

Nutritional value and thermal degradation of bioactive compounds in wild edible mushrooms

Valor nutricional y degradación térmica de compuestos bioactivos en hongos comestibles silvestres

Karen I. Espejel-Sánchez¹; Teodoro Espinosa-Solares¹;
Benito Reyes-Trejo^{1,2}; Guillermina Hernández-Rodríguez³;
José M. Cunill-Flores⁴; Diana Guerra-Ramírez^{1,2*}

¹Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. km 38.5 Carretera México-Textcoco. C. P. 56230. Textcoco, Estado de México, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Laboratorio de Productos Naturales, Departamento de Preparatoria Agrícola. km 38.5 Carretera México-Textcoco. C. P. 56230. Textcoco, Estado de México, México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. km 38.5 Carretera México-Textcoco. C. P. 56230. Textcoco, Estado de México, México.

⁴Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla. Popocatepetl s/n, Reserva Territorial Atlxícáyotl, Tres Cerritos. C. P. 72480. Puebla, Puebla, México.

*Corresponding author: dguerrar@chapingo.mx; tel.: 552 719 7195

Abstract

Introduction: Nutritional potential of wild edible mushrooms and loss of their nutraceutical properties during cooking have been little examined.

Objective: To evaluate the nutritional content and effect of heat treatment on nutraceutical properties in the wild species *Lactarius indigo* (Schwein.) Fr. (blue mushroom), *Ramaria flava* (Schaeff.) Quél. (changle) and *Hypomyces lactifluorum* (Schwein.) Tul. & C. Tul. (lobster mushroom), collected in temperate pine and oak forests of the Sierra Norte de Puebla.

Materials and methods: The mushrooms were collected in the company of “traditional mushroom collectors”. Proximal composition was quantified according to AOAC methods. The effect of heat treatment was evaluated at 50 and 92 °C at 10 to 60 min intervals. Total phenolic content was determined by the Folin-Ciocalteu method and antioxidant capacity by ABTS and FRAP assays.

Results and discussion: *R. flava* and *L. indigo* had the highest percentages of protein (24.02 %) and crude fiber (14.64 %) on dry basis, respectively. *R. flava* had the highest phenolic content (4.40 mg gallic acid equivalents per gram dry basis) and the highest antioxidant capacity (23.65 μmol trolox equivalents per gram dry basis). Degradation kinetics of the compounds was first order; *H. lactifluorum* and *R. flava* had the highest loss of phenols and antioxidants, respectively.

Conclusion: The mushrooms studied showed high nutritional value and retained more than 50 % of their antioxidant properties after thermal processing.

Resumen

Introducción: El potencial nutricional de los hongos comestibles silvestres y la pérdida de sus propiedades nutraceuticas durante la cocción han sido poco explorados.

Objetivo: Evaluar el contenido nutricional y el efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades nutraceuticas en las especies silvestres *Lactarius indigo* (Schwein.) Fr. (hongo azul), *Ramaria flava* (Schaeff.) Quél. (escobetilla) e *Hypomyces lactifluorum* (Schwein.) Tul. & C. Tul. (hongo enchilado), recolectadas en bosque templado de pino y encino de la Sierra Norte de Puebla.

Materiales y métodos: Los hongos se recolectaron en compañía de “hongueros tradicionales”. La composición proximal se cuantificó de acuerdo con los métodos de la AOAC. El efecto del tratamiento térmico se evaluó a 50 y 92 °C en intervalos de 10 a 60 minutos. El contenido fenólico total se determinó por el método Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante mediante los ensayos ABTS y FRAP.

Resultados y discusión: *R. flava* y *L. indigo* tuvieron los porcentajes más altos de proteína (24.02 %) y fibra cruda (14.64 %) en base seca, respectivamente. El hongo *R. flava* presentó el contenido fenólico más alto (4.40 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de base seca) y la mayor capacidad antioxidante (23.65 μmol equivalentes de trolox por gramo de base seca). La cinética de degradación de los compuestos fue de primer orden; *H. lactifluorum* y *R. flava* tuvieron la mayor pérdida de fenoles y antioxidantes, respectivamente.

Conclusión: Los hongos estudiados mostraron alto valor nutricional y conservaron más de 50 % de sus propiedades antioxidantes después del procesamiento térmico.

Keywords: *Lactarius indigo*; *Ramaria flava*; *Hypomyces lactifluorum*; source of nutraceuticals; degradation kinetics.

Palabras clave: *Lactarius indigo*; *Ramaria flava*; *Hypomyces lactifluorum*; fuente de nutraceuticos; cinética de degradación.

Introduction

In Mexico, since pre-Hispanic times, wild edible mushrooms have been a food resource for various ethnic groups in isolated communities (Ruan-Soto, Ordaz-Velázquez, García-Santiago, & Ovando, 2017). According to Garibay-Orijel and Ruan-Soto (2014), there are about 371 taxa of wild edible mushrooms in Mexico. In the Sierra Norte de Puebla, Mexico, some Nahua communities maintain the tradition of identifying and collecting edible mushrooms for self-consumption and commercialization in local markets (Contreras, Vázquez, & Ruan, 2018). Women known as traditional mushroom collectors (*hongueras tradicionales*) are the main protagonists in collecting, processing and commercialization of wild mushrooms; they are also in charge of sharing ancestral knowledge in order to identify edible and poisonous species and for the recognition of symbiotic associations between mushrooms and trees (Contreras et al., 2018; Garibay-Orijel, Ramírez-Terrazo, & Ordaz-Velázquez, 2012; Jasso-Arriaga, Martínez-Campos, & Dorantes-Coronado, 2019). In several communities surrounding the municipality of Zacapoaxtla, collecting and commercialization of mushrooms in rainy season represent an important household income (Estrada-Martínez, Guzmán, Cibrián-Tovar, & Ortega, 2009).

The mushrooms *Lactarius indigo* (Schwein.) Fr. (hongo azul), *Ramaria flava* (Schaeff.) Quél. (changle) e *Hypomyces lactifluorum* (Schwein.) Tul. & C. Tul. (lobster mushroom), due to their flavor, consistency and color, have high demand and acceptance in the market, although there is the only opportunity to consume them during the rainy season. *Hypomyces lactifluorum* of the Hypocreaceae family is the result of parasitism by the ascomycete *H. lactifluorum* (Nectriaceae; Hypocreales) on *Russula* spp. or *Lactarius* spp.; the fungus grows on the host's basidiocarp, deforming its cap, stem and gills. This species is highly demanded in popular markets for its color and flavor (Guzmán, 2008; Rochon, Paré, Khasa, & Fortin, 2009). The mushroom *L. indigo* of the Russulaceae family has been inventoried in the states of Chiapas, Hidalgo, and Querétaro (León-Guzmán, Silva, & López, 1997; López-Vázquez, Prieto-García, Gayosso-Canales, Otazo, & Villagómez, 2017; Ruan-Soto, 2018); the aqueous extract of this species shows antibacterial and cytotoxic activity (Ochoa-Zarzosa, Vázquez-Garcidueñas, Robinson-Fuentes, & Vázquez-Marrufo, 2011). As for *R. flava* (Gomphaceae family), the ethanolic extract of the fruiting bodies exhibits moderate antibacterial and antifungal activity (Liu, Wang, Zhao, & Wang, 2013).

Mushrooms are characterized by good quality protein, high dietary fiber and low-fat content (Agrahar-Murugkar & Subbulakshmi, 2005; Barros, Venturini,

Introducción

En México, desde la época prehispánica, los hongos comestibles silvestres han sido un recurso alimenticio para diversos grupos étnicos de comunidades aisladas (Ruan-Soto, Ordaz-Velázquez, García-Santiago, & Ovando, 2017). De acuerdo con Garibay-Orijel y Ruan-Soto (2014), existen alrededor de 371 taxones de hongos comestibles silvestres en el territorio mexicano. En la Sierra Norte de Puebla, México, algunas comunidades nahuas mantienen la tradición de identificar y recolectar hongos comestibles para el autoconsumo y la comercialización en mercados locales (Contreras, Vázquez, & Ruan, 2018). Las mujeres conocidas como "hongueras tradicionales" son las protagonistas sociales en la recolección, procesamiento y comercialización de hongos silvestres; además, se encargan de transmitir el conocimiento ancestral para la discriminación de las especies comestibles y venenosas y para el reconocimiento de las asociaciones simbióticas entre hongos y árboles (Contreras et al., 2018; Garibay-Orijel, Ramírez-Terrazo, & Ordaz-Velázquez, 2012; Jasso-Arriaga, Martínez-Campos, & Dorantes-Coronado, 2019). En diversas comunidades aledañas al municipio de Zacapoaxtla, la recolección y comercialización de hongos en la temporada de lluvias es de gran importancia para la economía familiar, debido a la obtención de ingresos monetarios y suministros complementarios para los hogares (Estrada-Martínez, Guzmán, Cibrián-Tovar, & Ortega, 2009).

Los hongos *Lactarius indigo* (Schwein.) Fr. (hongo azul), *Ramaria flava* (Schaeff.) Quél. (escobetilla) e *Hypomyces lactifluorum* (Schwein.) Tul. & C. Tul. (hongo enchilado), debido a su sabor, consistencia y color, tienen gran demanda y aceptabilidad en el mercado, aunque solo hay oportunidad de consumirlos en la época de lluvias. *Hypomyces lactifluorum* de la familia Hypocreaceae es el resultado del parasitismo por el ascomiceto *H. lactifluorum* (Nectriaceae; Hypocreales) sobre *Russula* spp. o *Lactarius* spp.; el hongo crece en el basidiocarpio del hospedador, deformando su sombrero, tallo y branquias. Esta especie es muy demandada en los mercados populares por su color y sabor (Guzmán, 2008; Rochon, Paré, Khasa, & Fortin, 2009). El hongo *L. indigo* de la familia Russulaceae se ha inventariado en los estados de Chiapas, Hidalgo y Querétaro (León-Guzmán, Silva, & López, 1997; López-Vázquez, Prieto-García, Gayosso-Canales, Otazo, & Villagómez, 2017; Ruan-Soto, 2018); el extracto acuoso de esta especie exhibe actividad antibacteriana y citotóxica (Ochoa-Zarzosa, Vázquez-Garcidueñas, Robinson-Fuentes, & Vázquez-Marrufo, 2011). Con respecto a *R. flava* (familia Gomphaceae), el extracto etanólico de los cuerpos fructíferos presenta actividad antibacteriana y antifúngica moderada (Liu, Wang, Zhao, & Wang, 2013).

