

Agrociencia

Volumen 56, Número 3

1 de abril - 15 de mayo, 2022



Dr. Manuel Anaya Garduño

DIRECTORIO

DIRECTOR DE AGROCIENCIA

Said Infante Gil

DIRECTOR ADJUNTO DE AGROCIENCIA

Fernando Carlos Gómez Merino

SUBDIRECTORA DE AGROCIENCIA

Ana Rita Román Jiménez

CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

Roger Austin (**Inglaterra**)

José Sarukhán Kermez (**México**)

Barry C. Arnold (**EUA**)

COMITÉ ASESOR EDITORIAL INTERNO

Jorge Alvarado López

Jorge D. Etchevers Barra

Víctor A. González Hernández

Leopoldo E. Mendoza Onofre

José A. Villaseñor Alva

RESPONSABLES DE LA EDICIÓN

Said Infante Gil

Fernando Carlos Gómez Merino

Ana Rita Román Jiménez

FORMACIÓN, DISEÑO Y MAQUETACIÓN

L. Brenda Espejel Lagunas

TRADUCTORES

Inés Enriquez

Elena Preciado Gutiérrez

Joel Castillo González

Nicolas Crossa

COSECHADOR DE METADATOS

Moises Quintana Arévalo

APOYO

Belem M. Villegas Contreras

Yolanda Feroso Meraz

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS, **Volumen 56, número 3, 1 de abril - 15 de mayo, 2022**, Agrociencia es una publicación sesquimensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. www.colpos.mx. Editor responsable: **Dr. Said Infante Gil**. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo 04-2021-031913431800-203. ISSN: 1405-3195. eISSN: 2521-9766, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dr. Said Infante Gil. Fecha de última modificación, **8 de junio del 2022**.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Toda correspondencia (información de suscripciones, ventas, publicidad, contribuciones de autores, etc.) deberá dirigirse a:

~~~~~  
Oficinas Centrales:

#### DIRECTOR DE AGROCIENCIA

Guerrero #9, Esquina Avenida Hidalgo.

56220. San Luis Huexotla. Texcoco, Estado de México

Apartado Postal 56

56230, Suc. Chapingo, Estado de México

Teléfono: 595 92 84427

[agrociencia@colpos.mx](mailto:agrociencia@colpos.mx)

<http://www.colpos.mx/agrociencia/agrociencia.htm>  
~~~~~

Aviso: Los nombres comerciales citados en los artículos, notas o ensayos, de ninguna manera implica patrocinio por parte de Agrociencia, ni crítica alguna a otros productos similares.

Portada: Dr. Manuel Anaya Garduño



AGRICULTURA

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

CONTENTS ❖ CONTENIDO

Volumen 56

1 de abril - 15 de mayo, 2022

Número 3

Biotechnology ⇌ Biotecnología

PRODUCTION OF *Pleurotus ostreatus* CULTIVATED IN SUBSTRATES MADE FROM TWO INVASIVE WEEDS ⇌ PRODUCCIÓN DE *Pleurotus OSTREATUS* CULTIVADO EN SUSTRATOS ELABORADOS A PARTIR DE DOS ARVENSES INVASORAS

Mirosława Quiñóñez-Martínez, Karina Peña-Avilés, Nina del Rocío Martínez-Ruiz, Fortunato Garza-Ocañas, Jesús Alejandro Nájera-Medellín, Martha Patricia Olivas-Sánchez 405

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PEPTIDES OBTAINED BY ENZYMATIC HYDROLYSIS FROM PROTEINS OF AMARANTH (*Amaranthus hypochondriacus* L.) STUBBLE ⇌ ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE PÉPTIDOS OBTENIDOS POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICAS DE LAS PROTEÍNAS DEL RASTROJO DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus* L.)

Cirilo Hipólito-Nolasco, Ofelia Ramírez-Isidro, Oscar Núñez-Gaona, Alma Xóchil Ávila-Alejandre, Alejandro Hernández-López, María de Jesús García-Gómez 434

Food Science ⇌ Ciencia de los Alimentos

ANTIOXIDANT CAPACITY AND OXIDATIVE STABILITY OF AN AVOCADO BY-PRODUCT PASTE WITH AND WITHOUT SEED ⇌ CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ESTABILIDAD OXIDATIVA DE UNA PASTA DE SUBPRODUCTO DE AGUACATE CON Y SIN SEMILLA.

Andrés Concepción-Brindis, Edgar Iván Jiménez-Ruiz, Javier Germán Rodríguez-Carpena, María Teresa Sumaya-Martínez, Leticia Mónica Sánchez-Herrera, Viridiana Peraza-Gómez, Nathaly Montoya-Camacho⁵, Víctor Manuel Ocaño-Higuera 451

Animal Science ⇌ Ciencia Pecuaria

GROWTH ANALYSIS OF WHITE CLOVER (*Trifolium repens* L.) AND INDIRECT METHODS TO ESTIMATE ITS FORAGE YIELD ⇌ ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DEL TRÉBOL BLANCO (*Trifolium repens* L.) Y MÉTODOS INDIRECTOS PARA ESTIMAR SU RENDIMIENTO FORRAJERO.

