hongos a nivel mundial. En el presente trabajo, se identificaron las especies de hongos comestibles silvestres comercializados en dos mercados de Valles Centrales de Oaxaca durante 2009 y 2010. Se realizaron encuestas a las personas recolectoras sobre el conocimiento tradicional de los hongos comercializados. Se identificaron 20 especies de hongos comestibles adscritos a 12 géneros. Se determinó que dichas especies de hongos tienen diferentes usos, tales como: i) potencial de exportación; ii) nutricional, con alto contenido de proteínas y aminoácidos; iii) propiedades medicinales como antioxidantes, anticancerígenos, antibióticos y antitumorales; y iv) potencial biotecnológico para la producción de bioinoculantes útiles en especies forestales de México. Por esta razón, los hongos comestibles silvestres colectados en mercados de Valles Centrales pueden ser utilizados íntegramente en modelos de desarrollo sustentable en las comunidades rurales de Oaxaca.

**Palabras clave:** alimento no convencional, etnomicología, ectomicorrizas, potencial de exportación, sustentabilidad.

#### Abstract

The edible wild mushrooms are a non-timber forest resource that has been used since pre-Hispanic times in Mexico for its high nutritional and medicinal properties. Mexico is a major reservoir of such mushrooms worldwide. In the present paper, it was identified the species of wild edible mushrooms sold in two markets of Central Valleys, Oaxaca during 2009 and 2010. Were surveyed the people collecting traditional knowledge of mushrooms marketed. 20 species of edible mushrooms were identified, ascribed to 12 genera. It was determined that these species of mushrooms have different uses, such as: i) export potential; ii) nutritional, high in protein and amino acids; iii) medicinal properties as antioxidant, anticancer, antibiotics and antitumor; and iv) biotechnological potential to produce bio inoculants, useful in forest species in Mexico. For this reason, wild edible mushrooms collected in Central Valley markets can be used fully in sustainable development models in rural communities of Oaxaca.

**Key words:** non-conventional food, ethnomycology, ectomycorrhiza, exports potential, sustainability.

\* Recibido: mayo de 2012  
Aceptado: febrero de 2013

## Introducción

En México existe una alta diversidad de especies fúngicas debido a que el país se ubica entre dos importantes regiones biogeográficas: el Neotrópico y Neártico. En el territorio mexicano existen bosques templados de gimnospermas y angiospermas, los cuales favorecen el desarrollo de alrededor de 200 000 especies de hongos (Guzmán, 2008a). Se ha estimado que en México existen más de 300 especies de hongos silvestres comestibles (Boa, 2004). Los hongos han sido utilizados como alimento y medicina tradicional desde épocas prehispánicas e incorporados en la dieta de diversos grupos étnicos (Guzmán, 2008b). Los hongos comestibles poseen altos contenidos de proteínas, carbohidratos y vitaminas, y bajos en grasas (Colak *et al.*, 2009). Actualmente, el interés de los hongos comestibles ha crecido significativamente debido a que han demostrado propiedades nutrimentales y medicinales que han sido utilizadas en tratamientos terapéuticos (Barros *et al.*, 2008).

En México se conocen alrededor de 70 especies de hongos que han sido utilizadas en prácticas de medicina tradicional para el tratamiento de 40 tipos de problemas de salud humana (Guzmán, 2008a). Adicionalmente, los hongos comestibles silvestres son considerados un recurso forestal no maderable ya que contribuyen a la conservación de bosques, y forman parte de la estructura y funcionamiento de los mismos, estando entonces vinculados a la prestación de servicios forestales, tales como: recreación, captura de agua y carbono, conservación de la biodiversidad y ecoturismo (Pilz y Molina, 2002).

Diversos estudios realizados en Oaxaca, sobre hongos comestibles silvestres se han basado en venta, consumo y conocimiento tradicional (Ruan-Soto *et al.*, 2004; Zamora-Martínez y Pascual-Pola, 2004; Garibay-Orijel *et al.*, 2006, 2009). Sin embargo, pocos son los trabajos realizados en el estado de Oaxaca sobre la importancia de los hongos comestibles silvestres en la medicina moderna y su potencial biotecnológico a través de la producción de bioinoculantes de árboles forestales. Por ello, el objetivo de este trabajo fue identificar especies de hongos comestibles silvestres comercializados en dos mercados de Valles Centrales de Oaxaca con potencial medicinal, económico y biotecnológico, como preámbulo del uso de un recurso forestal no maderable que puede incorporarse en el desarrollo sustentable en las comunidades rurales de Oaxaca.

## Introduction

Mexico has a high diversity of fungal species because the country is located between two major biogeographic regions: the Neo-tropical and Nearctic. In the Mexican territory are temperate forests of gymnosperms and angiosperms, which favor the development of about 200 000 species of fungi (Guzmán, 2008a). It has been estimated that in Mexico there are over 300 species of edible wild mushrooms (Boa, 2004). Mushrooms have been used for food and traditional medicine since pre-Hispanic times and incorporated in the diet of various ethnic groups (Guzmán, 2008b). Edible mushrooms have high content of protein, carbohydrates and vitamins, and low in fat (Colak *et al.*, 2009). Currently, the interest in edible mushrooms has grown significantly because they have proven nutritional and medicinal properties that have been used in therapeutic treatments (Barros *et al.*, 2008).

In Mexico are known around 70 species of mushrooms that have been used in traditional medicine practices to treat 40 types of human health problems (Guzmán, 2008a). Additionally, wild edible mushrooms are considered non-timber forest resources and contribute to the conservation of forests, and are part of the structure and functioning thereof, being then connected to the provision of forest services, such as: recreation, capture of water and carbon, biodiversity conservation and ecotourism (Pilz and Molina, 2002).

Studies in Oaxaca, on edible wild mushrooms have been based on sales, consumption and traditional knowledge (Ruan-Soto *et al.*, 2004; Zamora-Martínez and Pascual-Pola, 2004; Garibay-Orijel *et al.*, 2006, 2009). However, few works in the state of Oaxaca have been made on the importance of wild edible mushrooms in modern medicine and their biotechnological potential through the production of forest bio inoculants. Therefore, the objective of this study was to identify edible wild mushroom species traded in two markets from Central Valleys in Oaxaca with medicinal, economic and biotechnological potential, as preamble of the use of a non-timber forest resource that can be incorporated into sustainable development of rural communities in Oaxaca.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

La región de Valles Centrales se encuentra en el centro del estado de Oaxaca, México entre los 17° 36' a 16° 36' latitud norte y 97° 15' a 96° 00' longitud oeste (Figura 1). En la región existen diversos tipos de vegetación como: bosque tropical caducifolio, matorral xerófilo, bosques de *Quercus*, bosques de *Pinus* y bosques de *Pinus-Quercus* (Torres, 2004).

En las montañas de región de Valles Centrales predominan: *Pinus douglasiana*, *P. herrerae*, *P. lawsoni*, *P. oaxacana*, *P. teocote*, *Quercus castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. lawsoni*, *Q. magnoliifolia*, *Q. rugosa* y *Alnus* spp. (Flores y Manzanero, 1999). La región de la Sierra Norte de donde provienen la mayoría de los hongos comestibles silvestres comercializados se localiza entre 17° 48' a 16° 54' latitud norte y 96° 36' a 95° 15' longitud oeste al norte de Valles Centrales en el estado de Oaxaca (Figura 1). La Sierra Norte de Oaxaca presenta bosque mesófilo de montaña, bosques caducifolios, bosque de *Pinus*, bosque de *Quercus* y bosque de *Pinus-Quercus* (Torres, 2004). Las especies de pinos presentes son: *Pinus oaxacana*, *P. ayacahuite*, *P. douglasiana*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*. Estas especies están acompañadas de otras como: *Quercus castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. elliptica*, *Q. glaucescens*, *Q. laurina*, *Q. magnoliifolia*, *Q. obtusata*, *Abies oaxacana*, *A. guatemalensis*, *A. hickeli* y *A. cupressulindleyi* (Flores y Manzanero, 1999).

### Compra de hongos

Se realizaron visitas a dos mercados de la región de los Valles Centrales de Oaxaca con la finalidad de conseguir y obtener información sobre los hongos comestibles comercializados en dicha región. Los mercados explorados fueron: i) la Central de Abastos en la ciudad de Oaxaca de Juárez; y ii) el mercado regional del Municipio de Tlacolula de Matamoros. Los hongos obtenidos en la Central de Abastos provenían del municipio de Santiago de Etla e Ixtlán de Juárez, mientras que los adquiridos en el mercado regional del municipio de Tlacolula de Matamoros provenían del municipio de San Antonio Cuayimoloyas (Figura 1). En total se realizaron 8 visitas en 2009 a 2010. Los mercados fueron visitados en temporada de lluvias en los meses de julio a septiembre.