Baptista, Estevinho, & Ferreira, 2008; Wang et al., 2014). Moreover, mushrooms contain primary vitamins such as thiamine, riboflavin, niacin, tocopherol, and vitamin D; however, vitamin D is not found in cultivated mushrooms (Cheung, 2010; Mattila et al., 2001; Sahagún, 2020). Bioactive substances include phenolic compounds. Among the bioactive substances present in fungi are phenolic compounds (flavonoids, phenolic in mushrooms and cinnamic acids), tocopherols, ascorbic acid and carotenoids. These substances protect cells from oxidative damage produced by free radicals (Ferreira, Barros, & Abreu, 2009; Sari, Prange, Lelley, & Hambitzer, 2017). Other compounds of interest are β -glucans; these polysaccharides stimulate the immune system, inhibit tumor cells, control blood lipid concentration, and are a source of prebiotics that stimulate the growth of gut microbiota (Liu et al., 2012; Sawangwan, Wansanit, Pattani, & Noysang, 2018; Vaz et al., 2010). Therefore, mushrooms are recognized as nutraceutical foods (Barros et al., 2008).

The processing and preservation of wild edible mushrooms for consumption, either roasted or steamed, most of the time involves heat treatment (Haro-Luna, Ruan-Soto, & Guzmán-Dávalos, 2019), which includes the simultaneous transfer of heat and moisture; therefore, it is important to find a kinetic model to explore its influence on phenolic content. In cultivated mushrooms, such as *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. and *Agaricus bisporus* (J. E. Lange) Imbach, Jaworska, Pogòn, Bernas, and Duda-Chodak (2015) demonstrated that phenolic compounds are degraded during cooking process. The aim of this study was to evaluate nutritional content and heat treatment effect on phenolic compounds and antioxidant capacity of *L. indigo*, *R. flava*, and *H. lactifluorum*. These species were selected based on the traditional mycological knowledge of women collectors and sellers of wild edible mushrooms in the market of Zacapoaxtla, Puebla.

Materials and Methods

Mycological material

To select the study material, a tour was made in the market of the municipality of Zacapoaxtla to find the “traditional mushroom collectors”, holders of traditional mycological knowledge. These people provided guidance and accompaniment in the collection (September 2018) of about 20 species of edible mushrooms, from which *L. indigo*, *H. lactifluorum* and *R. flava* were chosen based on their abundance and frequency of consumption (Figure 1).

Collection was done in the community La Loma, municipality of Zacapoaxtla, Puebla, Mexico (19° 49' 38.6" N and -97° 36' 10.7" W at 2 140 m) (Figure 2).

Los hongos se caracterizan por tener proteínas de buena calidad, alto contenido de fibra dietética y bajo contenido en grasas (Agrahar-Murugkar & Subbulakshmi, 2005; Barros, Venturini, Baptista, Estevinho, & Ferreira, 2008; Wang et al., 2014). Asimismo, los hongos poseen vitaminas primarias como la tiamina, riboflavina, niacina, tocoferol y vitamina D; sin embargo, esta última no se encuentra en los hongos cultivados (Cheung, 2010; Mattila et al., 2001; Sahagún, 2020). Entre las sustancias bioactivas destacan los compuestos fenólicos (flavonoides, ácidos, fenólicos y cinámicos), tocoferoles, ácido ascórbico y carotenoides. Estas sustancias protegen a las células del daño oxidativo producido por los radicales libres (Ferreira, Barros, & Abreu, 2009; Sari, Prange, Lelley, & Hambitzer, 2017). Otros compuestos de interés son los β -glucanos; estos polisacáridos estimulan el sistema inmunitario, inhiben células tumorales, controlan la concentración de lípidos en la sangre y son una fuente de prebióticos que estimulan el crecimiento de la microbiota intestinal (Liu et al., 2012; Sawangwan, Wansanit, Pattani & Noysang, 2018; Vaz et al., 2010). Por lo anterior, los hongos son reconocidos como alimentos nutraceuticos (Barros et al., 2008).

El procesamiento y preservación de los hongos comestibles silvestres para su consumo, ya sea asados o cocidos al vapor, la mayoría de las veces implica un tratamiento térmico (Haro-Luna, Ruan-Soto, & Guzmán-Dávalos, 2019), el cual incluye la transferencia simultánea de calor y humedad; por tanto, es importante encontrar un modelo cinético que permita explorar su influencia sobre el contenido fenólico. En hongos cultivados como *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. y *Agaricus bisporus* (J. E. Lange), Imbach, Jaworska, Pogòn, Bernas, y Duda-Chodak (2015) demostraron que los compuestos fenólicos se degradan durante el proceso de cocción. En tal contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido nutricional y el efecto del tratamiento térmico sobre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de *L. indigo*, *R. flava* y *H. lactifluorum*. Estas especies se seleccionaron con base en el conocimiento micológico tradicional de recolectoras y vendedoras de hongos comestibles silvestres en el mercado de Zacapoaxtla, Puebla.

Materiales y métodos

Material micológico

Para seleccionar el material de estudio se hizo un recorrido en el mercado del municipio de Zacapoaxtla con el fin de localizar a las “hongueras tradicionales”, poseedoras del conocimiento micológico tradicional. Estas personas brindaron orientación y acompañamiento en la recolecta (septiembre del 2018) de alrededor de 20 especies de hongos comestibles, de las cuales se eligieron *L. indigo*, *H. lactifluorum* y *R. flava*



Figure 1. Mushroom species collected in the community La Loma, municipality of Zacapoaxtla, Puebla, Mexico: a) *Hypomyces lactiflorum*, b) traditional mushroom collectors, c) *Ramaria flava*, d) *Lactarius indigo* and e) collection area.

Figura 1. Especies de hongos recolectadas en la comunidad La Loma, municipio de Zacapoaxtla, Puebla, México: a) *Hypomyces lactiflorum*, b) hongueras tradicionales, c) *Ramaria flava*, d) *Lactarius indigo* y e) zona de recolecta.

The vegetation type is temperate pine-oak forest. Mature individuals of *Pinus pseudostrobus* Brongn. were found in the area; dominance of oaks such as *Quercus castanea* Née, *Q. laurina* Bonpl., *Q. crassifolia* Bonpl. and *Q. rugosa* Née; individuals of *Alnus acuminata* Kunth, *Buddleja* sp. and *Juniperus* spp. near roads and highways; and presence of herbaceous plants of the families Asteraceae, Lamiaceae and Fabaceae.

Fungal species were determined based on the following literature: Guzmán (1977); Chacón, Guzmán, Montoya-Bello, and Bandala-Muñoz (1995); Montoya-Bello (1987); Mata et al. (2003); and Montoya and Bandala (2005). Descriptions were made from sections of fruiting bodies for observation under stereoscopic and compound microscopy; subsequently, stains were made with potassium hydroxide and lactophenol blue. The scientific names derived from observations were checked against the ethnomycological study of Contreras et al. (2018) and the currency of the scientific name was verified in the Index Fungorum (2021) database. One specimen of each species was deposited in the herbarium collection of the

con base en su abundancia y frecuencia de consumo (Figura 1).

La recolecta se hizo en la comunidad La Loma, municipio de Zacapoaxtla, Puebla, México (19° 49' 38.6" LN y -97 36' 10.7" LO a 2 140 m) (Figura 2). El tipo de vegetación es bosque templado de pino-encino. En la zona se encontraron individuos maduros de *Pinus pseudostrobus* Brongn.; dominancia de encinos como *Quercus castanea* Née, *Q. laurina* Bonpl., *Q. crassifolia* Bonpl. y *Q. rugosa* Née; individuos de *Alnus acuminata* Kunth, *Buddleja* sp. y *Juniperus* spp. cercanos a caminos y carreteras; y presencia de herbáceas de las familias Asteraceae, Lamiaceae y Fabaceae.