Joel Ventura-Ríos, María de los Ángeles Maldonado-Peralta, Aldenamar Cruz-Hernández, Santiago Joaquín-Cancino, Adelaido Rafael Rojas-García 469

Wildlife ⇌ Fauna Silvestre

POPULATIONAL ATTRIBUTES OF THE CENTRAL AMERICAN RED BROCKET DEER (*Mazama temama*) IN THE SIERRA DE ZONGOLICA, VERACRUZ, MEXICO ⇌ ATRIBUTOS POBLACIONALES DEL VENADO TEMAZATE ROJO (*Mazama temama*) EN LA SIERRA DE ZONGOLICA, VERACRUZ, MÉXICO.

Juan Salazar-Ortiz, Miguel Barrera-Perales, María Guadalupe Bravo-Vinaja, Ricardo Serna-Lagunes, Carlos de Jesús Ocaña-Parada, Fernando Isaac Gastelum-Mendoza 492

Crop Science ⇌ Fitociencia

DETERMINATION OF THE EFFECTIVE DOSE OF PHOSPHORUS IN LEMON EUCALYPTUS PLANTS (*Corymbia citriodora*) ⇌ DETERMINACIÓN DE LA DOSIS EFICIENTE DE FÓSFORO EN PLANTAS DE EUCALIPTO LIMÓN (*Corymbia citriodora*).

José Luis Soto-Gonzales, Sergio Valiengo-Valeri, Mara Cristina Pessôa-da-Cruz, Rinaldo Cesar de Paula, José Vulfrano González-Fernández 518

Natural Renewable Resources ⇌ Recursos Naturales Renovables

ECOLOGICAL REHABILITATION INDICATORS FOR ONE EUCALYPTUS REFORESTATION WITH AN OAK FOREST AS REFERENCE ⇌ INDICADORES DE REHABILITACIÓN ECOLÓGICA PARA UNA REFORESTACIÓN DE EUCALIPTO CON UN BOSQUE DE ENCINO COMO REFERENCIA.
Cristina **Herrera-Ramos**, Amador **Rafael-de Jesús**, Dante Arturo **Rodríguez-Trejo**, Alejandro **Corona-Ambriz**, Reyes **Bonilla-Beas**[†] 547

EFFECT OF SOIL CONSERVATION TILLAGE ON THE STRUCTURE OF EDAPHIC FAUNA COMMUNITIES ⇌ EFECTO DE LABRANZA DE CONSERVACIÓN DEL SUELO SOBRE LA ESTRUCTURA DE COMUNIDADES DE FAUNA EDÁFICA
Félix David **Murillo-Cuevas**, Héctor **Cabrera-Mireles**, Jacel **Adame-García**, Sergio **Uribe-Gómez**, Jazmín **Villegas-Narváez** 579

GREEN MANURE AS A SOIL FERTILITY AND ENVIRONMENTAL OPTION IN SEMIARID AGROSYSTEMS: MINERALIZATION RATE AND N CONTENT ⇌ ABONOS VERDES: UNA OPCIÓN PARA LA FERTILIDAD DEL SUELO Y EL AMBIENTE EN AGROSISTEMAS SEMIÁRIDOS-TASA DE MINERALIZACIÓN Y CONTENIDO DE N
León Bartolomé **Hernández-Herrerías**, Fernando **De León-González**, Luis Manuel **Rodríguez-Sánchez**, Edgar **Barrales-Brito**, Claudia **Hidalgo Moreno**, Mariela Hada **Fuentes-Ponce** 610

Socioeconomics ⇌ Socioeconomía

INTERVENTION AND FORECAST MODELS FOR THE PRICE PAID TO PRODUCERS OF BEE (*Apis mellifera* L.) HONEY IN MEXICO ⇌ MODELO DE INTERVENCIÓN Y PRONÓSTICO DE PRECIOS PAGADOS AL PRODUCTOR DE LA MIEL DE ABEJA (*Apis mellifera* L.) EN MÉXICO.
Samuel **Luis-Rojas**, Roberto Carlos **García-Sánchez**, Roberto **García-Mata**, Oscar Antonio **Arana-Coronado**, Benito **Ramírez-Valverde** 638

PRODUCTION OF *Pleurotus ostreatus* CULTIVATED IN SUBSTRATES MADE FROM TWO INVASIVE WEEDS

Miroslava Quiñónez-Martínez^{1*}, Karina Peña-Avilés¹, Nina del Rocío Martínez-Ruiz¹, Fortunato Garza-Ocañas², Jesús Alejandro Nájera-Medellín¹, Martha Patricia Olivas-Sánchez¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Av. Benjamín Franklin No. 4650, Zona PRONAF, Cd. Juárez, Chihuahua, México. C. P. 32315

² Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional 85 km 145, Linares, Nuevo León, México. C. P. 67700