## Material and method

### Study area

The Central Valley region is located in the center of the state of Oaxaca, Mexico between 17° 36' to 16° 36' north latitude and 97° 15' to 96° 00' west longitude (Figure 1). The region has various vegetation types: deciduous tropical forest, desert scrub, oak woodlands, pine forests and forests of *Pine-Quercus* (Torres, 2004).

In the mountains of Central Valleys predominate: *Pinus douglasiana*, *P. herrerae*, *P. lawsoni*, *P. oaxacana*, *P. teocote*, *Quercus castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. lawsoni*, *Q. magnoliifolia*, *Q. rugosa* and *Alnus* spp. (Flores and Manzanero, 1999). The Sierra Norte region is from where most of the marketed wild edible mushrooms and is located between 17° 48' the 16° 54' north latitude and 96° 36' to 95° 15' west longitude up north of Central Valleys in the state of Oaxaca (Figure 1). The Sierra Norte of Oaxaca presents cloud forest, deciduous forest, pine forest, forest of *Quercus* and *Pine-Quercus* forest (Torres, 2004). Pine species present are: *Pinus oaxacana*, *P. ayacahuite*, *P. douglasiana*, *P. hartwegii*, *P. leiophylla*, *P. Michoacan*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. pseudostrobus* and *P. teocote*. These species are accompanied by others such as *Quercus castanea*, *Q. crassifolia*, *Q. elliptica*, *Q. glaucescens*, *Q. laurina*, *Q. magnoliifolia*, *Q. obtusata*, *Abies oaxacana*, *A. guatemalensis*, *A. hickeli* and *A. cupressulindleyi* (Flores and Manzanero, 1999).

### Purchase of mushrooms

Visits were made to two markets in the region of Central Valleys of Oaxaca in order to obtain and learn about edible mushrooms sold in that region. The markets explored, were: i) the Central Supplies in the city of Oaxaca de Juárez; and ii) the regional market of the Municipality of Tlacolula de Matamoros. The mushrooms obtained from the Central Supplies came from the municipality of Santiago de Etla and Ixtlán de Juárez, while those acquired in the regional market of the municipality of Tlacolula de Matamoros came from the municipality of San Antonio Cuayimoloyas (Figure 1). In total there were eight visits in 2009-2010. The markets were visited during the rainy season in the months of July to September.

El mercado de la Central de Abastos se visitó en los días de tianguis (martes y viernes), mientras, que el mercado de Tlacolula se visitó los días de plaza (domingo). En los puestos donde se comercializaban los hongos comestibles, se realizaron encuestas a las personas que vendían los hongos. Se efectuaron preguntas relacionadas con: i) los nombres comunes de los hongos; ii) sus conocimientos fenológicos; iii) sus conocimientos ecológicos; iv) sus conocimientos económicos de los hongos comercializados; y v) usos de los hongos comestibles siguiendo los criterios de Ruan-Soto *et al.* (2004).

### Determinación taxonómica y de potencial de usos

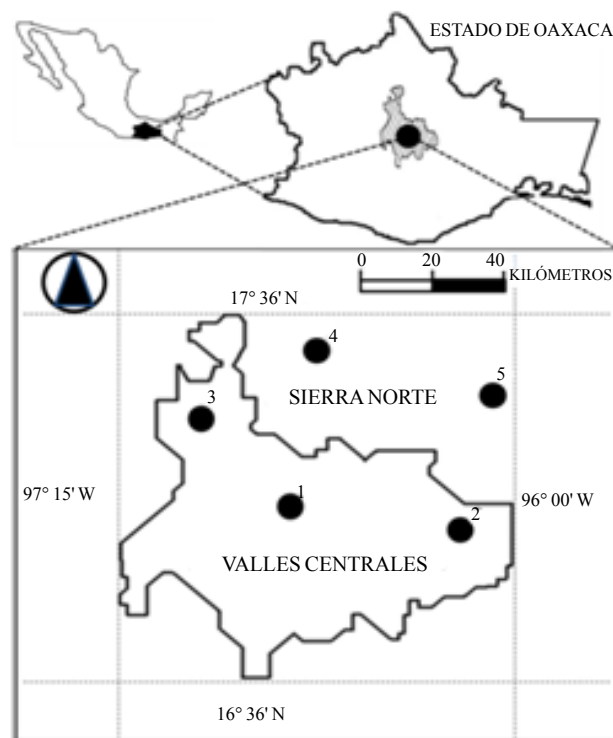
Se tomaron fotografías tanto en los mercados estudiados como a los especímenes frescos posterior a su compra. Asimismo, se tomaron datos de las características morfológicas de los especímenes adquiridos. Posterior a su caracterización macromorfológica, se efectuó una caracterización micromorfológica, siguiendo los métodos de Largent (1973) y Largent *et al.* (1977) para la identificación de los hongos.

Para la determinación del carácter ectomicorrízico de las especies, se siguieron los criterios considerados por Rinaldi *et al.* (2008) y para ubicar el potencial medicinal de las especies se basó en Guzmán (2008a); Yu-Cheng *et al.*, (2009) y Sasata (2011). Los especímenes herborizados se encuentran depositados como colecciones “voucher” en el área de Microbiología en el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Texcoco, Estado de México. Esto debido a que en dicha Institución se tiene una colección especializada de hongos silvestres comestibles de México.

## Resultados y discusión

### Diversidad y conocimiento tradicional

Se identificaron 20 especies de hongos comestibles silvestres, adscritos a 12 géneros: *Amanita*, *Cantharellus*, *Hydnum*, *Hygrophorus*, *Hypomyces*, *Laccaria*, *Lactarius*, *Lepista*, *Marasmius*, *Ramaria*, *Tricholoma* y *Tylopilus*. Dentro de ellos, el género con mayor número de especies fue *Ramaria* con 7 y posteriormente *Laccaria* y *Cantharellus* con 2 especies cada uno. Todas las especies que se señalan en el Cuadro 1, se registraron en la Central de Abastos de la ciudad de Oaxaca, excepto *Amanita caesarea* la cual fue registrada también del municipio de Tlacolula, Oaxaca.



**Figura 1.** Ubicación de la región de Valles Centrales de Oaxaca y las áreas mencionadas en el artículo: 1) municipio de Oaxaca de Juárez; 2) municipio de Tlacolula de Matamoros; 3) Santiago ETLA; 4) municipio de Ixtlán de Juárez; y 5) municipio de San Antonio Cuajimuloyas.

**Figure 1.** Location of Central Valleys in Oaxaca and the areas mentioned in the article: 1) municipality of Oaxaca de Juárez; 2) municipality of Tlacolula de Matamoros; 3) Santiago ETLA; 4) municipality of Ixtlán de Juárez; and 5) municipality of San Antonio Cuajimuloyas.

The Central of Supplies market was visited in the days of tianguis or street market (Tuesday and Friday), meanwhile the Tlacolula market was visited on market days (Sunday). In the stalls where the edible mushrooms are marketed, people who sold mushrooms were surveyed. Related questions were made: i) the common names of the mushroom; ii) phenological knowledge; iii) ecological knowledge; iv) their economic knowledge of mushrooms marketed; and v) use of edible mushrooms following criteria from Ruan-Soto *et al.* (2004).

### Taxonomic identification and potential uses

Photographs were taken both in the markets studied and to fresh specimens after purchase. Also, it was taken the morphological data of specimens acquired. After their

**Cuadro 1. Nombres comunes de hongos comestibles silvestres recolectados en dos de los mercados de Valles Centrales de Oaxaca y su uso potencial.****Table 1. Common names of wild edible mushrooms collected in two markets of Central Valleys of Oaxaca and its potential use.**

| Especie   | Nombre común        | UP         | GT   |
|---|---------------------|------------|------|
| <i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.                     | Hongo rojo          | C, B, E, M | ECM  |
| <i>Cantharellus cibarius</i> Fr.                          | Flor de calabaza    | C, B, E, M | ECM  |
| <i>Cantharellus tubaeformis</i> Fr.                       | Chimequito          | C, B, M    | ECM  |
| <i>Hydnum repandum</i> L.                                 | Espinitas, gusanito | C, E, M,   | ECM  |
| <i>Hygrophorus russula</i> (Schaeff.) Kauffman.           | Trompeta            | C          | ECM  |
| <i>Hypomyces lactifluorum</i> (Schwein.) Tul. & C. Tul.   | Cresta de gallina   | C, M       | P    |
| <i>Laccaria amethystina</i> (Huds.) Cooke.                | Hongo de pajarito   | C, B, M    | ECM  |
| <i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke.                    | Hongo de pajarito   | C, B, M    | ECM  |
| <i>Lactarius volemus</i> Fr.) Fr.                         | Hongo de leche      | C, B, M    | ECM  |
| <i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke.                        | Hongo moradito      | C, M       | S    |
| <i>Marasmius oreades</i> (Bolton) Fr.                     | Hongo de corralito  | C, M       | S    |
| <i>Ramaria</i> sp.  | Cacho de venado     | C          | ECM? |
| <i>Ramaria</i> (cf.) <i>araiospora</i> Marr & D.E. Stuntz | Hongo de venado     | C          | ECM  |
| <i>Ramaria</i> (cf.) <i>aurea</i> (Schaeff.) Quél.        | Cacho de venado     | C, M       | ECM? |
| <i>Ramaria fennica</i> (P. Karst.) Ricken                 | Hongo de arbolito   | C          | ECM? |
| <i>Ramaria</i> (cf.) <i>pallida</i> (Schaeff.) Ricken.    | Cacho de venado     | C          | ECM? |
| <i>Ramaria suecica</i> (Fr.) Donk.                        | Cacho de venado     | C          | ECM? |
| <i>Ramaria rubrievanescens</i> Marr & D.E. Stuntz.        | Hongo de coliflor   | C          | ECM? |
| <i>Tylopilus</i> (cf.) <i>felleus</i> (Bull.) P. Karst.   | Lengua de toro      | C, M       | ECM  |
| <i>Tricholoma magnivelare</i> (Peck) Redhead.             | Hongo blanco        | C, B, E, M | ECM  |