Las especies fúngicas se determinaron con base en la literatura siguiente: Guzmán (1977); Chacón, Guzmán, Montoya-Bello, y Bandala-Muñoz (1995); Montoya-Bello (1987); Mata et al. (2003); y Montoya y Bandala (2005). Las descripciones se hicieron a partir de cortes de los cuerpos fructíferos para observación en microscopio estereoscópico y compuesto; posteriormente, se

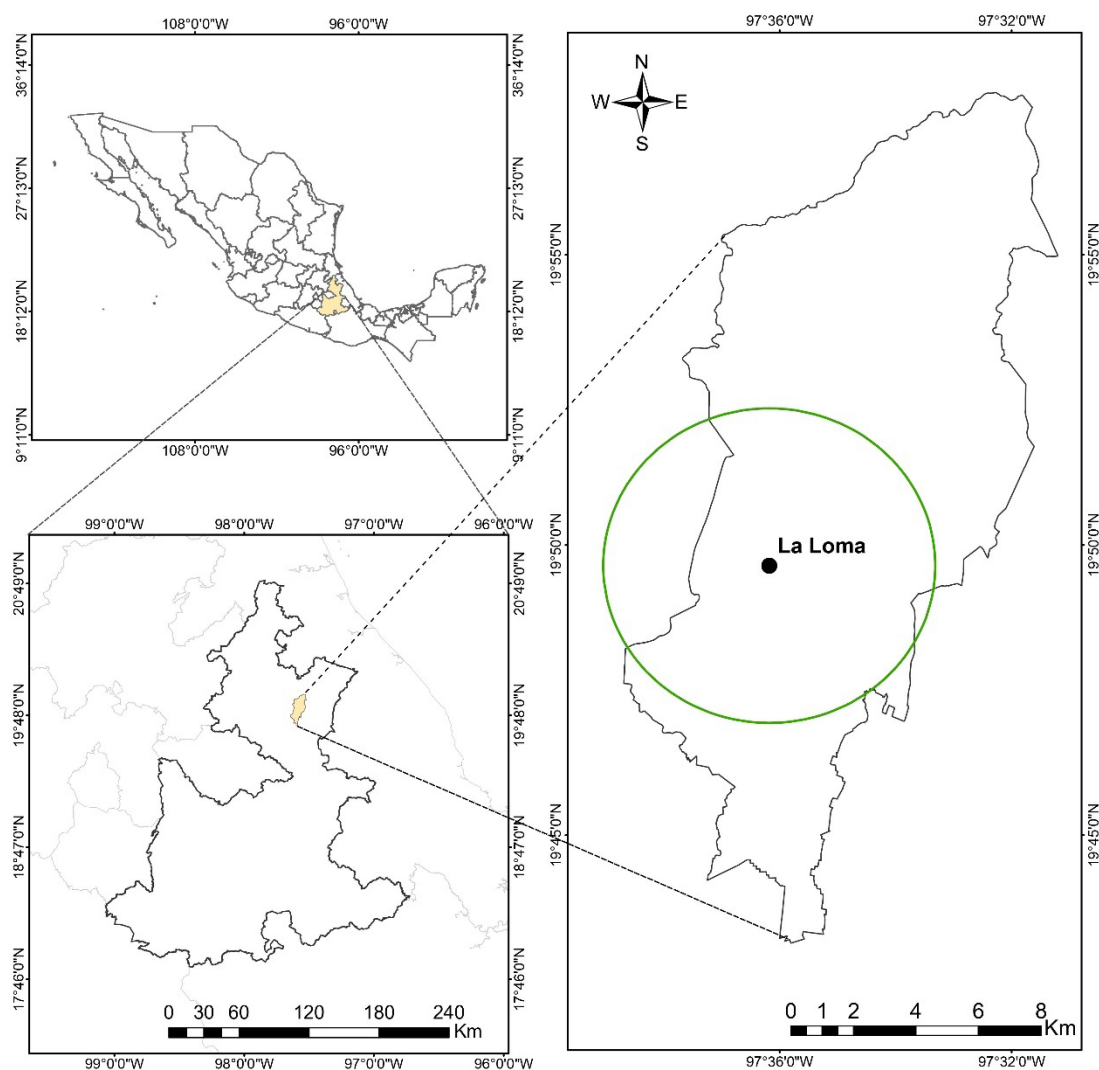


Figure 2. Location of the area where wild edible mushrooms were collected in the municipality of Zacapoaxtla, Puebla, Mexico.

Figura 2. Ubicación de la zona de recolecta de los hongos comestibles silvestres en el municipio de Zacapoaxtla, Puebla, México.

Forest Sciences Division of the Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

Approximately 2 kg of fruiting bodies were collected from each of the three species of wild edible mushrooms. *Agaricus bisporus* and *P. ostreatus* were purchased from a supermarket in Mexico City; these cultivated mushrooms were studied for direct comparison with the wild species. The fruiting bodies were cleaned of excess soil and leaf litter; the basal part of the stipe, when damaged, was removed with a small blade. All specimens were lyophilized and kept frozen at -18°C until analysis.

Reagents and instrumentation

Folin-Ciocalteu reagents, sodium carbonate, sodium acetate trihydrate 2,4,6-tripyridyl-s triazine (TPTZ),

hicieron tinciones con hidróxido de potasio y azul de lactofenol. Los nombres científicos, derivados a partir de las observaciones, se cotejaron con el estudio etnomicológico de Contreras et al. (2018) y se verificó la vigencia del nombre científico en la base de datos de Index Fungorum (2021). Un ejemplar de cada especie se depositó en la colección del herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

De cada una de las tres especies de hongos comestibles silvestres se recolectaron aproximadamente 2 kg de cuerpos fructíferos. Los hongos cultivados *A. bisporus* y *P. ostreatus* se adquirieron en un supermercado de la Ciudad de México; estos se estudiaron para hacer una comparación directa con las especies silvestres. Los cuerpos fructíferos se limpiaron del exceso de

iron(III) chloride hexahydrate, catechin, aluminum chloride, potassium acetate, potassium persulfate, 2,2-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) and 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic (trolox) and gallic acids are Sigma Aldrich products (St. Louis, Mo., USA). Absorbance for the quantification of phenols, flavonoids and antioxidant capacity were measured on a Synergy 2 Microplate Reader, Gen5 software (BioTek Instruments Inc., Winooski, VT, USA).

Nutritional properties and nutraceutical potential

The proximate composition of the lyophilized mushrooms was determined in triplicate according to AOAC (2005) methods. Crude protein (N x 6.25) was estimated by the Kjeldahl method, ether extract was obtained by Soxhlet and ash content was determined by ashing at 550 °C.

The nutraceutical composition was evaluated *in vitro*; for this purpose, extracts were obtained with 80 % methanol following the method reported by Hernández-Rodríguez et al. (2016). The total phenolic content in each extract was quantified by the Folin-Ciocalteu method adapted to microplates (Hernández-Rodríguez et al., 2016). The calibration curve was prepared from a stock solution of gallic acid in the linear range of concentrations from 2.5 to 29.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Results were expressed as milligram equivalents of gallic acid per gram of sample on a dry basis ($\text{mg EAG}\cdot\text{g}_{\text{db}}^{-1}$). Total flavonoids were quantified in the extracts according to the method of Kubola and Siriamornpun (2011). The concentration range of the catechin calibration curve was 0.7 to 34.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. The results were expressed as milligram equivalents of catechin per gram of sample on the basis of ($\text{mg EC}\cdot\text{g}_{\text{db}}^{-1}$).

Determination of total carotenoids

Carotenoids were determined in *H. lactifluorum* according to the procedure of Camargo, Xavier, Alves, Flanch, and Ruffo (2015) with some modifications. The lyophilized sample (0.2 g) and protected from light was mixed with 10 mL of a hexane/acetone solution (6:4, v/v), vortexed for 1 min and incubated for 10 min at 150 rpm. The supernatant was separated by filtration and the ultraviolet-visible spectrum (UV-VIS) was obtained in which a maximum was observed at 450 nm, corresponding to carotenoids. The range of the β -carotene calibration curve was from 0.5 to 4.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Results were expressed as milligrams of β -carotene per gram of sample on a dry basis ($\text{mg E}\beta\text{C}\cdot\text{g}_{\text{db}}^{-1}$).

Antioxidant capacity

Antioxidant capacity of the extracts was evaluated by ABTS (Re et al., 1999) and FRAP (ferric reducing ability of plasma; Benzie & Strain, 1996) assays adapted to

tierra y hojarasca; la parte basal del estípote, cuando se encontraba dañada, se retiró con una navaja. Todos los ejemplares se liofilizaron y conservaron en congelación a -18 °C hasta su análisis.

Reactivos e instrumentación

Los reactivos Folin-Ciocalteu, carbonato de sodio, acetato de sodio trihidratado 2,4,6-tripiridil-s triazine (TPTZ), cloruro de hierro (III) hexahidratado, catequina, cloruro de aluminio, acetato de potasio, persulfato de potasio, 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolino-6-sulfónico (ABTS) y los ácidos 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (trolox) y gálico corresponden a productos Sigma Aldrich (St. Louis, Mo., EUA). Las absorbancias para la cuantificación de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante se midieron en un lector de microplacas Synergy 2 Microplate Reader, software Gen5 (BioTek Instruments Inc., Winooski, VT, EUA).

Propiedades nutricionales y potencial nutracéutico

La composición proximal de los hongos liofilizados se determinó por triplicado de acuerdo con los métodos de la AOAC (2005). La proteína cruda (N x 6.25) se estimó por el método Kjeldahl, el extracto etéreo se obtuvo por Soxhlet y el contenido de cenizas se determinó por incineración a 550 °C.

La composición nutracéutica se evaluó *in vitro*; para ello, se obtuvieron extractos con metanol al 80 % siguiendo el método reportado por Hernández-Rodríguez et al. (2016). El contenido fenólico total en cada extracto se cuantificó por el método de Folin-Ciocalteu adaptado a microplacas (Hernández-Rodríguez et al., 2016). La curva de calibración se preparó a partir de una disolución *stock* de ácido gálico en el intervalo lineal de concentraciones de 2.5 a 29.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra en base seca ($\text{mg EAG}\cdot\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$). Los flavonoides totales se cuantificaron en los extractos de acuerdo con el método de Kubola y Siriamornpun (2011). El intervalo de concentraciones de la curva de calibración de catequina fue de 0.7 a 34.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra en base seca ($\text{mg EC}\cdot\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$).

Determinación de carotenoides totales

Los carotenoides se determinaron en *H. lactifluorum* de acuerdo con el procedimiento de Camargo, Xavier, Alves, Flanch, y Ruffo (2015) con algunas modificaciones. La muestra liofilizada (0.2 g) y protegida de la luz se mezcló con 10 mL de una solución de hexano/acetona (6:4, v/v), se agitó en vortex por 1 min y se incubó por 10 min a 150 rpm. El sobrenadante se separó por filtración y

microplates. Trolox calibration curves were prepared in concentration ranges from 5.0 to 60 μM and from 3.8 to 46.0 μM , for ABTS and FRAP, respectively. Results were expressed as equivalent micromoles of trolox per gram of sample on a dry basis ($\mu\text{m ET}\cdot\text{g}_{\text{db}}^{-1}$).