* Corresponding author: mquinone@uacj.mx

ABSTRACT

The species *Pleurotus ostreatus* is an edible mushroom with a high commercial value, cultivated for its ease and adaptability in substrates based on agro-industrial waste. The plant species *Solanum elaeagnifolium* and *Salsola kali* are two invasive weeds that spread rapidly in crops, ruderal or urban areas, representing high-cost agricultural losses and environmental impact. The hypothesis of this research was that at least one of the weeds would increase the production and quality of *P. ostreatus*. The objective was to evaluate the biological efficiency and carpophore productivity of *P. ostreatus* with the use of substrates elaborated and combined from *S. elaeagnifolium* and *S. kali*. The fungal cultures were carried out with substrates generated from mixtures of weeds and using wheat straw as a control; from these combinations, seven treatments and four replicates were obtained in a completely randomized design. The carpophores obtained were measured for the width and length of the pileus and stipe, total production (g), biological efficiency (%), and proximate analysis of the harvested mushrooms was performed. Maximum production was 23.30 mushrooms, with minimum of 3.67 carpophores. The width and length of the pileus were 8.30-11.70 cm and 8.40-11.40 cm, respectively. The stipe length variable showed widths of 1.40-2.30 cm and lengths of 2.80-6.20 cm. The weights obtained were up to 358.33 g, with a minimum of 95.10 g. Proximate analysis showed carpophores with the following composition: 82.25-91.37 % moisture; 1.71 to 13.66 % ash; 15.70 to 20.93 % protein; 0.40 to 1.55 % lipids and 8.60-17.7 % dry matter. The variables evaluated showed differences ($p \leq 0.05$), being the substrates made with 100 % *S. elaeagnifolium* the ones with the highest biological efficiency, carpophore production, harvest weight and nutritional value. The species *P. ostreatus* proved to be efficient in providing substrate for two weeds, as well as producing carpophores with high protein content.

Keywords: edible mushrooms, invasive weeds, *Salsola kali*, *Solanum elaeagnifolium*.

INTRODUCTION

Mushroom *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm is one of the most cultivated macromycetes worldwide, ranking second only to *Agaricus bisporus* (Romero-Arenas *et al.*, 2015). This mushroom is characterized by presenting a carpophore with a fleshy

Citation: Quiñónez-Martínez M, Peña-Avilés K, Martínez-Ruiz NR, Garza-Ocañas F, Nájera-Medellín JA, Olivas-Sánchez MP. 2022. Production of *Pleurotus ostreatus* cultivated in substrates made from two invasive weeds.

Agrociencia. 56(3): 405-433. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i3.2796>

Editor in Chief:
Dr. Fernando C. Gómez Merino

Received: July 31, 2021.
Approved: April 12, 2022.
Published in *Agrociencia*:
May 9, 2022.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



texture, pleasant taste, and odour (Sekan *et al.*, 2019). It also represents an alternative food source rich in protein, in all essential amino acids, carbohydrates, vitamins (thiamine and riboflavin) and minerals (K, Fe, Na, P and Ca) (Corrêa *et al.*, 2016). The cultivation technique for the *P. ostreatus* mushroom is well standardized and industrialized on a wide variety of lignocellulosic substrates, has high biological efficiency (EB) (> 40 %), is low cost, and the carpophore develops rapidly and is not usually attacked by diseases and pests (Jin *et al.*, 2020). Mushrooms of the genus *Pleurotus* require substrates with sources of carbon, nitrogen and inorganic compounds, carbon being the element that this mushroom requires in greater proportion. This mushroom is efficient in degrading various cellulose, hemicellulose, lignin, and other complex carbohydrate-based substrates with ease (Koutrotsios *et al.*, 2014; Pandey and Singh, 2014; Song *et al.*, 2020).

Mexico has shown an increase in the production of *P. ostreatus* in the last fifteen years, being currently the country that contributes the largest production in Latin America (80 % of the total production) with a yield that exceeds 60 000 Mg per year (García-Calderón *et al.*, 2021). The production of this mushroom represents a profitable industry with high biotechnological potential in the country since it allows the use of various agro-industrial wastes (Sekan *et al.*, 2019), and other non-conventional materials such as seaweeds (for example, *Glacilaria* spp., *Laminaria* spp., *Sargassum* spp. and *Ulva* spp.) (Kaaya *et al.*, 2011; Hausiku and Mupamwa, 2018).

The species *Solanum elaeagnifolium* Cav. is a sub-shrubby herbaceous perennial that inhabits scrub and grassland regions from the central United States to South America, with a preference for disturbed sites, and has become a problematic species that requires control and proper management in Mexico. The rapid spread of this weed causes significant economic losses due to reduced crop yields, derived from competition (light, water, space, and nutrients), as well as higher incidence of pests and diseases (Uludag *et al.*, 2016). Nevertheless, the plant shows an interesting composition in protein, minerals, and total carbohydrates (Mellado *et al.*, 2008). On the other hand, the species *Salsola kali* L. is an annual herbaceous introduced in the American continent, distributed from Canada to central Mexico, in arid and semi-arid regions; it is considered an active allelopathic species and its propagation significantly reduces agricultural production. This species also has negative impacts on the environment, given its high level of invasiveness to crops, in addition to being a host plant for the beet leafhopper (*Circulifer tenellus*), an insect that transmits the curly top virus, a disease that affects various species of agricultural importance such as sugar beets, tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.). The latter weed has protein contents in the range of 5.40 to 22.30 %, and total carbohydrates in the range 23.10 to 58.00 % (Hanif *et al.*, 2018).

The hypothesis of this study was that at least one of the weeds used as substrate would increase carpophore production and nutrient content of *P. ostreatus* compared to the use of conventional wheat (*Triticum aestivum*) straw. The objective was to evaluate the biological efficiency and productivity of *P. ostreatus* with the use of substrates

based on *S. elaeagnifolium* and *S. kali* and to evaluate their effect on the composition of harvested carpophores.