Uso potencial=UP; comestible=C; con potencial biotecnológico como bioinoculante=B; con potencial de exportación=E; medicinal=M; GT=grupo trófico ectomicorrizico=ECM; parásito=P; saprobio=S.

**Comercialización y nombres comunes**

Los hongos comestibles son vendidos junto con otros productos forestales no maderables, tales como plantas medicinales, plantas ornamentales y frutos nativos (Figura 2a y 2b). Los hongos comestibles silvestres son recolectados en los bosques principalmente por el padre de familia y por la madre acompañados de sus hijos por las mañanas con ayuda de canastas, mientras que la comercialización en mercados se realiza directamente por las personas recolectoras (en este caso las mujeres), lo que incrementa su ingreso económico (Figura 2-b).

Las especies que más frecuentemente se comercializan en el área de estudio fueron: *Amanita caesarea*, *Cantharellus cibarius*, *Hydnum repandum*, seguidas por *Tricholoma*

macromorphological characterization, a micromorphological characterization was performed following the methods of Largent (1973) and Largent *et al.* (1977) for identification of the mushrooms.

To determine the nature of ectomycorrhizal species followed the criteria considered by Rinaldi *et al.* (2008) and to locate the medicinal potential of the species was based on Guzmán (2008a); Yu-Cheng *et al.* (2009) and Sasata (2011). The herbarium specimens are deposited as "voucher" collections in the area of Microbiology in the Graduate College of Agricultural Science, Texcoco, Mexico State. This is because the mentioned institution has a specialized collection of edible wild mushrooms of Mexico.

*magnivelare*, *Lactarius volemus* y *Hypomyces lactiflorum*. *Amanita caesarea*, *Cantharellus cibarius* y *Tricholoma magnivelare* tienen potencial para ser comercializados en mercados internacionales (Figura 2c y 2d), dado que globalmente la comercialización anual de estos hongos comestibles ectomicorrízicos están evaluados en billones de dólares (Yun y Hall, 2004).

Los nombres comunes de los hongos comestibles se les atribuyen principalmente por la forma (parecido a estructuras de animales y plantas) y color, pero también por su textura y aspectos ecológicos (lugar donde crecen o animales que los consumen) (Cuadro 1). Las especies que reciben su nombre común relacionados con la forma son: *Marasmius oreades* el cual es conocido como “hongo corralito”, ya que crece formando una estructura similar a un corral; *Hydnum repandum* es conocido como “hongo de espinita” u “hongo de gusanito” las personas le asignan este nombre, porque su himenio está constituido por estructuras parecidas a espinas o gusanitos; *Cantharellus cibarius* es conocido por los comerciantes como flor de calabaza por su similitud con la flor de *Curcubita maxima*; *Tylopilus felleus* es denominado “lengua de toro”, porque es poroso y áspero en la parte inferior del sombrero.

Este hongo es apreciado por su sabor amargo y carnoso; *Hygrophorus russula* en forma común le llaman “trompeta” por su similitud a este instrumento musical; *Hypomyces lactiflorum* es nombrado “cresta de gallina” por su parecido a esta estructura en la especie de *Gallus gallus*; *Ramaria* spp. también llamado “hongo de arbolito” (forma parecida a un árbol), “cacho de venado” u “hongo de venado” (parecido a las astas de venado) y “hongo de coliflor” (parecido en la forma a una coliflor). Se menciona que no todas las especies de *Ramaria* son comestibles, refieren que las de sabor picoso no son consumidas.

Las especies que reciben su nombre común relacionados con el color son: *Amanita caesarea* es nombrado como “hongo rojo”. Las personas recolectoras identifican *A. caesarea* de color rojo con láminas amarillas, ya que algunos ejemplares pueden confundirse con *A. muscaria* que presenta las láminas color blancas; *Cantharellus tubaeformis* se conoce comúnmente como “chimequito” por, el color oscuro que presenta en el sombrero, según los comerciantes tiene una tonalidad sucia; *Lepista nuda* comúnmente llamado “hongo moradito” u “hongo de frijol”, porque presenta un color morado en las láminas; *Tricholoma magnivelare* es conocido como “hongo blanco” porque en campo se observa de color blanco.

## Results and discussion

### Diversity and traditional knowledge

20 species of edible wild mushrooms were identified, assigned to 12 genera: *Amanita*, *Cantharellus*, *Hydnum*, *Hygrophorus*, *Hypomyces*, *Laccaria*, *Lactarius*, *Lepista*, *Marasmius*, *Ramaria*, *Tricholoma*, and *Tylopilus*. Among them, the genus with the largest number of species was *Ramaria* with 7 and subsequently with *Laccaria* and *Cantharellus* with two species each. All species listed in Table 1, were recorded in the Central Supplies of Oaxaca city, except *Amanita Caesarea* which was recorded in the municipality of Tlacolula, Oaxaca.

### Commercialization and common names

Edible mushrooms are sold along with other non-timber forest products, such as medicinal plants, ornamentals and native fruits (Figure 2a and 2b). The edible wild mushrooms are harvested in forests mainly by the father of the family and mother accompanied by their children in the morning with the help of baskets, meanwhile the commercialization in markets is done directly by the collectors (in this case women), which increases their income (Figure 2-b).

The species most commonly sold in the study area were: *Amanita Caesarea*, *Cantharellus cibarius*, *Hydnum repandum*, followed by *Tricholoma magnivelare*, *Lactarius volemus* and *Hypomyces lactiflorum*. *Amanita Caesarea*, *Cantharellus cibarius* and *Tricholoma magnivelare* have potential to be commercialized in international markets (Figure 2c and 2d), given that the overall annual marketing of these edible ectomycorrhizal mushrooms are evaluated in billions of dollars (Yun and Hall, 2004).

Common names of edible mushrooms are attributed mainly by the shape (like structures of animals and plants) and color, but also because of its texture and ecological aspects (place where grow or animals that consume them) (Table 1). Species whose common name is associated with the form are: *Marasmius oreades* which is known as "corral mushroom" because it grows forming a structure similar to a corral; *Hydnum repandum* is known as "thorn mushroom" or "worm mushroom" people assigned this name because its hymenium consists of structures like thorns or worms; *Cantharellus cibarius* is known by traders as squash blossoms for their similarity to the flower of *Cucurbita*

Las especies que reciben su nombre común tomando en consideración aspectos ecología son: *Laccaria laccata* y *Laccaria amethystina* los cuales son nombrados como “hongo de pajarito”, ya que son consumidos por los pájaros; *Tricholoma magnivelare* es conocido como “hongo de venados”, porque es consumido por los venados, se menciona que éste hongo crece en el estiércol de venado. En el caso de *Cantharellus cibarius* los recolectores reconocen dos variedades, una color amarillo fuerte que proviene se tierra caliente y la otra de color obscuro (casi café) que es de clima frío y se encuentran a orilla de los ríos. La especie que reciben su nombre común por su textura es *Lactarius volemus* y es como “hongo de leche”, porque al cortar las laminas del sombrero secreta un exudado lechoso (parecido a la leche).