Heat treatment

The degradation kinetics of total phenolic content and the loss of antioxidant capacity of mushrooms were evaluated at 50 °C (temperature close to the onset of degradation of phenolic compounds; Zhou et al., 2016) and 92 °C (boiling point of water at the experimental site) for 0, 10, 20, 30, 30, 40, 50 and 60 min for each temperature. For each species, a portion (0.5 g) previously lyophilized was transferred to a Pyrex® tube and hydrated with 10 mL of distilled water. Samples were placed in a thermostatic water bath preheated to each of the study temperatures and removed at time intervals of 10 to 60 minutes. Samples were immediately cooled in an ice water bath and lyophilized; total phenolic content and antioxidant capacity were determined in triplicate for each sample.

Data analysis

Phenols, flavonoids, and total carotenoids, as well as antioxidant capacity were determined in triplicate and means, and standard deviation were estimated. Nutrient content was compared between species using a completely randomized design and Tukey's test of means ($P \leq 0.05$) was used as the analysis statistic.

The reaction order of the degradation kinetics of phenolic compounds was determined by plotting the concentration of total phenols with respect to time, testing first and second order kinetic models:

$$\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = -kt$$

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$$

where,

k = degradation rate constant ($\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) of antioxidant compounds during heat treatment.

t = treatment time (s)

C_A and C_{A0} = concentrations of phenolic compounds at time t and time 0, respectively.

Results and Discussion

Table 1 shows the results of the proximate analysis of the wild edible mushrooms under study. Moisture content (87 to 90 %) showed no significant differences and was lower ($P \leq 0.05$) than that reported for the same

se obtuvo el espectro ultravioleta-visible (UV-VIS) en el que se observó un máximo a 450 nm, correspondiente a los carotenoides. El intervalo de la curva de calibración del β -caroteno fue de 0.5 a 4.0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Los resultados se expresaron como miligramos de β -caroteno por gramo de muestra en base seca ($\text{mg E}\beta\text{C}\cdot\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos se evaluó mediante los ensayos ABTS (Re et al., 1999) y FRAP (*ferric reducing ability of plasma*; Benzie & Strain, 1996) adaptados a microplacas. Las curvas de calibración de trolox se prepararon en rangos de concentración de 5.0 a 60 μM y de 3.8 a 46.0 μM , para ABTS y FRAP, respectivamente. Los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de trolox por gramo de muestra en base seca ($\mu\text{m ET}\cdot\text{g}_{\text{bs}}^{-1}$).

Tratamiento térmico

La cinética de degradación del contenido fenólico total y la pérdida de la capacidad antioxidante de los hongos se evaluaron a 50 °C (temperatura cercana al inicio de la degradación de compuestos fenólicos; Zhou et al., 2016) y 92 °C (punto de ebullición del agua en el sitio de experimentación) por 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min para cada temperatura. En cada especie, una porción (0.5 g) previamente liofilizada se transfirió a un tubo Pyrex® y se hidrató con 10 mL de agua destilada. Las muestras se colocaron en un baño termostático de agua precalentada a cada una de las temperaturas de estudio y se retiraron a intervalos de tiempo de 10 hasta 60 minutos. Inmediatamente, las muestras se enfriaron en un baño de agua con hielo y se liofilizaron; en cada una se determinó, por triplicado, el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante.

Análisis de datos

Los fenoles, flavonoides y carotenoides totales, así como la capacidad antioxidante, se determinaron por triplicado y se obtuvieron las medias y la desviación estándar. El contenido de nutrientes se comparó entre las especies mediante un diseño completamente al azar y se utilizó, como estadístico de análisis, la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

El orden de reacción de la cinética de degradación de los compuestos fenólicos se determinó graficando la concentración de fenoles totales con respecto al tiempo, probando los modelos cinéticos de primer y segundo orden:

$$\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = -kt$$

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$$

species collected in Querétaro, Mexico (Yahia, Gutiérrez-Orozco, & Moreno-Pérez, 2017). Ash content in *R. flava* was lower ($P \leq 0.05$) than in *H. lactifluorum* and *L. indigo*; in general, the three species showed higher contents than wild and commercial mushrooms (0.17 to 1.17 %) evaluated by Álvarez-Parrilla, de la Rosa, Martínez, and González (2007) in Chihuahua, Mexico. On the other hand, the dietary fiber content of wild mushrooms (7.58 to 14.64 %) was lower compared to that found by Manzi, Aguzzi, and Pizzoferrato (2001) in *A. bisporus* and *P. ostreatus*. With respect to crude protein, *H. lactifluorum* had the lowest content; however, it was higher than that determined in *A. bisporus* (13.75 %) and *P. ostreatus* (8.58 %) by Jaworska, Pogoń, Bernas, and Duda-Chodak (2015), and that found in *R. flava* (14.47 %) and *L. indigo* (13.42 %) by Silva and Lo (1997). These differences could be explained by the edaphoclimatic conditions and the type of substrate where the mushroom grows (Kalač, 2013). According to Cheung (2010), the protein quality of mushrooms is better than vegetable protein, because mushrooms contain all protein amino acids; therefore, such specimens represent an alternative food for vegetarians. The macronutrient profile revealed that all three species are an important source of protein with low fat content. These properties have been described for other wild edible mushrooms (Cheung, 2010).

The nutrient composition of the species studied is very important to maintain a balanced diet and represents an alternative to the lack of resources of local consumers for the acquisition of conventional foods rich in protein.

Nutraceutical composition

Table 2 shows that *R. flava* had higher phenolic content ($P < 0.05$) than *H. lactifluorum* and *L. indigo*; however, the highest concentration was found in

donde,

k = constante de velocidad de degradación ($\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) de los compuestos antioxidantes durante el tratamiento térmico

t = tiempo del tratamiento (s)

C_A y C_{A_0} = concentraciones de los compuestos fenólicos en el tiempo t y en el tiempo 0, respectivamente.

Resultados y discusión

El Cuadro 1 presenta los resultados del análisis proximal de los hongos comestibles silvestres en estudio. El contenido de humedad (87 a 90 %) no presentó diferencias significativas y fue menor ($P \leq 0.05$) que el reportado para las mismas especies recolectadas en Querétaro, México (Yahia, Gutiérrez-Orozco, & Moreno-Pérez, 2017). El contenido de cenizas en *R. flava* fue menor ($P \leq 0.05$) que en *H. lactifluorum* y *L. indigo*; en general, las tres especies presentaron mayor contenido que los hongos silvestres y comerciales (0.17 a 1.17 %) evaluados por Álvarez-Parrilla, de la Rosa, Martínez, y González (2007) en Chihuahua, México. Por otro lado, el contenido de fibra dietética de los hongos silvestres (7.58 a 14.64 %) fue menor en comparación con el encontrado por Manzi, Aguzzi, y Pizzoferrato (2001) en *A. bisporus* y *P. ostreatus*. Con respecto a la proteína cruda, *H. lactifluorum* tuvo el contenido más bajo; sin embargo, resultó superior al determinado en *A. bisporus* (13.75 %) y *P. ostreatus* (8.58 %) por Jaworska, Pogoń, Bernas, y Duda-Chodak (2015) y al encontrado en *R. flava* (14.47 %) y *L. indigo* (13.42 %) por Silva y Lo (1997). Estas diferencias podrían ser explicadas por las condiciones edafoclimáticas y el tipo de sustrato en el que los hongos se desarrollan (Kalač, 2013). Según Cheung (2010), la calidad proteica de los hongos es mejor que la de los vegetales, ya que contienen todos los aminoácidos proteicos; por lo tanto, dichos

Table 1. Proximal composition (grams per 100 g dry weight) of wild edible mushrooms collected in Zacapoaxtla, Puebla, Mexico.

Cuadro 1. Composición proximal (gramos por 100 g de peso seco) de los hongos comestibles silvestres recolectados en Zacapoaxtla, Puebla, México.

Species / Especie	Ash / Cenizas	Crude protein / Proteína cruda	Total lipids / Lípidos totales	Crude fiber / Fibra cruda	Carbohydrates / Carbohidratos
<i>Lactarius indigo</i>	12.93 ± 1.79 a	23.29 ± 1.30 a	3.19 ± 0.25 a	14.64 ± 0.22 a	45.95 ± 0.00 c
<i>Ramaria flava</i>	7.77 ± 0.46 b	24.02 ± 0.42 a	1.20 ± 0.34 b	7.58 ± 0.09 c	59.43 ± 0.00 a
<i>Hypomyces lactifluorum</i>	15.06 ± 0.03 a	20.27 ± 0.78 b	2.67 ± 0.15 a	12.08 ± 0.36 b	49.92 ± 0.00 b

Different letters in each column indicate significant differences according to Tukey's test ($P < 0.05$). Values are average ± standard deviation calculated for three replicates per sample.

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los valores son el promedio ± la desviación estándar calculados para tres repeticiones por muestra.

A. bisporus which, together with *P. ostreatus*, were studied for direct comparison with wild species. Total phenol concentrations were lower compared to those determined by Yahia et al. (2017) for *L. indigo*, *H. lactifluorum* and *R. flava* (6.6, 6.33 and 7.26 mg EAG·g_{db}⁻¹, respectively) in the state of Querétaro, Mexico; and higher than in *L. indigo* (1.81 mg EAG·g_{db}⁻¹) and *R. flava* and (2.07 mg EAG·g_{db}⁻¹) collected in the state of Hidalgo (López-Vázquez et al., 2017). The differences observed could be due to the collection site and extraction procedure (Pumtes, Rojsuntornkitti, Kongbangkerd, & Jittrepotch, 2016). Phenolic compounds have been shown to be healthful because they reduce the risk of cardiovascular disease, cancer and diabetes (Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

On the other hand, as shown in Table 2, the concentration of total flavonoids in *R. flava*, with respect to the total phenolic content, corresponds to 51.1 %, while in *H. lactifluorum*, these compounds were not detected, probably due to the extraction method used. Flavonoid concentrations in *L. indigo* and *R. flava* were lower than those obtained by Yahia et al. (2017) for the same species, but in the case of *L. indigo* (catechin-based, 0.83 mg EC·g_{db}⁻¹ was higher than the value reported (quercetin-based, 0.25 mg EQ·g_{db}⁻¹) by López-Vázquez (2017).