MATERIALS AND METHODS

Collection and preparation of substrates

S. elaeagnifolium and *S. kali* plants were collected from disturbed areas and vacant lots in Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico (31° 44' 39.7 "N 106° 26' 25.8 "W), from July to September. Preference was given to plants that were already dry. Once collected, the plants were stored in raffia sacks and transferred to the Biodiversity Laboratory of the Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). In parallel, duplicates of these species of weed were collected, which were contrasted with specimens from the UACJ Herbarium, and then left in safekeeping (*S. elaeagnifolium*: 0.00778; *S. kali*: 001241). Only stems of *S. elaeagnifolium* were used, while stems and leaves were used for *S. kali*. In both cases they were cut into 2 to 4 cm fragments. The wheat straw was purchased from a commercial supplier in Ciudad Juárez; proximate composition reported for these study plants is included (Table 1).

The fragments of the weeds were placed in containers with water and kept soaking for 24 hours. Subsequently, they were subjected to a pasteurization process for 2 h in 18.92 L capacity metal pots, maintaining a constant temperature of 70 °C. Once the process had elapsed, they were spread out on metal tables to accelerate cooling; when they reached room temperature, 20 g of calcium carbonate were added to reduce the growth of yeasts and bacteria during the first days of incubation (Pandey and Singh, 2014).

Substrate inoculation and incubation

The sowing of the inoculum was carried out using sorghum grain (*Sorghum bicolor*) colonized with mycelium of *P. ostreatus* (HONCOP) and kept under refrigeration (3 – 4 °C) until use. Inoculation was carried out on surfaces disinfected with a 0.5 % sodium hypochlorite-chlorine solution.

The substrate was placed in 36 x 49 cm (2 kg) clear plastic bags and 400 g of *P. ostreatus* mycelium inoculum was applied to each replicate. For filling, a layer of substrate was placed on top of a layer of inoculum. This process was repeated until the production

Table 1. Proximate composition of dry residues of *Triticum aestivum*, *Solanum elaeagnifolium* and *Salsola kali* species.

	Wheat straw [†]	<i>Solanum elaeagnifolium</i> [‡]	<i>Salsola kali</i> [§]
Dry matter (%)	90.10	81.40	80.20
Ash (%)	11.04	11.40	12.0
Lipids (%)	0.73	2.50	2.17
Protein (%)	3.34	15.00	21.50
Total carbohydrates (%)	38.54	32.80	48.40

Source: [†]Romero-Arenas *et al.* (2018); [‡]Mellado *et al.* (2008); [§]Hanif *et al.* (2018).

units were completely filled and closed with the aid of a sterile rubber band. Finally, each bag was labelled with data on the substrate used, bag number and date of planting, according to the methodology described by Mleczek *et al.* (2021).

The experimental design was completely randomized with seven different treatments and four replicates for each. 1: substrate composed of 100 % *S. elaeagnifolium* (SE); 2: substrate composed of 100 % *S. kali* (SK); 3: control substrate with 100% wheat straw (PT); 4: combination substrate 50 % *S. elaeagnifolium* and 50 % *S. kali* (SE-SK); 5: combination substrate 50 % wheat straw and 50 % *S. elaeagnifolium* (PT-SE); 6: combination substrate 50 % wheat straw and 50 % *S. kali* (PT-SK); and 7: substrate composed of 1/3 of *S. elaeagnifolium*, *S. kali* and wheat straw (SE-SK-PT), respectively. Each bag with substrate was considered an experimental unit.

The production units were transferred to an incubation area in darkness, where they remained for 20 to 30 d at a temperature of 23-25 °C; these were monitored daily to detect possible sources of contamination (mold, bacteria, or insects) (Mleczek *et al.*, 2021). Once the mycelium colonized the substrates completely and the first primordia appeared, the cultures were transferred to a fruiting area where they received ten hours of illumination, temperature between 20 to 22 °C and humidity at 70-80 % (Lisiecka *et al.*, 2021). Mature carpophores were harvested with the aid of a sterilized razor, according to the protocols described by Pandey and Singh (2014), with some modifications.

Determination of production parameters and their statistical analyses

Data collection was carried out after harvesting was completed. The variables considered were quantity of harvested carpophores, total production (g) and morphometry (length and width of the pileus and stipe) of the carpophores. Statistical analysis consisted of a one-way analysis of variance (ANOVA) and a Tukey's test of means ($p \leq 0.05$) to identify differences between treatments. The tests were performed with the help of the statistical package IBM SPSS ver. 25.0 (IBM, 2017). Biological efficiency (EB; capacity of mushrooms to convert a substrate into fruiting bodies) was determined for each of the treatments using the formula proposed by Díaz-Muñoz *et al.* (2019):

$$EB = \frac{\text{Total weight of fresh fruiting bodies}}{\text{Weight of the dry substrate}} \times 100$$

Proximate analysis and statistical analysis

Moisture content and dry matter were determined by the stove drying method (AOAC, 2000; 926.08), ash was determined by the muffle calcination protocol (AOAC, 2000; 935.42), protein was determined by the Kjeldhal method (AOAC, 2000; 920.123-1920), using a conversion factor of 4.38, and fat was determined by the Soxhlet method (AOAC, 2000). Total carbohydrates were determined by the difference method (AOAC, 2000; FAO, 2002). The energy calculation for the different treatments was performed using Atwater's general factor system (DFI, 2015). The tests were performed in triplicate and

about 80 to 100 g of powdered carpophores were used for each analysis. A one-way analysis of variance (ANOVA) and a Tukey's multiple means test ($p \leq 0.05$) were performed to identify differences in moisture, dry matter, ash, protein, total fat, and carbohydrate composition among the seven treatments evaluated. The tests were performed in the statistical package IBM SPSS ver. 25.0. (IBM, 2017).