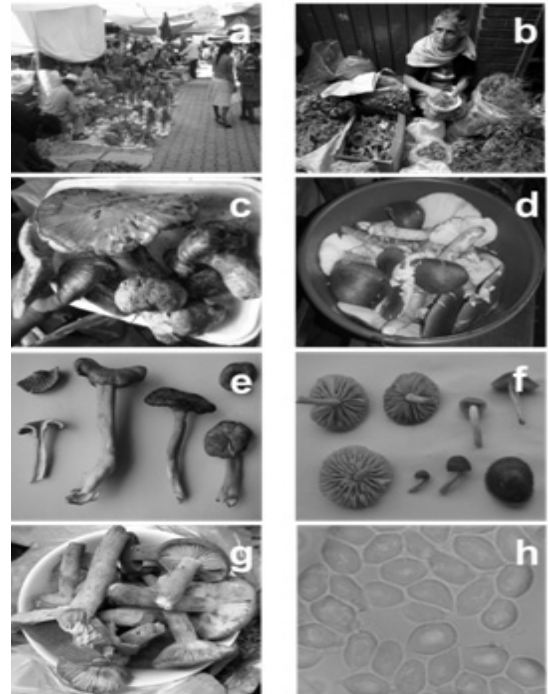
### Propiedades nutrimentales

Nutritionalmente, los hongos comestibles silvestres poseen bajos contenidos de grasas, sin embargo, presentan altos contenidos de proteínas, carbohidratos, minerales y energía (Cuadro 2). Adicionalmente tienen gran cantidad de agua (70 a 90%), como se ha reportado para *Lactarius volemus*, *Cantharellus cibarius* y *Hydnum repandum* (Colak *et al.*, 2009). Los hongos comestibles silvestres proporcionan una gran variedad de minerales (Ca, K, P), elementos traza (Cu, Zn, Fe). Además son fuente de vitaminas, tales como: vitamina C (L-ácido ascórbico), B1 (tiamina), B2 (riboflavina), niacina y ácido fólico con valores de 4.79, 0.30, 0.12, 5.94 y 0.06 (valores reportados en mg/100g de peso seco), respectivamente en el caso de *Cantharellus cibarius* (Caglarlrmak *et al.*, 2002).

La proteína cruda en los hongos comestibles silvestres identificados en el presente trabajo es alta y se encuentra dentro de un intervalo de 20% en *Tricholoma magnivelare* a 69% en *Cantharellus cibarius*, por ejemplo, su contenido es generalmente más alto que el de alimentos como maíz y frijol (Cuadro 2). Las especies de hongos comestibles identificados presentan cantidades de aminoácidos (peso seco) como: ácido glutámico (5.49 mg g<sup>-1</sup>), alanina (2.36 mg g<sup>-1</sup>), aspartato (2.31 mg g<sup>-1</sup>) y leucina (1.87 mg g<sup>-1</sup>) encontrados en *Tricholoma magnivelare* (Liu *et al.*, 2010).

Las cantidades de carbohidratos reportados para las especies estudiadas en nuestro caso se encontraron en un intervalo 13% en *Laccaria laccata* a 64% en *Lactarius volemus* (Cuadro 2), éstos valores tienen una variación muy amplia entre especies, posiblemente por las condiciones edáficas y climáticas, así como la propia genética de los hongos

*maxima*; *Tylopilus felleus* is called "bull tongue or lengua de toro" because it is porous and rough at the bottom of the cap.



**Figura 2. Hongos comestibles de Oaxaca. a) vista general del mercado de Tlacolula; b) vendedora de hongos comestibles del mercado de la Central de Abastos; c) *Tricholoma magnivelare*: hongo objeto de exportación; d) *Amanita caesarea*: hongo de mayor comercialización en mercados regionales; e) *Cantharellus tubaeformis*: hongo con potencial ectomicorrízico; f) *Marasmius oreades*: hongo medicinal con propiedades antitumorales; g) *Lactarius volemus*: hongo comestible poco reconocido por los consumidores; y h) esporas de *Cantharellus tubaeformis*.**

**Figure 2. Edible mushrooms of Oaxaca. a) overview of the Tlacolula market; b) seller of edible mushrooms from the Central Supplies Market; c) *Tricholoma magnivelare*: mushroom for export; d) *Amanita Caesarea*: mushroom most commonly traded in regional markets; e) *Cantharellus tubaeformis*: mushroom with ectomycorrhizal potential; f) *Marasmius oreades*: medicinal mushroom with antitumor properties; g) *Lactarius volemus*: edible mushroom unrecognized by consumers; and h) spores of *Cantharellus tubaeformis*.**

This mushroom is prized for its bitter and meaty taste; *Hygrophorus russula* is called "trump" for its similarity to the musical instrument; *Hypomyces lactifluorum* is

(Colak *et al.*, 2009; Heleno *et al.*, 2009). Los carbohidratos encontrados en *Cantharellus cibarius* y *Marasmius oreades* son principalmente manitol (8.33 g/100 g) y trehalosa (10.49 g/100 g), respectivamente (Barros *et al.*, 2008).

named "chicken crest" for its resemblance to this structure in the species of *Gallus gallus*; *Ramaria* spp., also called "tree mushroom" (shaped like a tree), "deer horn" or "deer mushroom" (like the antlers of deer) and "cauliflower

**Cuadro 2. Composición macronutricional, reportada por distintos autores, de especies de hongos silvestres comestibles silvestres comercializados en mercados de Valles Centrales de Oaxaca comparados con maíz y cacahuete.**

**Table 2. Nutritional composition, reported by different authors, edible wild mushrooms species commercialized in markets from Central Valleys of Oaxaca compared with maize and peanuts.**

| Especie                       | Proteína                           | Carbohidratos | Grasas | Cenizas | Referencia                   |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------|--------|---------|------------------------------|
|                               | g 100 g <sup>-1</sup> de peso seco |               |        |         |                              |
| Hongos silvestres             |                                    |               |        |         |                              |
| <i>Amanita caesarea</i>       | 34.77                              | 55.63         | 3.50   | 6.05    | Ouzouni <i>et al.</i> (2009) |
| <i>Cantharellus cibarius</i>  | 69.14                              | 14.25         | 4.49   | 12.12   | Barros <i>et al.</i> (2008)  |
| <i>Hydnum repandum</i>        | 34.14                              | 55.00         | 8.80   | 11.38   | Colak <i>et al.</i> (2009)   |
| <i>Hygrophorus russula</i>    | 32.47                              | 53.33         | 6.00   | 8.18    | Ouzouni <i>et al.</i> (2009) |
| <i>Laccaria laccata</i>       | 62.78                              | 12.77         | 3.76   | 20.69   | Heleno <i>et al.</i> (2009)  |
| <i>Lepista nuda</i>           | 34.37                              | 56.33         | 3.23   | 6.03    | Ouzouni <i>et al.</i> (2009) |
| <i>Lactarius volemus</i>      | 25.21                              | 64.00         | 3.98   | 2.91    | Colak <i>et al.</i> (2009)   |
| <i>Marasmius oreades</i>      | 52.22                              | 29.41         | 2.99   | 11.39   | Barros <i>et al.</i> (2008)  |
| <i>Tricholoma magnivelare</i> | 20.30                              | 36.60         | 5.00   | 8.89    | Liu <i>et al.</i> (2010)     |
| Cultivos                      |                                    |               |        |         |                              |
| Maíz                          | 13.34                              | 71.39         | 13.13  | 2.14    | Mosha <i>et al.</i> (2000)   |
| Cacahuete                     | 21.4                               | 68.3          | 2.9    | 7.5     | Mosha y Gaga (1999)          |

Los hongos comestibles proporcionan bajas cantidades de grasas, las concentraciones de grasas se encuentran dentro de un intervalo de 3% en *Marasmius oreades* a 9% en *Hydnum repandum* (Cuadro 2). Los niveles de ácidos grasos insaturados (85%) son más altos que los ácidos grasos saturados (15%), estos valores ha sido reportados para *Cantharellus cibarius* y *Marasmius oreades* (Barros *et al.*, 2008). El contenido de cenizas presentes en hongos comestibles, se encuentra en un intervalo de 3% en *Lactarius volemus* a 21% en *Laccaria laccata* (Cuadro 2).

También se ha evaluado el nivel de energía en hongos comestibles como: *Cantharellus cibarius*, *Marasmius oreades*, *Lactarius volemus* y *Hydnum repandum* con valores (Kcal100 g<sup>-1</sup>) de 375.67, 379.74, 393.06, 434.20, respectivamente (Barros *et al.*, 2008; Colak *et al.*, 2009). Las especies de hongos comercializados en mercados de Valles Centrales de Oaxaca, tienen un gran potencial nutricional como recurso alimenticio. Esto sugiere que se fomente aun más el consumo de hongos comestibles en la dieta diaria de los habitantes en la ciudad de Oaxaca.

mushroom" (similar in shape to a cauliflower). It is mentioned that not all *Ramaria* species are edible; referring that the ones with spicy taste are not consumed.

Species whose common name is associated with color are: *Amanita Caesarea* is named as "red mushroom". Collectors identify *A. caesarea* red with yellow gills, as some specimens may be confused with *A. muscaria* that presents white gills; *Cantharellus tubaeformis* commonly known as "chimequito" by the dark color that presents in the cap, according to merchants it has a dirty tonality; *Lepista nuda* commonly called "purple mushroom" or "bean mushroom" because it presents purple gills; *Tricholoma magnivelare* is known as "white mushroom" because in the field is observed white.