The UV-VIS spectrum of the hexane/acetone extract of *H. lactifluorum* showed a maximum at a wavelength of 450 nm, characteristic of carotenoids (Camargo

especímenes constituyen un alimento alternativo para las personas vegetarianas. El perfil de macronutrientes reveló que las tres especies son una fuente importante de proteínas con bajo contenido en grasas. Estas propiedades han sido descritas para otros hongos comestibles silvestres (Cheung, 2010).

La composición de nutrientes de las especies estudiadas es de gran importancia para mantener una dieta balanceada y representa una alternativa ante la falta de recursos de los consumidores locales para la adquisición de alimentos convencionales ricos en proteínas.

Composición nutracéutica

El Cuadro 2 muestra que *R. flava* tuvo mayor contenido fenólico ($P < 0.05$) que *H. lactifluorum* y *L. indigo*; sin embargo, la concentración más alta se encontró en *A. bisporus* que, en conjunto con *P. ostreatus*, se estudiaron para hacer una comparación directa con las especies silvestres. Las concentraciones de fenoles totales fueron menores comparadas con las determinadas por Yahia et al. (2017) para *L. indigo*, *H. lactifluorum* y *R. flava* (6.6, 6.33 y 7.26 mg EAG·g_{bs}⁻¹, respectivamente) en el estado de Querétaro, México; y mayores que en *L. indigo* (1.81 mg EAG·g_{bs}⁻¹ y *R. flava* y (2.07 mg EAG·g_{bs}⁻¹) recolectados en el estado de Hidalgo (López-Vázquez et al., 2017). Las diferencias observadas podrían deberse al lugar de recolecta y al procedimiento de extracción (Pumtes, Rojsuntornkitti, Kongbangkerd, & Jittrepotch, 2016). Se ha demostrado que los compuestos fenólicos

Table 2. Total bioactive compounds and antioxidant capacity (expressed on a dry basis) of edible wild mushrooms collected in Zacapoaxtla, Puebla, and of two commercial species (*Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*).
Cuadro 2. Compuestos bioactivos totales y capacidad antioxidante (expresados en base seca) de los hongos silvestres comestibles recolectados en Zacapoaxtla, Puebla, y de dos especies comerciales (*Agaricus bisporus* y *Pleurotus ostreatus*).

	Total Phenols (mg EAG·g _{db} ⁻¹)/ Fenoles totales (mg EAG·g _{bs} ⁻¹)	Total carotenoids (mg EβC·g _{db} ⁻¹)/ Carotenoides totales (mg EβC·g _{bs} ⁻¹)	Total flavonoids (mg EC·g _{db} ⁻¹)/ Flavonoides totales (mg EC·g _{bs} ⁻¹)	ABTS (μmol ET·g _{db} ⁻¹)/ ABTS (μmol ET·g _{bs} ⁻¹)	FRAP (μmol ET·g _{db} ⁻¹)/ FRAP (μmol ET·g _{bs} ⁻¹)
<i>Lactarius indigo</i>	2.92 ± 0.02 c	NC	0.83 ± 0.05 b	10.42 ± 0.02 c	9.03 ± 0.01 c
<i>Ramaria flava</i>	4.40 ± 0.01 b	NC	2.25 ± 0.04 a	23.65 ± 0.02 b	20.17 ± 0.02 a
<i>Hypomyces lactifluorum</i>	2.98 ± 0.04 c	0.117	ND	5.78 ± 0.03 e	3.75 ± 0.02 d
<i>Agaricus bisporus</i>	6.81 ± 0.03 a	NC	NC	26.64 ± 0.04 a	18.79 ± 0.03 b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	1.57 ± 0.01 d	NC	NC	7.47 ± 0.01 d	2.47 ± 0.01 e

Assays for antioxidant capacity (μmol ET: micromoles trolox equivalents): ABTS = 2,2-azinobis,3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, FRAP = ferric reducing antioxidant power. mg EAG, mg EβC, mg EC: milligram equivalents of gallic acid, catechin and carotene, respectively. ND = not detected, NC = not quantified. Values with different letters in each column indicate significant differences according to Tukey's test ($P < 0.05$). Values are average ± standard deviation calculated for three replicates per sample.

Ensayos para determinar la capacidad antioxidante (μmol ET: micromoles equivalentes de trolox): ABTS = 2,2-azinobis,3-etilbenzotiazolino-6-sulfónico, FRAP = poder antioxidante férrico reductor. mg EAG, mg βC, mg EC: miligramos equivalentes de ácido gálico, catequina y caroteno, respectivamente. ND = no detectado, NC = no cuantificado. Los valores con letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Los valores son el promedio ± la desviación estándar calculados para tres repeticiones por muestra.

et al., 2015). The content in this mushroom was higher than that found in wild edible mushrooms from Poland and Portugal (Barros, Ferreira, Queirós, Ferreira, & Baptista, 2007; Robaszkiewicz, Bartosz, Lawrynowicz, & Soszynski, 2010) and in fruits such as *Artocarpus heterophyllus* Lam (0.0018 to 0.0079 mg·g⁻¹ regarding moisture content), but was lower than in *Cucurbita pepo* L. flower (10.5 mg·g⁻¹ regarding moisture content) (Aquino-Bolaños, Urrutia-Hernández, López del Castillo-Lozano, Chavéz-Servia, & Verdalet-Guzman, 2013; de Faria, De Rosso, & Mercadante, 2009). The inclusion of carotenoids in the diet has been correlated with decreased risk of degenerative disorders, including several types of cancer, cardiovascular and ophthalmological diseases; in addition, these compounds are precursors of vitamin A and have antioxidant and anti-inflammatory effects (Rao & Rao, 2007).

Antioxidant capacity

Antioxidant agents reduce free radicals by two mechanisms: by electron transfer or hydrogen atom transfer. The ABTS and FRAP assays are used to measure free radical reduction by electron transfer mechanism (Ozgen, Reese, Tulio, Scheerens, & Miller, 2006); therefore, these two methods were used to corroborate antioxidant capacity in the polar extracts of mushrooms under study. Mushrooms showed significant difference in antioxidant capacity in each of the assays; *A. bisporum* and *R. flava* had the highest values, while *H. lactifluorum* and *P. ostreatus* showed the lowest (Table 2). According to the results described by Yahia et al. (2017), *R. flava* also had the highest antioxidant capacity, followed by *L. indigo* and *H. lactifluorum*. Since carotenoids are compounds with antioxidant properties it would be advisable to test antioxidant capacity in non-polar extracts.

In general, samples with higher antioxidant capacity also had higher phenolic content (Table 2). According to Cheung, Cheung, and Ooi (2003), antioxidant properties of mushrooms are mainly attributed to low molecular weight compounds such as flavonoids, phenolic and cinnamic acids. In recent years, the demand in the consumption of bioactive compounds has been increasing, therefore, mushrooms are a good alternative.

Phenolic compounds in plant-based foods (Faller & Fialho, 2009; Kalogeropoulos, Grigorakis, Mylona, Falirea, & Andrikopoulos, 2006) and in mushrooms (Jaworska et al., 2015) can be affected by thermal processing. According to Patras, Bruton, Tiwari, and Butler (2011) it is advisable to employ a kinetic model that predicts the influence of food processing on critical quality parameters. The reaction order corresponding to the degradation kinetics of compounds in fungi

son benéficos para la salud, debido a que disminuyen el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes (Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

Por otro lado, como se muestra en el Cuadro 2, la concentración de flavonoides totales en *R. flava*, respecto al contenido fenólico total, corresponde al 51.1 %, mientras que en *H. lactifluorum*, dichos compuestos no se detectaron, probablemente por el método de extracción utilizado. Las concentraciones de flavonoides en *L. indigo* y *R. flava* fueron inferiores a las obtenidas por Yahia et al. (2017) para las mismas especies, pero en el caso de *L. indigo* (con base en catequina, 0.83 mg EC·g⁻¹) fue mayor que el valor señalado (con base en quercetina, 0.25 mg EQ·g⁻¹) por López-Vázquez (2017).

En el espectro UV-VIS del extracto de hexano/acetona de *H. lactifluorum* se observó un máximo a una longitud de onda de 450 nm, característico de los carotenoides (Camargo et al., 2015). El contenido de carotenoides en este hongo fue superior al encontrado en hongos comestibles silvestres de Polonia y Portugal (Barros, Ferreira, Queirós, Ferreira, & Baptista, 2007; Robaszkiewicz, Bartosz, Lawrynowicz, & Soszynski, 2010) y en frutos como *Artocarpus heterophyllus* Lam (0.0018 a 0.0079 mg·g⁻¹ considerando el contenido de humedad), pero fue menor que en la flor de *Cucurbita pepo* L. (10.5 mg·g⁻¹ considerando el contenido de humedad) (Aquino-Bolaños, Urrutia-Hernández, López del Castillo-Lozano, Chavéz-Servia, & Verdalet-Guzman, 2013; de Faria, De Rosso, & Mercadante, 2009). La inclusión de carotenoides en la dieta se ha correlacionado con la disminución en el riesgo de desórdenes degenerativos, incluyendo varios tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y oftalmológicas; además, estos compuestos son precursores de vitamina A y tienen efectos antioxidantes y antiinflamatorios (Rao & Rao, 2007).