RESULTS AND DISCUSSION

Morphometric measurements

The quality properties of the mushroom have been related to the size of the carpophore, as well as that of the pileus (cap) and stipe (Owaid *et al.*, 2015). The results for the evaluation of morphometric measurements of the carpophores produced indicate differences in all cases ($p \leq 0.05$). For pileus width (Figure 1A) the best response was obtained when implementing a combination of *S. elaeagnifolium* and wheat straw (PT-SE) (11.74 ± 0.75 cm); the lowest averages for pileus width were found in the SE-SK-PT combination (8.3 ± 0.57) ($F = 5.80$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$).

In the variable of pileus length, it can be observed that the PT-SK treatment presented a better response in length (11.38 ± 0.73 cm). The treatments SE-SK (10.46 ± 1.47 cm), PT (10.71 ± 0.82 cm), SK (10.40 ± 0.51) and SE-SK-PT (9.73 ± 0.79 cm) obtained a similar performance with values close to those presented by PT-SK (Figure 1B). In general, the treatments in combination with wheat straw (PT-SE; PT-SK) and those in combination with the proposed substrates (SE-SK) had the best response in the length and width of *P. ostreatus* carpophore pileus ($F = 4.74$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$).

The results for the stipe measurements agreed with those reported by Jonathan *et al.* (2012a) who obtained average lengths of *P. ostreatus* carpophore stipes ranging from 4 to 8 cm using substrates based on rice stubble, cotton, and sawdust of *Milicia excelsa*. Atila (2016) reported diameter measurements of the pileus ranging from 4.64 cm to 7.28 cm, while Andries and Vasilica (2017) obtained carpophores ranging from 10 to 13.5 cm in length. Carpophores with large pileus dimensions represent a commercial attraction, as the consumer aims for larger mushrooms in the case of this species.

For stipe width (Figure 2A), the best response was presented in the SE-SK-PT treatment (3.30 ± 0.39 cm), followed by SK (2.3 ± 0.15 cm) and with the lowest values in SE (1.4 ± 0.15 cm) ($F = 18.27$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$). In contrast to the width of the pileus, which was wider in the combination treatments, the values obtained for stipe width were more heterogeneous in all treatments.

Regarding stipe length values (Figure 2B), greater homogeneity was observed, since treatments SK (5.57 ± 0.47 cm), PT (6.23 ± 0.55 cm), SE-SK (5.40 ± 0.50 cm) and PT-SK (5.57 ± 0.43) presented similar statistical values, while the smallest length on average was recorded in SE-SK-PT (2.81 ± 0.34 cm) ($F = 12.66$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$).

The length of the stipe can vary between 2.80 cm and 8.80 cm (Jonathan *et al.* (2012a), although they can also be smaller 3 cm (Andries and Vasilica, 2017). Thinning of the pileus and stipe can be caused by lack of light and faced with the presence of substances in the substrate that cannot degrade the mushroom, the carpophores tend to show abnormal growth (Aghajani *et al.*, 2018). The values reported in the present