Species whose common name takes into consideration ecological aspects are: *Laccaria laccata* and *Laccaria amethystina* which are named as "bird mushroom", as they are consumed by birds; *Tricholoma magnivelare* is known as "deer mushroom" because is consumed by deer, it is said



## Uso medicinal

Por miles de años los hongos comestibles han sido relacionados con la medicina tradicional y se han utilizado como tónicos en los países orientales (Yu-Cheng *et al.*, 2009). En México, los hongos comestibles medicinales se han utilizado desde épocas prehispánicas para curar enfermedades relacionadas principalmente con aspectos rituales y espirituales. En 1952 se descubrió el uso de hongos alucinógenos para la realización de ritos ceremoniales realizados por la chamana María Sabina en Huatla de Jiménez, Oaxaca (Guzmán, 2008b).

Además, se han utilizado 70 especies de hongos en prácticas de medicina tradicional para el tratamiento de 40 tipos de enfermedades en humanos (Guzmán, 2008a). Actualmente, ha existido un creciente interés en la farmacología moderna para la extracción y estudio de compuestos químicos (metabolitos activos secundarios) extraídos de hongos comestibles silvestres con propiedades medicinales (Barros *et al.*, 2008; Yu-Cheng *et al.*, 2009).

Algunas de las especies de hongos comestibles silvestres identificadas en el presente trabajo se han utilizado en la medicina tradicional como: antiinflamatorios, para mejoramiento de la vista, tratamiento respiratorio, infecciones gastrointestinales, dolores de cabeza, tratamiento de lumbalgia y esquelalgia, entumecimiento del miembro, tónico del estómago, tratamiento de bronquitis, tratamiento de la hepatopatía (Cuadro 3).

De las especies de hongos comestibles estudiados se han encontrado que contienen compuestos antioxidantes capaces de eliminar radicales libres (Cuadro 3). La capacidad antioxidante ( $EC_{50}$ ) se ha evaluado mediante la capacidad de barrido de radicales de DPPH (difenilpicrylhidrazyl) en hongos como: *Marasmius oreades* que se ha registrado altas propiedades antioxidante ( $EC_{50} = 2.78 \text{ mg mL}^{-1}$ ), mientras que en *Cantharellus cibarius* dicha propiedad es menor ( $EC_{50} = 7.14 \text{ mg mL}^{-1}$ ) (Queiros *et al.*, 2009). Además, se ha determinado un alto contenido de tocoferol (un poderoso antioxidante) en especies como *Hydnum repandum* y *Lepista nuda* (Murcia *et al.*, 2002; Elmastas *et al.*, 2007).

En el Cuadro 3 se observan algunas especies de hongos comestibles identificados con propiedades antitumorales que contienen compuesto capaces de eliminar células cancerígenas, tales como: i) el diepóxido citotóxico llamado repandiol en *Hydnum repandum* capaz de combatir varios tipos de células tumorales, especialmente células del colon

that this mushrooms grow in manure deer. For *Cantharellus cibarius* collectors recognize two varieties, a bright yellow that comes from hot soil and the other dark colored (almost brown) that is from cold weather and are located on the banks of rivers. The species that get their common name from its texture is *Lactarius volemus* and is as "mushroom of milk", because when cutting the gills from the cap secretes a milky exudate (like milk).

## Nutritional properties

Nutritionally, edible wild mushrooms have low fat content, however, with high content of protein, carbohydrates, minerals and energy (Table 2). Additionally have plenty of water (70 to 90%), as has been reported for *Lactarius volemus*, *Cantharellus cibarius* and *Hydnum repandum* (Colak *et al.*, 2009). The edible wild mushrooms provide a wide variety of minerals (Ca, K, P) trace elements (Cu, Zn, Fe). They are also a source of vitamins, such as vitamin C (L-ascorbic acid), B1 (thiamine), B2 (riboflavin), niacin and folic acid with values of 4.79, 0.30, 0.12, 5.94 and 0.06 (values reported in mg/100g dry weight), respectively in the case of *Cantharellus cibarius* (Caglarlrmak *et al.*, 2002).

Crude protein in edible wild mushroom identified in this study is high and is within a range of 20% in *Tricholoma magnivelare* to 69% in *Cantharellus cibarius*, for example, its content is generally higher than that of foods such as maize and beans (Table 2). The identified edible mushrooms species have an amount of aminoacids (dry weight) like: glutamic acid ( $5.49 \text{ mg g}^{-1}$ ), alanine ( $2.36 \text{ mg g}^{-1}$ ), aspartate ( $2.31 \text{ mg g}^{-1}$ ) and leucine ( $1.87 \text{ mg g}^{-1}$ ) found in *Tricholoma magnivelare* (Liu *et al.*, 2010).

Carbohydrate amounts reported for the studied species, in our case were found in a range of 13% in *Laccaria laccata* to 64% in *Lactarius volemus* (Table 2), these values have a wide variation between species, possibly because the soil and climate conditions and the genetics of the mushrooms (Colak *et al.*, 2009; Heleno *et al.*, 2009). Carbohydrates found in *Cantharellus cibarius* and *Marasmius oreades* are mainly mannitol ( $8.33 \text{ g/100 g}$ ) and trehalose ( $10.49 \text{ g/100 g}$ ), respectively (Barros *et al.*, 2008).

Edible mushrooms provide low amounts of fat, fat levels are within a range of 3% in *Marasmius oreades* to 9% in *Hydnum repandum* (Table 2). The levels of unsaturated fatty acids (85%) are higher than saturated fatty acids (15%) these values have been reported for *Cantharellus cibarius* and

adenocarcima (Takahashi *et al.*, 1992); ii) polisacáridos en *Tricholoma matsutake* con actividad antitumoral contra el sarcoma 180 en ratones inhibiéndolo 91.8% (Ikekawa *et al.*, 1969); iii) el péptido-glucano extraído de micelio *Tricholoma matsutake* con actividad en contra de fibrosarcoma singénico de ratones (Ebina *et al.*, 2002); y iv) el D-glucano de *Tylopilus felleus* inhibe el crecimiento de células cancerígenas de sarcoma 180 Ehrlich en 100% (Defaye *et al.*, 1988).

*Marasmius oreades* (Barros *et al.*, 2008). The ash content in edible mushrooms is in a range of 3% in *Lactarius volemus* to 21% in *Laccaria laccata* (Table 2).

Also was evaluated the energy level in edible mushrooms such as: *Cantharellus cibarius*, *Marasmius oreades*, *Lactarius volemus* and *Hydnum repandum* with values (Kcal 100 g<sup>-1</sup>) of 375.67, 379.74, 393.06, 434.20, respectively

**Cuadro 3. Hongos comestibles silvestres comercializados en mercados de Valles Centrales de Oaxaca con potencial medicinal.**  
**Table 3. Edible wild mushrooms commercialized in markets of Central Valleys of Oaxaca with medicinal potential.**

| Especie                         | Propiedades medicinales   | Referencia   |
|---------------------------------|---|--|
| <i>Amanita caesarea</i>         | Antioxidante, antibacteriano, antiinflamatorio  | Ramírez-Anguiano <i>et al.</i> (2007); Yamac y Bilgili (2006); Guzmán (2008a)                                      |
| <i>Cantharellus cibarius</i>    | Antioxidante, antibacteriano, mejora de la vista, infecciones gastrointestinales, antitumoral | Queiros <i>et al.</i> (2009); Barros <i>et al.</i> (2008); Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009)                           |
| <i>Cantharellus tubaeformis</i> | Antibacteriano  | Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009)  |
| <i>Hydnum repandum</i>          | Antioxidante, antibacteriano, antitumoral<br>Dolor de cabeza                                  | Murcia <i>et al.</i> (2002); Yamac y Bilgili (2006); Takahashi <i>et al.</i> (1992)                                |
| <i>Hypomyces lactifluorum</i>   | Antitumoral   | Guzmán (2008a)   |
| <i>Laccaria amethystina</i>     | Antitumoral   | Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009)  |
| <i>Laccaria laccata</i>         | Antitumoral   | Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009)  |
| <i>Lactarius volemus</i>        | Antioxidante, antibacteriano, antitumoral   | Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009)  |
| <i>Lepista nuda</i>             | Antioxidante, tratamiento de lumbalgia y esquelalgia, antitumoral                             | (Elmastas <i>et al.</i> (2007); Yamac y Bilgili (2006) Queiros <i>et al.</i> (2009); Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009) |
| <i>Marasmius oreades</i>        | Antitumoral<br>Tonificante del estómago, tratamiento de bronquitis, antitumoral               | Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009)<br>Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009); Ebina <i>et al.</i> (2002)                         |
| <i>Ramaria aurea</i>            | Antiinflamatorio, tratamiento de la   |  |
| <i>Tricholoma magnivelare</i>   | hepatopatía, antitumoral  | Yu-Cheng <i>et al.</i> (2009); Defaye <i>et al.</i> (1988)   |
| <i>Tylopilus felleus</i>        |   |  |

Otros hongos comestibles silvestres presentan propiedades antibacterianas, ya que inhiben el crecimiento de bacterias patógenas de humanos como: a) *Amanita caesarea* contra *Bacillus subtilis*; b) *Lepista nuda* contra *Salmonella typhimurium* y *Staphylococcus aureus*; c) *Hydnum repandum* contra *Bacillus subtilis*, *Enterobacter aerogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis*; y d) *Cantharellus cibarius* contra *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus* (Cuadro 3).