Capacidad antioxidante

Los agentes antioxidantes reducen radicales libres mediante dos mecanismos: por la transferencia de electrones o por la transferencia de átomos de hidrógeno. Los ensayos ABTS y FRAP permiten medir la reducción de radicales libres mediante el mecanismo de transferencia de electrones (Ozgen, Reese, Tulio, Scheerens, & Miller, 2006) por tanto, estos dos métodos se usaron para corroborar la capacidad antioxidante en los extractos polares de los hongos bajo estudio. Los hongos mostraron diferencia significativa en la capacidad antioxidante en cada uno de los ensayos; *A. bisporum* y *R. flava* tuvieron los valores más altos, mientras que *H. lactifluorum* y *P. ostreatus* presentaron los más bajos (Cuadro 2). De acuerdo con los resultados descritos por Yahia et al. (2017), *R. flava* también tuvo la mayor capacidad antioxidante,

was determined by plotting the concentration of total phenols against time (0 to 60 min) at 50 and 92 °C, testing first and second order kinetic models, until a linear relationship was found. The kinetic parameters were obtained by applying the equations $\ln(C_A/C_{A0}) = -kt$ (first order) and $(1/C_A - 1/C_{A0}) = kt$ (second order). According to Table 3, both models had acceptable coefficients of determination; however, the first order mathematical model had higher coefficients of determination.

Likewise, degradation kinetics of antioxidant capacity of mushrooms were determined at 50 and 92 °C with intervals of 10 to 60 min. The rate constants of antioxidant capacity loss for each species are shown in Table 4. Application of the first-order kinetic model had higher correlation coefficients.

Figure 3 shows the linear behavior when the first order kinetic model is applied, both of total phenolic content and antioxidant capacity (ABTS and FRAP), in the species under heat treatment of 50 and 92 °C from time 0 to 60 minutes. The same trend was observed in the three variables evaluated, as the cooking time and temperature increased, degradation of phenolic and

seguido de *L. indigo* y *H. lactifluorum*. Debido a que los carotenoides son compuestos con propiedades antioxidantes sería recomendable probar la capacidad antioxidante en extractos no polares.

En general, las muestras con mayor capacidad antioxidante también tuvieron mayor contenido fenólico (Cuadro 2). Según Cheung, Cheung, y Ooi (2003), las propiedades antioxidantes de los hongos se atribuyen principalmente a compuestos de bajo peso molecular como los flavonoides, ácidos fenólicos y cinámicos. En años recientes, la demanda en el consumo de componentes bioactivos ha sido creciente, por lo tanto, los hongos son una buena alternativa.

Los compuestos fenólicos en los alimentos de origen vegetal (Faller & Fialho, 2009; Kalogeropoulos, Grigorakis, Mylona, Falirea, & Andrikopoulos, 2006) y en los hongos (Jaworska et al., 2015) pueden ser afectados por el procesamiento térmico. De acuerdo con Patras, Bruton, Tiwari, y Butler (2011) es recomendable el empleo de un modelo cinético que prediga la influencia del procesamiento de los alimentos sobre parámetros críticos de calidad. El orden de reacción

Table 3. Rate constants (k) of degradation of phenolic compounds in wild fungi *Hypomyces lactifluorum*, *Ramaria flava* and *Lactarius indigo*.

Cuadro 3. Constantes de velocidad (k) de degradación de compuestos fenólicos en hongos silvestres *Hypomyces lactifluorum*, *Ramaria flava* y *Lactarius indigo*.

Species / Especie	Temperature (°C) / Temperatura (°C)	First order / Primer orden		Second order / Segundo orden	
		k*	R ²	k*	R ²
<i>H. lactifluorum</i>	50	4 x 10 ⁻⁵	0.9930	1 x 10 ⁻⁵	0.9910
			0.9916		0.9883
			0.9895		0.9868
	92	0.0002	0.9828	8 x 10 ⁻⁵	0.9535
			0.9798		0.9463
			0.9821		0.9528
<i>R. flava</i>	50	6 x 10 ⁻⁵	0.9926	2 x 10 ⁻⁵	0.9884
			0.9857		0.9805
			0.9868		0.9799
	92	0.0001	0.9885	3 x 10 ⁻⁵	0.9939
			0.9908		0.9936
			0.9887		0.9909
<i>L. indigo</i>	50	7 x 10 ⁻⁵	0.9675	3 x 10 ⁻⁵	0.9589
			0.9713		0.9632
			0.9769		0.9697
	92	0.0001	0.9963	4 x 10 ⁻⁵	0.9982
			0.9964		0.9894
			0.9941		0.9900

*Values shown are the average of three replicates.

*Los valores mostrados son el promedio de tres repeticiones.

Table 4. Rate constants (*k*) of degradation of antioxidant capacity in wild mushrooms *Hypomyces lactifluorum*, *Ramaria flava* and *Lactarius indigo*.

Cuadro 4. Constantes de velocidad (*k*) de degradación de la capacidad antioxidante en hongos silvestres *Hypomyces lactifluorum*, *Ramaria flava* y *Lactarius indigo*.

Species/ Especies	T (°C)	Parameter/ Parámetro	First order / Primer orden		Second order / Segundo orden	
			<i>k</i> *	R ²	<i>k</i> *	R ²
<i>H. lactifluorum</i>	50	ABTS	4 x 10 ⁻⁵	0.9853	8 x 10 ⁻⁵	0.9830
				0.9907		0.9910
				0.9926		0.9930
	92	FRAP	8 x 10 ⁻⁵	0.9753	2 x 10 ⁻⁵	0.9638
				0.9659		0.9520
				0.9796		0.9694
<i>R. flava</i>	50	ABTS	6 x 10 ⁻⁵	0.9803	3 x 10 ⁻⁶	0.9709
				0.9802		0.9708
				0.9833		0.9744
	92	FRAP	8 x 10 ⁻⁵	0.9409	5 x 10 ⁻⁶	0.9275
				0.9411		0.9281
				0.9371		0.9235
<i>L. indigo</i>	50	ABTS	7 x 10 ⁻⁵	0.9920	6 x 10 ⁻⁶	0.9921
				0.9907		0.9898
				0.9926		0.9911
	92	FRAP	0.0003	0.9423	3 x 10 ⁻⁵	0.8227
				0.9430		0.8247
				0.9420		0.8221
<i>L. indigo</i>	50	FRAP	5 x 10 ⁻⁵	0.9854	7 x 10 ⁻⁶	0.9819
				0.9847		0.9784
				0.9865		0.9818
	92	ABTS	9 x 10 ⁻⁵	0.9753	6 x 10 ⁻⁶	0.9656
				0.9820		0.9734
				0.9838		0.9767
92	FRAP	8 x 10 ⁻⁵	0.9778	1 x 10 ⁻⁵	0.9797	
			0.9793		0.9807	
			0.9774		0.9793	
92	FRAP	8 x 10 ⁻⁵	0.9905	1 x 10 ⁻⁵	0.9915	
			0.9854		0.9879	
			0.9900		0.9907	

Values shown are the average of three replicates. Assays to determine antioxidant capacity: ABTS = 2,2-azinobis,3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, FRAP = ferric reducing antioxidant power.

Los valores mostrados son el promedio de tres repeticiones. Ensayos para determinar la capacidad antioxidante: ABTS = 2,2-azinobis,3-etilbenzotiazolino-6-sulfónico, FRAP = poder antioxidante férrico reductor.

antioxidant compounds also increased. *H. lactifluorum* showed greater degradation of total phenols when a temperature of 92 °C was applied for 60 min and *R. flava* showed a greater decrease in antioxidant capacity at a cooking temperature of 92 °C.

According to the results, the losses of total phenolic content were 14 % for *H. lactifluorum* and 21 % for

correspondiente a la cinética de degradación de los compuestos en los hongos se determinó graficando la concentración de fenoles totales contra el tiempo (0 a 60 min) a 50 y 92 °C, probando los modelos cinéticos de primer y segundo orden, hasta encontrar relación lineal. Los parámetros cinéticos se obtuvieron aplicando las ecuaciones $\ln(C_A/C_{A0}) = -kt$ (primer orden) y $(1/C_A - 1/C_{A0}) = kt$ (segundo orden). De acuerdo con el