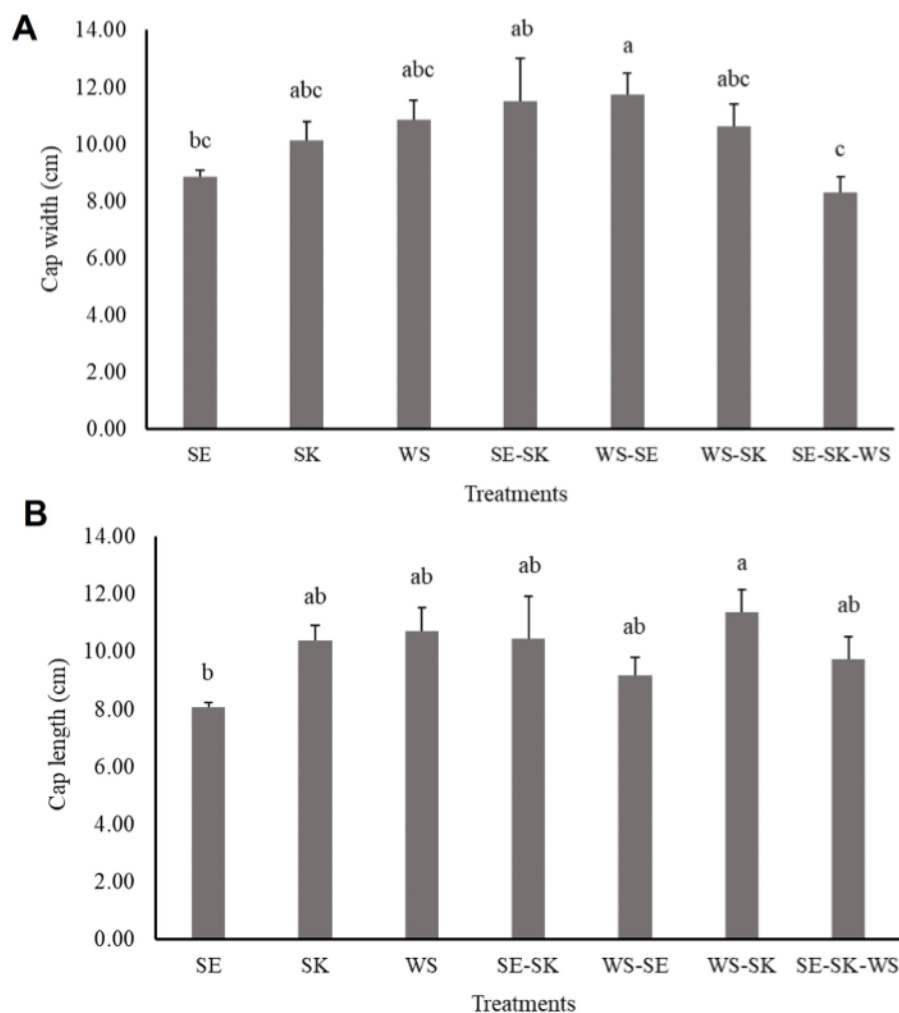


Figure 1. Means for *Pleurotus ostreatus* pileus produced in the seven treatments evaluated. A: measurements of the pileus width. B: measurements of the pileus length. Different letters in columns indicate statistical differences between treatments (Tukey; $p \leq 0.05$). SE: 100 % *Solanum elaeagnifolium*; SK: 100 % *Salsola kali*; PT: 100 % wheat straw (control); SE-SK: 50 % *S. elaeagnifolium* and 50 % *S. kali*; PT-SE: 50 % wheat straw and 50 % *S. elaeagnifolium*; PT-SK: 50 % wheat straw and 50 % *S. kali*; SE-SK-PT: 1/3 of *S. elaeagnifolium*, *S. kali* and wheat straw.

study for stipe length can be attributed to deficiencies in light conditions, but not to the presence of any substance in the substrate that has affected the development of the carpophores, because in the control group (PT) high values were also obtained for the length of the pileus (6.23 ± 2.79 cm) and this substrate is used in other investigations as a control, since very good yields have been obtained (Pandey and Singh, 2014). The difference in the growth pattern of morphometric variables may be related to the different chemical compositions of the substrates (Jonathan *et al.*, 2012b). The development and size of the mushroom stipe and pileus can also be affected by environmental (temperature, humidity, fresh air) and spatial conditions (Jonathan

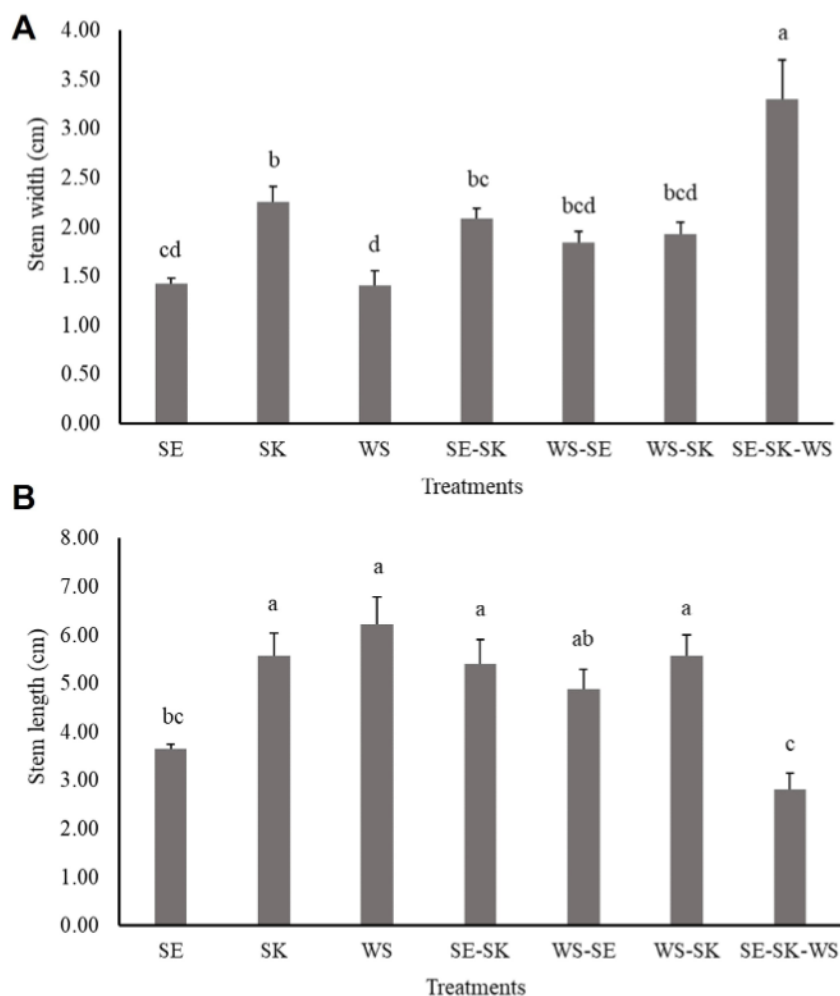


Figure 2. Means for *Pleurotus ostreatus* stipes produced in the seven treatments evaluated. A: measurements of stipe width. B: measurements of the stipe length. Different letters in columns indicate statistical differences between treatments (Tukey; $p \leq 0.05$). SE: 100% *Solanum elaeagnifolium*; SK: 100% *Salsola kali*; PT: 100% wheat straw (control); SE-SK: 50% *S. elaeagnifolium* and 50% *S. kali*; PT-SE: 50% wheat straw and 50% *S. elaeagnifolium*; PT-SK: 50% wheat straw and 50% *S. kali*; SE-SK-PT: 1/3 of *S. elaeagnifolium*, *S. kali* and wheat straw.

et al., 2012a). The latter is consistent with the treatments in which the number of carpophores produced was lower, and consequently there was more space for development, and they presented greater length and width in the stipe and pileus (Figure 3).