Esto sugiere que los metabolitos secundarios de algunos hongos comestibles silvestres son una fuente potencial de nuevos compuestos antimicrobianos que pueden ser

(Barros *et al.*, 2008; Colak *et al.*, 2009). Mushroom species commercialized in markets of Central Valleys of Oaxaca, have a great nutritional potential as a food source. This suggests promoting even more the consumption of edible mushrooms in the daily diet of the inhabitants in the city of Oaxaca.

#### Medicinal use

For thousands of years, edible mushrooms have been related to traditional medicine and have been used as tonics in Eastern countries (Yu-Cheng *et al.*, 2009). In Mexico, medicinal edible mushrooms have been used since pre-

utilizados como antibióticos comerciales. *Ramaria* spp. se ha utilizado tradicionalmente contra el dolor de cabeza, problemas estomacales, inflamación muscular y la debilidad (Guzmán, 2008a). Dentro de este género se encuentra *Ramaria aurea* que contiene propiedades antitumorales. Debido a que *Ramaria* spp. tiene una gran diversidad de especies de hongos comestibles en el estado de Oaxaca, es necesario encaminar investigaciones en el descubrimiento de metabolitos secundarios que ayuden a combatir enfermedades en humanos.

### Importancia ecológica y potencial biotecnológico

Los hongos comestibles silvestres identificados en mercados de Valles Centrales de Oaxaca, se pueden clasificar desde el punto de vista ecológico en tres tipos: 1) ectomicorrízicos: aquellos que establecen una relación simbiótica mutualista con las raíces de los árboles forestales intercambiando nutrimentos en ambas direcciones; 2) saprobios: aquellos que descomponen la materia orgánica, tales como la madera y la hojarasca, reciclando nutrimentos en los bosques; y 3) micoparásitos: aquellos que atacan a otros hongos.

Los hongos ectomicorrízicos están formados por estructuras básicas conocidas como: i) la red de Hartig; ii) el manto; iii) el micelio extramatricial y iv) los rizomorfos. Estas estructuras son conjunto de hifas que interconectan al hongo ectomicorrízico con la células corticales y la corteza de la raíz en forma de redes, que ayudan al intercambio de nutrimentos en ambas direcciones (Pérez-Moreno *et al.*, 2010). El entendimiento ecológico y fisiológico de algunos hongos comestibles silvestres es muy importante para la conservación de los ecosistemas forestales, ya que son el sostén y el funcionamiento de los bosques (Pilz y Molina, 2002).

Para inducir la formación de micorrizas en árboles forestales, se utilizan tres tipos inoculantes: esporal, miceliar líquido y miceliar sólido, las esporas se pueden extraer de los píleos o de los esporomas en su totalidad. Mientras, que el micelio se produce en medio líquido o cultivos estériles mezclándose con diversos sustratos inertes como: turba-vermiculita, lignato polimerizado y arcilla (Pérez-Moreno *et al.*, 2010). Algunas de las especies de hongos ectomicorrízicos identificados en mercados de Oaxaca, se han estudiado desde el punto de vista biotecnológico. En México se han utilizado esporomas deshidratados y molidos de especies como: *Amanita caesarea* para *Pinus patula*; *Laccaria laccata* para *P. greegii*, *P. patula*, *P. pseudostrobus* (Cuadro 4). Mientras que en condiciones naturales se ha registrado

Hispanic times to cure diseases mainly related with rituals and spiritual aspects. In 1952 was discovered the use of hallucinogenic mushrooms to perform ceremonial rites performed by the shaman María Sabina in Huatla de Jiménez, Oaxaca (Guzmán, 2008b).

In addition, 70 species of mushrooms have been used in traditional medicine to treat 40 kinds of diseases in humans (Guzmán, 2008a). Currently, there has been a growing interest in modern pharmacology for the extraction and study of chemical compounds (secondary active metabolites) extracted from edible wild mushrooms with medicinal properties (Barros *et al.*, 2008; Yu-Cheng *et al.*, 2009).

Some species of edible wild mushrooms identified in this study have been used in traditional medicine as: anti-inflammatory, to improve vision, respiratory therapy, gastrointestinal infections, headaches, back pain treatment and legs pain, limb numbness, invigorates the stomach, bronchitis treatment, treatment for liver disease (Table 3).

Of the edible mushroom species studied, has been found to contain antioxidant compounds capable to eliminate free radicals (Table 3). The antioxidant capacity ( $EC_{50}$ ) was assessed using the radical scavenging ability of DPPH (diphenylpicrylhydrazyl) in mushrooms as: *Marasmius oreades* that has registered high antioxidant properties ( $EC_{50} = 2.78 \text{ mg mL}^{-1}$ ), while in *Cantharellus cibarius* this property is lower ( $EC_{50} = 7.14 \text{ mg mL}^{-1}$ ) (Queiros *et al.*, 2009). Furthermore, it has been determined a high content of tocopherol (a powerful antioxidant) in species like *Hydnum repandum* and *Lepista nuda* (Murcia *et al.*, 2002; Elmastas *et al.*, 2007).

Table 3 shows some edible mushroom species identified with antitumor properties containing compounds capable of eliminating cancer cells, such as: i) the cytotoxic diepoxide called repandum in *Hydnum repandiol* capable of combating various types of tumor cells, especially cells of the colon adenocarcinoma (Takahashi *et al.*, 1992); ii) polysaccharide in *Tricholoma matsutake* with antitumor activity against sarcoma 180, in mice inhibiting it 91.8% (Ikekawa *et al.*, 1969); iii) the peptide-glucan extracted from *Tricholoma matsutake* mycelium with activity against syngeneic fibrosarcoma of mice (Ebina *et al.*, 2002); and iv) the D-glucan of *Tylopilus felleus* inhibits cancer cell growth of sarcoma 180 Ehrlich in 100% (Defaye *et al.*, 1988).

que los árboles forestales están relacionados con algunas especies hongos ectomicorrízicos colectados en mercados de Valles Centrales de Oaxaca (Cuadro 4).

Other edible wild mushrooms have antibacterial properties, as they inhibit the growth of pathogenic bacteria of humans as a) *Amanita caesarea* against *Bacillus subtilis*; b) *Lepista*

**Cuadro 4. Hongos comestibles ectomicorrízicos comercializados en mercados de Valles Centrales de Oaxaca con potencial biotecnológico en la producción de inoculantes para especies forestales y algunos hospederos reportados en México.**  
**Table 4. Ectomycorrhizal edible mushrooms commercialized in markets of Central Valleys, Oaxaca with biotechnological potential in the production of inoculants for forest species and some hosts reported in Mexico.**

| Especie de hongo                                  | Árboles hospederos en México   | Referencias  |
|---|--|--|
| <i>Amanita caesarea</i>                           | <i>Pinus patula</i> , <i>P. pringlei</i> , <i>Quercus obtusata</i> , <i>Q. rugosa</i> y <i>Q. urbanii</i>  | Carrera-Nieva y López-Ríos (2004); Mendoza-Díaz <i>et al.</i> (2006); Nava y Valenzuela (1997)   |
| <i>Cantharellus cibarius</i>                      | <i>Pinus hartwegii</i> , <i>P. pringlei</i> , <i>Q. affinis</i> , <i>Q. obtusata</i> y <i>Q. rugosa</i> , <i>Q. urbanii</i> y <i>Q. magnolifolia</i>   | Villarruel y Cifuentes (2007); Mendoza-Díaz <i>et al.</i> (2006); Nava y Valenzuela (1997)   |
| <i>Cantharellus tubaeformis</i>                   | <i>Pinus pringlei</i> , <i>Q. urbanii</i> y <i>Q. magnolifolia</i><br><i>Pinus pringlei</i> y <i>Q. urbanii</i>  | Nava y Valenzuela (1997)   |
| <i>Hydnum repandum</i><br><i>Laccaria laccata</i> | <i>Pinus greggii</i> , <i>P. patula</i> , <i>P. culminicola</i> , <i>P. pringlei</i> , <i>P. pseudostrobilus</i> , <i>Q. urbanii</i> y <i>Abies religiosa</i><br><i>Quercus</i> spp., <i>Q. obtusata</i> y <i>Abies</i> spp. | Nava y Valenzuela (1997)<br>Carrera-Nieva y López-Ríos (2004); Garza <i>et al.</i> (2002); Carrasco-Hernández <i>et al.</i> (2011); Nava y Valenzuela (1997) |
| <i>Laccaria amethystina</i>                       | <i>Pinus culminicola</i> , <i>P. pringlei</i> , <i>Q. urbanii</i> y <i>Q. magnolifolia</i>   | Villarruel y Cifuentes (2007); Mendoza-Díaz <i>et al.</i> (2006)   |
| <i>Lactarius volemus</i>                          | <i>Pinus teocote</i> , <i>P. douglasiana</i> , <i>P. patula</i> , <i>P. pringlei</i> , <i>Quercus crassifolia</i> , <i>Q. laurina</i> , <i>Q. rugosa</i> , <i>Q. consatti</i> , y <i>Q. urbanii</i>                          | Garza <i>et al.</i> (2002); Nava y Valenzuela (1997)<br>Zamora-Martínez y Pascual-Pola (2004); Nava y Valenzuela (1997)                                      |
| <i>Tricholoma magnivelare</i>                     |  |  |