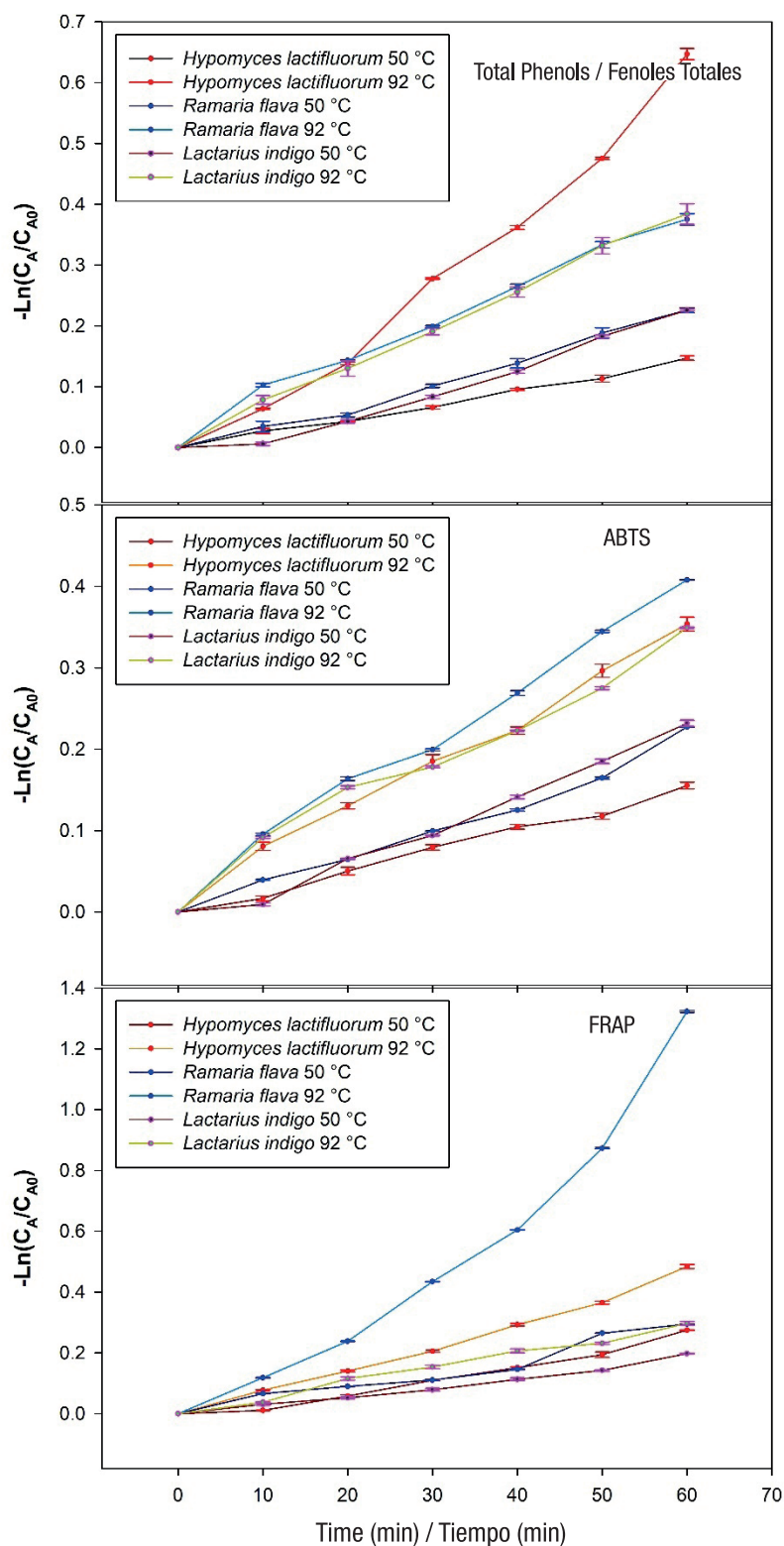


Figure 3. Loss of total phenolic content and antioxidant capacity (ABTS [2,2-azinobis,3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid] and FRAP [ferric reducing antioxidant power] assays) in wild edible mushrooms at two temperatures during 60 min of heating. C_A and C_{A0} : concentrations of the compounds (phenolics and antioxidants) at time t and time 0, respectively.

Figura 3. Pérdida del contenido fenólico total y de la capacidad antioxidante (ensayos ABTS [2,2-azinobis,3-etilbenzotiazolino-6-sulfónico] y FRAP [poder antioxidante férrico reductor]) en hongos comestibles silvestres a dos temperaturas durante 60 minutos de calentamiento. C_A y C_{A0} : concentraciones de los compuestos (fenólicos y antioxidantes) en el tiempo t y en el tiempo 0, respectivamente.

R. flava under 50 °C conditions for 60 min, but at higher temperature (92 °C, 60 min), the reduction ranged from 31 % for *L. indigo* to 48 % for *H. lactifluorum*. These losses are lower than those reported by Jaworska et al. (2015) for *A. bisporus* (38 %) and *P. ostreatus* (65 %) cooked in stew. A study by Öztürk, Öztürk, and Duru (2014), shows that before cooking, the methanolic extract of *R. flava* contained 5.9 mg of phenols per gram of extract and, after cooking, the concentration increased to 9.84 mg of phenols per gram of extract; these results differ from those obtained in the present study. The application of heat treatments to foods rich in antioxidants decreases their content, due to the thermosensitive nature of these compounds. According to Blessington et al. (2010), the loss differences observed could be related to the chemical nature of the phenolic compounds of each species and to the complexity of the matrix in which they are bound to biomolecules such as carbohydrates, fat or proteins.

Concerning antioxidant capacity, in the case of the FRAP assay, the range of loss varied between 26 % for *L. indigo* and 74 % for *R. flava*, while for ABTS, the loss was 29 % for *L. indigo* and 34 % for *R. flava*. The loss of antioxidant capacity was lower than that reported by Jaworska et al. (2015) for *A. bisporus* (50.34 % [ABTS] and 53.55 % [FRAP]) and *P. ostreatus* (53.39 % [ABTS] and 48.52 % [FRAP]).

The kinetic study of the decrease in total phenolic content and antioxidant capacity of the mushrooms evaluated is very useful for the optimization of cooking temperatures and times; for example, according to information provided by people from the municipality of Zacapoaxtla, Puebla, the preparation of the mushrooms collected consists of a boiling heat treatment for 20 minutes. With this information, it is possible to estimate the loss of total phenolic content and antioxidant capacity of each species (Tables 3 and 4); in addition, it could be recommended to lower the cooking temperature for the preservation of bioactive compounds.

Conclusions

Lactarius indigo, *Hypomyces lactifluorum* and *Ramaria flava* represent an important source of nutritional and bioactive compounds beneficial to health. The mushrooms had high protein content (20 to 24 %) and low lipid content (1 to 3.2 %). Regarding the content of phenolic compounds (2.9 to 4.4 mg gallic acid equivalents), *H. lactifluorum* had the highest degradation. On the other hand, *R. flava* showed the highest antioxidant capacity, which decreased as temperature and cooking time increased; however, all three species retained more than 50 % of their antioxidant properties after thermal processing. To avoid or

Cuadro 3, los dos modelos presentaron coeficientes de determinación aceptables; no obstante, el modelo matemático de primer orden tuvo coeficientes de determinación mayores.

De forma similar, la cinética de degradación de la capacidad antioxidante de los hongos se determinó a 50 y 92 °C con intervalos de 10 a 60 minutos. Las constantes de velocidad de la pérdida de capacidad antioxidante para cada especie se muestran en el Cuadro 4. La aplicación del modelo cinético de primer orden tuvo coeficientes de correlación más altos.

La Figura 3 muestra el comportamiento lineal cuando se aplica el modelo cinético de primer orden, tanto del contenido fenólico total como de la capacidad antioxidante (ABTS y FRAP), en las especies sometidas a tratamiento térmico de 50 y 92 °C desde un tiempo 0 a 60 minutos. En las tres variables evaluadas se observa la misma tendencia, a medida que el tiempo y temperatura de cocción incrementan también la degradación de compuestos fenólicos y antioxidantes se eleva. El hongo *H. lactifluorum* presentó mayor degradación de fenoles totales cuando se aplicó una temperatura de 92 °C por 60 min y *R. flava* mostró mayor disminución de capacidad antioxidante a una temperatura de cocción de 92 °C.

De acuerdo con los resultados, las pérdidas de contenido fenólico total fueron 14 % para *H. lactifluorum* y 21 % en *R. flava* bajo condiciones de 50 °C por 60 min, pero a mayor temperatura (92 °C, 60 min), la reducción varió de 31 % para *L. indigo* a 48 % para *H. lactifluorum*. Estas pérdidas son inferiores a las reportadas por Jaworska et al. (2015) (ABTS para *A. bisporus* (38 %) y *P. ostreatus* (65 %) cocinados en estofado. En otro trabajo realizado por Öztürk, Öztürk, y Duru (2014) se encontró que, antes de cocinar, el extracto metanólico de *R. flava* contenía 5.9 mg de fenoles por gramo de extracto y, después de cocinar, la concentración aumentó a 9.84 mg de fenoles por gramo de extracto; estos resultados difieren de los obtenidos en el presente trabajo. La aplicación de tratamientos térmicos en alimentos ricos en antioxidantes disminuye su contenido, debido a la naturaleza termosensible de estos compuestos. De acuerdo con Blessington et al. (2010), las diferencias observadas de pérdida podrían estar relacionadas con la naturaleza química de los compuestos fenólicos de cada una de las especies y con la complejidad de la matriz en la que están unidos a biomoléculas como carbohidratos, grasa o proteínas.

Con respecto a la capacidad antioxidante, en el caso del ensayo FRAP, el intervalo de pérdida varió entre 26 % para *L. indigo* y 74 % para *R. flava*, mientras que para ABTS, la pérdida fue de 29 % para *L. indigo* y 34 % para *R. flava*. En general, la pérdida de capacidad

reduce the degradation of bioactive compounds, it is recommended to reduce the cooking temperature, which is close to or equal to boiling temperature. It is important to generate strategies for the conservation, reproduction, and commercialization of wild mushrooms, and to position them as a functional seasonal food that combines social development, women's empowerment and forest conservation.

Acknowledgments

The authors thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) and the Dirección General de Investigación y Posgrado of the Universidad Autónoma Chapingo for providing funding. The authors also thank the women mushroom collectors who participated in the search for the species studied and thanks to Dr. Emma Estrada Martínez for her guidance in the identification of the species studied.

End of English version

References / Referencias

- Agrahar-Murugkar, D., & Subbulakshmi, G. (2005). Nutritional value of edible wild mushrooms collected from the Khasi hills of Meghalaya. *Food Chemistry*, 89(4), 599–603. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.03.042
- Alvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L. A., Martínez, N. R., & González, G. A. A. (2007). Total phenols and antioxidant activity of commercial and wild mushrooms from Chihuahua, México. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(5), 329–334. doi: 10.1080/11358120709487708
- AOAC International. (2005). *Official methods of analysis of AOAC* (18th ed.). Arlington, TX, USA: Author.
- Aquino-Bolaños, E. N., Urrutia-Hernández, T. A., López Del Castillo-Lozano, M., Chavéz-Servia, J. L., & Verdalet-Guzmán, I. (2013). Physicochemical parameters and antioxidant compounds in edible squash (*Cucurbita pepo*) flower stored under controlled atmospheres. *Journal of Food Quality*, 36(5), 302–308. doi: 10.1111/jfq.12053
- Barros, L., Ferreira, M.-J., Queirós, B., Ferreira, I. C. F. R., & Baptista, P. (2007). Total phenols, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 103(2), 413–419. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.07.038
- Barros, L., Venturini, B. A., Baptista, P., Estevinho, L. M., & Ferreira, I. C. (2008). Chemical composition and biological properties of portuguese wild mushrooms: a comprehensive study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3856–3862. doi: 10.1021/jf8003114
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant

antioxidante fue inferior que la reportada por Jaworska et al. (2015) para *A. bisporus* (50.34 % [ABTS] y 53.55 % [FRAP]) y *P. ostreatus* (53.39 % [ABTS] y 48.52 % [FRAP]).