Carpophore production, mass, and biological efficiency

The results obtained for total production show differences ($F = 8.851$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$), with the SE treatment having the highest mass production (g) with a total of 358.33 ± 8.33 g, followed by the control group PT (220.00 ± 5.00 g). Regarding the combination

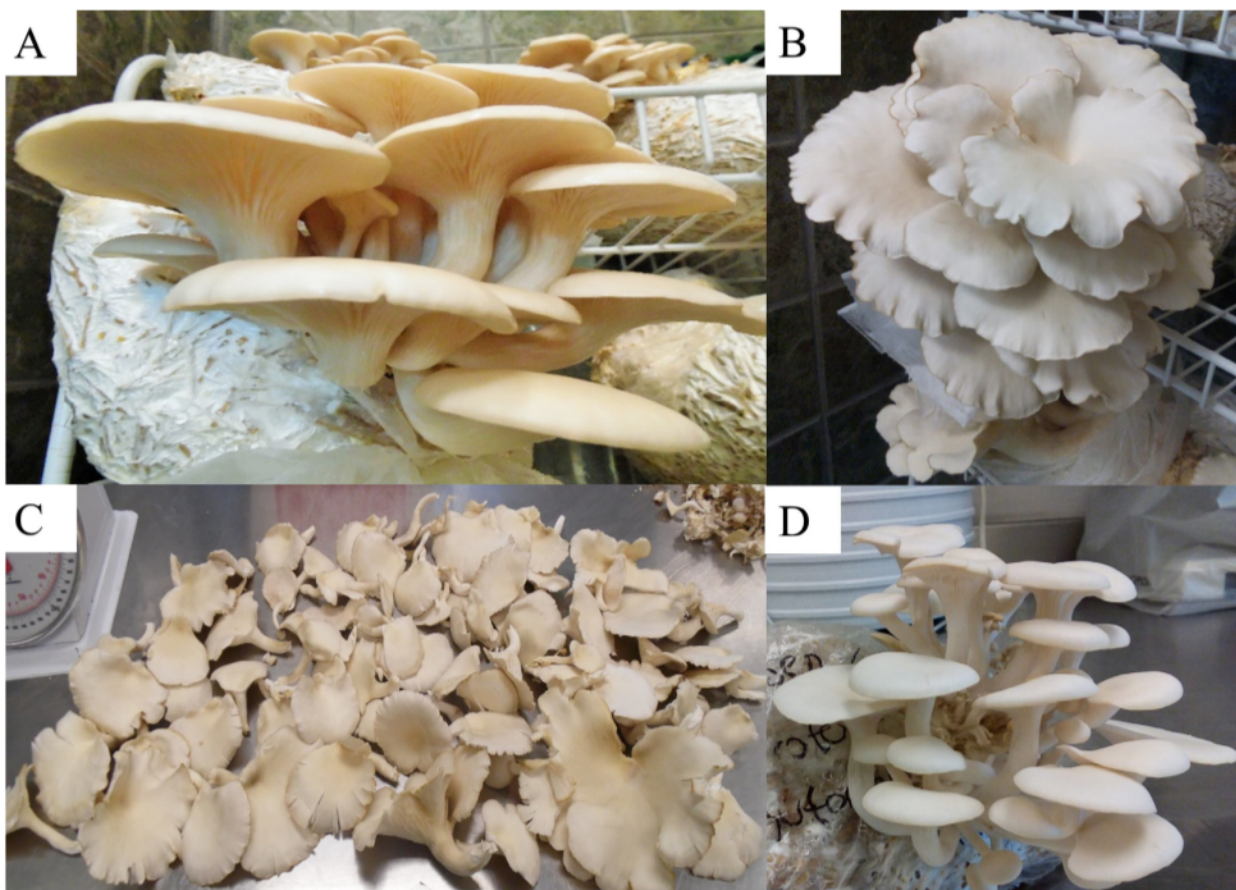


Figure 3. Carpophores of *Pleurotus ostreatus* collected from different treatments. A: carpophores from PT treatment; B: carpophores from PT-SE treatment; C: carpophores from SE treatment; D: carpophores from PT-SK treatment. SE: 100% *Solanum elaeagnifolium*; PT: 100% Wheat straw (control); PT-SE: 50% wheat straw and 50% *S. elaeagnifolium*; PT-SK: 50% wheat straw and 50% *S. kali*.

treatments, the highest values were for the PT-SE treatment (186.10 ± 61.12 g) (Table 1). This variable is related to the number of carpophores produced, being SE the treatment that also obtained the best response in this variable. Although no studies have been conducted on *P. ostreatus* production with the proposed substrates, the results match the values reported by Moran-Arellanos *et al.* (2020), who obtained a carpophore weight ranging from 93.75 g to 187.37 g in substrates based on bean stubble, wheat straw and guaje or huaxin (*Leucaena leucocephala*) husk, although they are higher than those found with substrates based on chihua squash (*Cucurbita argyrosperma*) pulp (35 g) and guazima or pixoi (*Guazuma ulmifolia*) fruit (Moran-Arellanos *et al.*, 2020). The total yield of carpophores produced per treatment also showed differences ($F = 7.66$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$), with the SE treatment producing the highest amount (23.33 ± 4.33 mushrooms), the rest of the substrates had similar statistical results, ranging from 3.67 ± 0.67 - $7.67 \pm 0.67 \pm 0.88$ mushrooms produced (Table 2). These results match those

Table 2. Total production, carpophore, and biological efficiency of *Pleurotus ostreatus* in the seven treatments evaluated.