En otras partes del mundo se han estudiado algunas especies de hongos comestibles ectomicorrízicos identificados en mercados de Oaxaca, donde los esporomas frescos molidos de *Lactarius volemus* se han aplicado exitosamente en soluciones en las raíces de *Pinus kesiya* (Liu *et al.*, 2009). Mientras que en condiciones *in vitro* se ha propagado el micelio de hongos ectomicorrízicos como: *Cantharellus cibarius* para *P. sylvestris* (Danell, 1994); *Laccaria amethystina* para *Q. serrata* y *Q. glauca* (Tateishi *et al.*, 2003); *Laccaria laccata* para *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* y *Pseudotsuga menziesii* (Pera *et al.*, 1998).

Por lo tanto, las especies con potencial biotecnológico en la aplicación de inoculantes ectomicorrízicos en especies forestales son *Amanita caesarea*, *Cantharellus cibarius*, *Laccaria laccata*, *Laccaria amethystina*, *Lactarius volemus* y *Tricholoma magnivelare*, debido a que: i) se han registrado que forman simbiosis con plantas forestales en condiciones

*nuda* against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella typhimurium*; c) *Hydnum repandum* against *Bacillus subtilis*, *Enterobacter aerogenes*, *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis*; and d) *Cantharellus cibarius* against *Staphylococcus aureus* and *Bacillus subtilis* (Table 3).

This suggests that secondary metabolites of some edible wild mushrooms are a potential source of new antimicrobial compounds that can be used as commercial antibiotics. *Ramaria* spp., has traditionally been used against headaches, stomach problems, muscle inflammation and weakness (Guzmán, 2008a). Within this genus is *Ramaria aurea* containing antitumor properties. Because *Ramaria* spp., has a great diversity of edible mushrooms species in the state of Oaxaca, is necessary lead research into discovering secondary metabolites that help fight diseases in humans.

naturales; ii) se encuentran en grandes cantidades en los mercados donde se comercializan; y iv) se tiene registros de la formación de micorrizas en plantas forestales.

## Conclusiones

Los hongos comestibles silvestres comercializados en mercados de Valles Centrales de Oaxaca poseen un potencial económico, porque son comercializados en mercados locales y regionales, además pueden ser comercializados en mercados internacionales. Los hongos comestibles estudiados proporcionan nutrimentos esenciales, así como, vitaminas y minerales para la dieta alimenticia de los seres humanos. Además, tienen un potencial medicinal en el uso terapéutico de diversas enfermedades humanas. Las especies recolectadas tienen un potencial biotecnológico en el uso de bioinoculantes de plantas forestales, porque se encuentran en grandes cantidades en los bosques de las comunidades rurales y se ha demostrado su utilización en México y otros países. Por lo tanto, los hongos comestibles silvestres recolectados en mercados de Oaxaca son un recurso forestal no maderable que puede ser utilizado íntegramente en modelos de desarrollo sustentable en las comunidades rurales forestales del estado de Oaxaca.

## Literatura citada

- Barros, L.; Cruz, T.; Baptista, P.; Estevinho, L. M. and Ferreira, I. C. F. R. 2008. Wild and commercial mushrooms as source of nutrients and nutraceuticals. *Food. Chem. Tox.* 46:2742-2747.
- Boa, E. 2004. Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población, No. 17. FAO, Roma. 161 p.
- Caglarlrmak, N.; Unal, K. and Otles, S. 2002. Nutritional value of edible wild mushrooms collected from the black sea region of Turkey. *Micol. Apl. Int.* 14:1-5.
- Carrasco-Hernández, V.; Pérez-Moreno, J.; Espinosa-Hernández, V.; Almaraz-Suárez, J. J.; Quintero-Lizaola, R. y Torres-Aquino, M. 2011. Contenido de nutrientes e inoculación con hongos ectomicorrízicos comestibles en dos pinos neotropicales. *Revista Chilena de Historia Natural* 84:83-96.

## Ecological importance and biotechnological potential

The edible wild mushrooms identified in markets of Central Valleys of Oaxaca, can be classified from the ecological point of view into three types: 1) ectomycorrhizal: those that establish a mutualistic symbiotic relationship with the roots of forest trees exchanging nutrients in both directions; 2) saprobes: those that break down organic matter, such as wood and leaves, recycling nutrients in forests, and; 3) mycoparasitism: those who attack other fungi.

Ectomycorrhizal mushrooms are formed by basic structures known as: i) the Hartig net; ii) the mantle; iii) the extramatrical mycelium and; iv) rhizomorphs. These structures are group of hyphae interconnected to ectomycorrhizal fungus with cortical cells and root bark as networks, which help the exchange of nutrients in both directions (Pérez-Moreno *et al.*, 2010). The ecological and physiological understanding of some edible wild mushrooms is very important for the conservation of forest ecosystems, since are sustain and functioning of the forest (Pilz and Molina, 2002).

To induce formation of mycorrhiza in forest trees, three types of inoculants are used: spore, liquid mycelium and solid mycelium, spores can be extracted from the pileus or sporome in its entirety. Meanwhile, the mycelium is produced in liquid or sterile cultures mixing with various inert substrates such as: peat-vermiculite, polymerized lignate and clay (Pérez-Moreno *et al.*, 2010). Some species of ectomycorrhizal mushrooms identified in markets of Oaxaca, have been studied from the viewpoint of biotechnology. Mexico has used dried and milled sporomes species such as *Amanita Caesarea* for *Pine patula*; *Laccaria laccata* for *P. greegii*, *P. patula*, *P. pseudostrobis* (Table 4). While, under natural conditions has been registered that forest tree are related to ectomycorrhizal fungi species collected in markets of Central Valleys, Oaxaca (Table 4).

In other parts of the world have been studied some ectomycorrhizal edible mushroom identified in markets of Oaxaca, where fresh milled sporomes of *Lactarius volemus* have been successfully applied in solutions on roots of *Pine kesiya* (Liu *et al.*, 2009). While *in vitro* conditions have been propagated the ectomycorrhizal mycelium such as: *Cantharellus cibarius* for *P. sylvestris* (Danell, 1994); *Laccaria amethystina* for *Q. serrata* and *Q. glauca* (Tateishi *et al.*, 2003); *Laccaria laccata* for *Pine pinaster*; *Pinus radiata* and *Pseudotsuga menziesii* (Pera *et al.*, 1998).