El estudio cinético de la disminución del contenido fenólico total y de la capacidad antioxidante de los hongos evaluados es de gran utilidad para la optimización de temperaturas y tiempos de cocción; por ejemplo, de acuerdo con la información proporcionada por personas del municipio de Zacapoaxtla, Puebla, la preparación de los hongos recolectados consiste en un tratamiento térmico a ebullición por un tiempo de 20 minutos. Con esta información, se puede estimar la pérdida del contenido fenólico total y la capacidad antioxidante de cada una de las especies (Cuadros 3 y 4); además, se podría recomendar disminuir la temperatura de cocción para la preservación de los compuestos bioactivos.

Conclusiones

Lactarius indigo, *Hypomyces lactifluorum* y *Ramaria flava* representan una fuente importante de compuestos nutricionales y bioactivos benéficos para la salud. Los hongos presentaron alto contenido de proteína (20 a 24 %) y bajo contenido de lípidos (1 a 3.2 %). Con respecto al contenido de compuestos fenólicos (2.9 a 4.4 mg equivalentes de ácido gálico), *H. lactifluorum* tuvo la mayor degradación. Por otra parte, *R. flava* mostró la mayor capacidad antioxidante, que disminuyó cuando la temperatura y el tiempo de cocción aumentaron; sin embargo, las tres especies conservaron más del 50 % de sus propiedades antioxidantes después del procesamiento térmico. Para evitar o reducir la degradación de los compuestos bioactivos, se recomienda la reducción de la temperatura de cocción, la cual es cercana o igual a la de ebullición. Es importante generar estrategias de conservación, reproducción y comercialización de hongos silvestres, y posicionarlos como un alimento funcional de temporada que amalgame el desarrollo social, el empoderamiento de la mujer y la conservación forestal.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo. Asimismo, agradecemos a las mujeres recolectoras de hongos que nos acompañaron a buscar las especies estudiadas y a la Dra. Emma Estrada Martínez por su orientación en la identificación de las especies estudiadas.

Fin de la versión en español

- power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. doi: 10.1006/abio.1996.0292
- Blessington, T., Nzaramba, M. N., Scheuring, D. C., Hale, A. L., Reddivari, L., & Miller, J. C. Jr. (2010). Cooking methods and storage treatments of potato: effects of carotenoids, antioxidant activity and phenolics. *American Journal of Potato Research*, 87, 479e491. doi: 10.1007/s12230-010-9150-7
- Camargo, L., Xavier, V., Alves, J., Flach, A., & Ruffo, S. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu [*Myrciaria dubia* (H. B. K.) Mc Vaugh] fruits. *Scientia Horticulturae Journal*, 186, 223–229. doi: 10.1016/j.scienta.2015.02.031
- Contreras, C. L. E. U., Vázquez, G. A., & Ruan-Soto, F. (2018). Etnomicología y venta de hongos en un mercado del Noroeste del estado de Puebla, México. *Scientia Fungorum*, 47, 47–55. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2594-13212018000100047&lng=es&tlng=es
- Chacón, S., Guzmán, G., Montoya-Bello, L., & Bandala-Muñoz, V. M. (1995). *Guía ilustrada de los hongos del Jardín Botánico Francisco Javier Clavijero de Xalapa, Veracruz y áreas circunvecinas*. Xalapa, Veracruz, México: Instituto de Ecología, A. C.
- Cheung, P. C. K. (2010). The nutritional and health benefits of mushrooms. *Nutrition Bulletin*, 35(4), 292–299. doi: 10.1111/j.1467-3010.2010.01859.x
- Cheung, L. M., Cheung, P. C. K., & Ooi, V. E. C. (2003). Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chemistry*, 81(2), 249–255. doi: 10.1016/S0308-8146(02)00419-3
- de Faria, A. F., de Rosso, V. V., & Mercadante, A. Z. (2009). Carotenoid composition of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*), determined by HPLC-PDA-MS/MS. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(2), 108–115. doi: 10.1007/s11130-009-0111-6
- Estrada-Martínez, E., Guzmán, G., Cibrián, T. D., & Ortega, P. R. (2009). Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la Sierra Nevada (México). *Revista Interciencia*, 34(2), 25–33. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000100006&lng=es&tlng=es
- Faller, A., & Fialho, E. (2009). The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Research International*, 42(1), 210–215. doi: 10.1016/j.foodres.2008.10.009
- Ferreira, I., Barros, L., & Abreu, R. (2009). Antioxidants in wild mushrooms. *Current Medicinal Chemistry*, 16(12), 1543–1560. doi: 10.2174/092986709787909587
- Garibay-Orijel, R., Ramírez-Terrazo, A., & Ordaz-Velázquez, M. (2012). Women care about local knowledge, experiences from ethnomycology. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8(1), 25. doi: 10.1186/1746-4269-8-25
- Garibay-Orijel, R., & Ruan-Soto, F. (2014). Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México. In A. Moreno-Fuentes, & R. Garibay-Orijel (Eds.), *La etnomicología en México, estado del arte*. México: CONACYT-UAEH-UNAM. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S2594-1321201800010004700019&lng=en
- Guzmán, G. (1977). *Identificación de los hongos comestibles, venenosos y alucinantes y destructores de la madera*. Mexico: Ed. Limusa.
- Guzmán, G. (2008). Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 10(3), 209–217. Retrieved from https://inecol.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1005/120/1/8311_2008-10203.pdf
- Haro-Luna, M. X., Ruan-Soto, F., & Guzmán-Dávalos, L. (2019). Traditional knowledge, uses, and perceptions of mushrooms among the Wixaritari and mestizos of Villa Guerrero, Jalisco, Mexico. *IMA Fungus*, 10(1), 16. doi: 10.1186/s43008-019-0014-6
- Hernández-Rodríguez, G., Espinosa-Solares, T., Hernández-Eugenio, G., Villa-García, M., Reyes-Trejo, B., & Guerra-Ramírez, D. (2016). Influence of polar solutions on the extraction of phenolic compounds from capulin fruits (*Prunus serotina*). *Journal of the Mexican Chemical Society*, 60(2), 73–78. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2016000200073&lng=es&tlng=en
- Index Fungorum (2021). Retrieved from <http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>
- Jasso-Arriaga, X., Martínez-Campos, Á. R., & Dorantes-Coronado, E. J. (2019). Más allá de la comercialización de hongos comestibles silvestres en la comunidad de San Antonio Acahualco, México. *AGROProductividad*, 12(5), 9–17. doi: 10.32854/agrop.v0i0.1396
- Jaworska, G., Pogoń, K., Bernas, E., & Duda-Chodak, A. (2015). Nutraceuticals and antioxidant activity of prepared for consumption commercial mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Food Quality*, 38(2), 111–122. doi: 10.1111/jfq.12132
- Kalogeropoulos, N., Grigorakis, D., Mylona, A., Falirea, A., & Andrikopoulos, N. K. (2006). Dietary evaluation of vegetables pan-fried in virgin olive oil following the greek traditional culinary practice. *Ecology of Food and Nutrition*, 45(2), 105–123. doi: 10.1080/03670240500530642
- Kalač, P. (2013). A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 209–218. doi: 10.1002/jsfa.5960
- Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry*, 127(3), 1138–1145. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.115
- León-Guzmán, M. F., Silva, I., & López, M. G. (1997). Proximate chemical composition, free amino acid contents, and free fatty acid contents of some wild edible mushrooms from Querétaro, México. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(11), 4329–4332. doi: 10.1021/jf970640u

- Sari, M., Prange, A., Lelley, J. I., & Hambitzer, R. (2017). Screening of beta-glucan contents in commercially cultivated and wild growing mushrooms. *Food Chemistry*, 216, 45–51. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.08.010
- Sawangwan, T., Wansanit, W., Pattani, L., & Noysang, C. (2018). Study of prebiotic properties from edible mushroom extraction. *Agriculture and Natural Resources*, 52(6), 519–524. doi: 10.1016/j.anres.2018.11.020
- Silva, I., & Lo, M. G. (1997). Proximate chemical composition, free amino acid contents, and free fatty acid contents of some wild edible mushrooms from Querétaro, México. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 45(11), 4329–4332. doi: 10.1021/jf970640u
- Vaz, J. A., Heleno, S. A., Martins, A., Almeida, G. M., Vasconcelos, M. H., & Ferreira, I. C. F. R. (2010). Wild mushrooms *Clitocybe alexandri* and *Lepista inversa*: In vitro antioxidant activity and growth inhibition of human tumour cell lines. *Food and Chemical Toxicology*, 48(10), 2881–2884. doi: 10.1016/j.fct.2010.07.021
- Wang, X. M., Zhang, J., Wu, L. H., Zhao, Y. L., Li, T., Li, J. Q., ...Liu, H. G. (2014). A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-grown mushroom from China. *Food Chemistry*, 151, 279–285. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.11.062
- Yahia, E. M., Gutiérrez-Orozco, F., & Moreno-Pérez, M. A. (2017). Identification of phenolic compounds by liquid chromatography-mass spectrometry in seventeen species of wild mushrooms in Central Mexico and determination of their antioxidant activity and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 226, 14–22. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.01.044
- Zhou, L., Cao, Z., Bi, J., Yi, J., Chen, Q., Wu, X., & Zhou, M. (2016). Degradation kinetics of total phenolic compounds, capsaicinoids and antioxidant activity in red pepper during hot air and infrared drying process. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(4), 842–853. doi: 10.1111/ijfs.13050