- Carrera-Nieva, A. y López-Ríos, G. P. 2004. Manejo y evaluación de ectomicorrizas en especies forestales. *Revista Chapingo: Serie Forestales y del ambiente*. 10:93-98.
- Colak, A.; Faiz, Ö. and Sesli, E. 2009. Nutritional composition of some wild edible mushrooms. *Turk. J. Biochem.* 34:25-31.
- Danell, E. 1994. Formation and growth of the ectomycorrhiza of *Cantharellus cibarius*. *Mycorrhiza* 5:89-97.
- Defaye, J.; Kohlmunzer, S.; Sodzawiczny, K. and Wong, E. 1988. Structure of an antitumor, water-soluble D-glucan from the carpophores of *Tylopilus felleus*. *Carbohydrate Research* 173:316-323.
- Ebina, T.; Kubota, T.; Ogamo, N. and Matsunaga, K. 2002. Antitumor effect of a peptide-glucan preparation extracted from a mycelium of *Tricholoma matsutake* (S. Ito and Imai) Sing. *Biotherapy* 16:255-259.
- Elmastas, M.; Isildak, O.; Turkekul, I. and Temur, N. 2007. Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms. *J. Food Compos. Anal.* 20:337-345.
- Flores, M. A. y Manzanero, M. G. 1999. Los tipos de vegetación del estado de Oaxaca. *In: Vázquez-Dávila, M. A. (ed.). Vegetación y flora. Serie Sociedad y Naturaleza en Oaxaca N° 3. ITAO y Carteles editores, México.* 17-40 pp.
- Garibay-Orijel, R.; Cifuentes, J.; Estrada-Torres, A. and Caballero, J. 2006. People using macro-fungal diversity in Oaxaca, Mexico. *Fungal Diversity* 21:41-67.
- Garibay-Orijel, R.; Córdova, J.; Cifuentes, J.; Valenzuela, R.; Estrada-Torres, A. and Kong, A. 2009. Integrating wild mushrooms use into a model of sustainable management for indigenous community forests. *For. Ecol. Manage.* 258:122-131.
- Garza, O. F.; García J. J.; Estrada, C. E. y Villalón, M. H. 2002. Macromicetos, ectomicorrizas y cultivos de *Pinus culminicola* en Nuevo León. *Ciencia UANL* 4:203-210.
- Guzmán, G. 2008a. Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. *International J. Medicinal Mushrooms* 10:209-217.
- Guzmán, G. 2008b. Hallucinogenic mushrooms in Mexico: an overview. *Econ. Bot.* 62:404-412.
- Heleno, S. A.; Barros, L.; Sousa, M. J.; Martins, A. and Ferreira, I. C. F. R. 2009. Study and characterization of selected nutrients in wild mushrooms from Portugal by gas chromatography and high performance liquid chromatography. *Microchemical Journal* 93:195-199.

Therefore, species with biotechnological potential in the application of ectomycorrhiza inoculants in forestry species are *Amanita Caesarea*, *Cantharellus cibarius*, *Laccaria laccata*, *Laccaria amethystina*, *Lactarius volemus* and *Tricholoma magnivelare*, due to: i) have been reported to form symbiosis with forest plants in natural conditions; ii) are found in large quantities in the markets where are being commercialized and; iv) there are records of mycorrhiza formation in forest plants.

## Conclusions

The edible wild mushrooms commercialized in markets of Central Valleys, Oaxaca have economic potential, because they are sold in local and regional markets, and can be traded in international markets. Studied edible mushrooms provide essential nutrients, vitamins and minerals to the diet of humans. They also have a medicinal potential as therapeutic for various human diseases. The species collected have biotechnological potential in using bio inoculants forest plants, because they are in large numbers in the forests of rural communities and has proven its use in Mexico and other countries. Therefore, edible wild mushrooms collected in markets of Oaxaca are non-timber forest resources that can be used fully in sustainable development models in forestry rural communities from Oaxaca.

*End of the English version*



- Ikekawa, T.; Uehara, N. and Maeda, Y. 1969. Antitumor activity of aqueous extracts of edible mushrooms. *Cancer Res.* 29:734-735.
- Largent, D. L. 1973. How identify mushrooms to genus. I: macroscopic features. Mad River press In. Eureka, California. 86 p.
- Largent, D. L.; Jonson, D. and Watling, R. 1977. How identify mushrooms to genus. III: Macroscopic Features. Mad River press Inc. Eureka, California. 148 p.
- Liu, P. G.; Yu, F. Q.; Wang, X. H.; Zheng, H. D.; Chen, J.; Chen, J. Y.; Tian, X. F.; Xie, X. D.; Shi, X. F. and Deng, X. J. 2009. The cultivation of *Lactarius volemus* in China. *Acta Botanica Yunnanica* 16:15-16.
- Liu, G.; Wang, H.; Zhou, B.; Guo, X. and Hu, X. 2010. Compositional analysis and nutritional studies of *Tricholoma matsutake* collected from Southwest China. *J. Med. Plant. Res.* 4:1222-1227.

- Mendoza-Díaz, M. M.; Zavala-Chávez, F. y Estrada-Martínez, E. 2006. Hongos asociados con encinos en la porción Noroeste de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12:13-18.
- Mosha, T. C. and Gaga, H. E. 1999. Nutritive value and effect of blanching on the trypsin and chymotrypsin inhibitor activities of selected leafy vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition* 54:271-283.
- Mosha, T. C. E.; Laswai, H. S. and Tetens, I. 2000. Nutritional composition and micronutrient status of homemade and commercial weaning foods consumed in Tanzania. *Plant Foods for Human Nutrition* 55:187-205.
- Murcia, M. A.; Martínez-Tomé, M.; Jiménez, A. M.; Vera, A. M.; Honrubia, M. and Parras, P. 2002. Antioxidant activity of edible fungi (truffles and mushrooms): losses during industrial processing. *J. Food. Prot.* 65:1614-1622.
- Nava, M. R. y Valenzuela, G. R. 1997. Los macromicetos de la sierra de Nanchititlan. *Polibotánica* 5:21-36.
- Ouzouni, P.; Petridis, K. D; Koller, W. D. and Riganakos, K. A. 2009. Nutritional value and metal content of wild edible mushrooms collected from West Macedonia and Epirus, Greece. *Food Chemistry* 115:1575-1580.
- Pera, J.; Álvarez, I. F. y Parladé, J. 1998. Eficacia del inoculo miceliar de 17 especies de hongos ectomicorrícicos para la micorrización controlada de: *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* y *Pseudotsuga menziesii*, en contenedor. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* 7:139-153.
- Pérez-Moreno, J.; Lorenzana-Fernández, A.; Carrasco-Hernández, V. y Yescas-Pérez, A. 2010. Los hongos comestibles silvestres del parque nacional Izta-Popo, Zoquiapan y anexos. Colegio de Postgraduados, SEMARNAT, CONACYT. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 167 p.
- Pilz, D. and Molina, R. 2002. Commercial harvests of edible mushrooms from the forests of the Pacific Northwest United States: issues, management, and monitoring for sustainability. *For. Ecol. Manage.* 155:3-16.
- Queiros, B.; Barreira, J. C. M.; Sarmiento, A. C. and Ferreira, I. C. F. R. 2009. In search of synergistic effects in antioxidant capacity of combined edible mushrooms. *Int. J. Food. Sci. Nutr.* 60:160-172.
- Ramírez-Anguiano, A. C.; Santoyo, S.; Reglero, G. and Soler-Rivas, C. 2007. Radical scavenging activities, endogenous oxidative enzymes and total phenols in edible mushrooms commonly consumed in Europe. *J. Sci. Food. Agric.* 87:2272-2278.
- Rinaldi, A. C.; Comandini, O. and Kuyper, T. W. 2008. Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal Diversity* 33:1-45.
- Ruan-Soto, F.; Garibay-Orijel, R. y Cifuentes, J. 2004. Conocimiento micológico tradicional en la planicie costera del Golfo de México. *Revista Mexicana de Micología* 19:57-70.
- Sasata, R. 2011. Medicinal mushrooms. (healing-mushrooms.net): (consultado septiembre, 2012).
- Takahashi, A.; Endo, T. and Nozoe, S. 1992. Repandiol, a new cytotoxic diepoxide from the mushrooms *Hydnum repandum* and *H. repandum* var. *album*. *Chem. Pharm. Bull.* 40:3181-3184.
- Tateishi, T.; Yokoyama, K.; Kohno, N.; Okabe, H. and Marumoto, T. 2003. Estimation of mycorrhizal colonization of the roots of oak seedlings inoculated with an ectomycorrhizal fungus, *Laccaria amethystea*. *Soil. Sci. Plant. Nutr.* 49:641-645.
- Torres, C. T. 2004. Tipos de vegetación. *In: biodiversidad de Oaxaca*. García, M. A., M. J. Ordoñez, M. Briones S. (eds.). Instituto de Biología. UNAM, fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fund. México. 105-117 pp.
- Villarruel, O. J. L. y Cifuentes, B. J. 2007. Macromicetos de la cuenca del río de Magdalena y zonas adyacentes, delegación Magdalena contreras, México, D. F. *Revista Mexicana de Micología* 25:59-68.
- Yamac, M. and Bilgili, F. 2006. Antimicrobial activities of fruit bodies and/or mycelial cultures of some mushroom isolates. *Pharmaceutical Biology* 44:660-667.
- Yu-Cheng, D.; Zhu-Liang, Y.; Bao-Kai, C.; Chang-Jun, Y. and Li-Wei, Z. 2009. Species diversity and utilization of medicinal mushrooms and fungi in China (Review). *International Journal of Medicinal Mushrooms* 11:287-302.
- Yun, W. and Hall, I. R. 2004. Edible ectomycorrhizal mushrooms: challenges and achievements. *Can. J. Bot.* 82:1063-1073.
- Zamora-Martínez, M. C. and Nieto de Pascual-Pola, C. 2004. Studies of *Tricholoma magnivelare* in Mexico. *Micol. Apl. Int.* 6:13-23.