Treatment	Total production (g)	Effective carpophore production (n)	Biological efficiency (%)
SE	358.33±8.33 a	23.33±4.33 a	50.00 a
SK	200.00±14.43 bc	4.33±.33 b	42.47 b
PT	220.00±5.00 b	7.67±0.88 b	42.47 b
SE-SK	95.10±9.73 c	3.67±0.67 b	13.41 e
PT-SE	186.10±61.12 bc	5.67±1.20 b	25.85 c
PT-SK	109.03±8.24 bc	3.67±0.67 b	19.56 d
SE-SK-PT	101.70±6.38 bc	4.33±0.33 b	17.48 d

Different letters in the same column indicate statistical differences between treatments (Tukey; $p \leq 0.05$). SE: 100% *Solanum elaeagnifolium*; SK: 100% *Salsola kali*; PT: 100% wheat straw (control); SE-SK: 50% *S. elaeagnifolium* and 50% *S. kali*; PT-SE: 50% Wheat straw and 50% *S. elaeagnifolium*; PT-SK: 50% wheat straw and 50% *S. kali*; SE-SK-PT= 1/3 of *S. elaeagnifolium*, *S. kali* and wheat straw.

presented by Hoa *et al.* (2015), who reported carpophore production ranges from 2.17 to 10.32 in substrates of wood sawdust and corn stubble (*Zea mays*), obtaining the highest amount in substrates that were composed entirely of 100 % of any of these agro-industrial wastes. Andries and Vasilica (2017) harvested carpophores produced on wheat straw enriched with sunflower (*Helianthus annuus*) stubble in the range of 10.50–13.00 carpophores. In general, both authors agree that productivity depended on the type of substrate used for cultivation, as well as the strain used. The high carpophore production of the SE treatment may be due to the fact that the chemical composition of *S. elaeagnifolium* reflects that it is rich in lignocellulosic material, structural carbohydrates and crude fibre, protein, and free nitrogen extracts (Mellado *et al.*, 2008).

The EB presented ranges from 17 % in the SE-SK-PT substrate to 50 % in SE, the minimum and maximum respectively ($F = 18.47$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$). In general, medium to low values are reported for the biological efficiency of *P. ostreatus* on the substrates evaluated during this study. In the composite substrates, lower EB were observed with the lowest values (25.85–12.41 %). The formation of substrates from various plant sources results in a lower biological efficiency (54.10 % in substrates of wheat straw and olive tree pruning residues (*Olea europaea*) compared to that obtained by the control group (105.00 % in wheat straw) (Abou-Fayssal *et al.*, 2020), which agrees with our results. It is important to note that the means observed in this study are higher than those observed by Díaz-Muñoz *et al.* (2019), who obtained EB less than 20 % in lignin-rich substrates based on sugarcane bagasse (*Saccharum* spp.) (16.77 %), corn stover (12.10 %), rice straw (*Oryza sativa*) (8.65 %) and grass pruning residues (9.97 %). EB can be affected by a wide variety of factors and variants present in the experiment, including the type of substrate, substrate preparation (sterilization, pasteurization), size of the container used for cultivation, presence of contaminants and pests, CO₂ concentration, light, temperature, pH, among others (Atila, 2016).

Proximate analysis

The results obtained from the proximate analysis of the carpophores harvested from the six treatments and the positive control are reported as percentage of weight on dry basis (Table 3). Significant differences were found in all treatments ($p \leq 0.05$).

The moisture content of harvested carpophores showed significant differences among treatments, ranging from 82.25 to 91.37 %. The highest moisture value was obtained in the carpophores of the PT treatment (91.37 ± 0.04 %), followed by the PT-SK combination treatment (90.84 ± 0.08 %), and the lowest moisture value was recorded in the carpophores of the SE-SK and SK treatment (86.66 ± 0.03 and 82.25 ± 0.64 %, respectively). On the other hand, in dry matter, it was found that the SK treatment presented the highest percentages (17.71 ± 1.11 %), while SE and SE-SK-PT showed the lowest amount (10.40 ± 0.10 and 10.30 ± 0.07 %, respectively) ($F = 159.71$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$) (Table 3). Similar results are observed in the studies of Mintesnot *et al.* (2014), who obtained moisture values from 89.38 % to 92.42% in three different strains of *P. ostreatus* on wheat straw, similarly, they recorded the lowest moisture values for treatments made with substrate based on three invasive plant species: 86.61% with *Lantana camara*; 88.06 % with *Parthenium incanum*; and 85.92 % with *Prosopis juliflora*.

Due to the difference in moisture content of the samples, ash, protein, fat, and carbohydrate data were analysed on a dry weight basis (Table 3). Results for ash content of carpophores ranged from 1.71 to 13.66 %. The highest value was obtained in the SE-SK treatment (13.66 ± 0.16 %), followed by PT-SK (11.56 ± 0.13 %). The lowest values were presented in the treatments without substrate combination, with the control PT showing the lowest value (1.71 ± 0.02 %) ($F = 1648.29$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$). The ash content is related to the substrate used and gives a general idea about the mineral content of the carpophores, which is consistent with the data obtained.

Protein content ranged from 15.70 to 20.93 %; the treatment that provided carpophores with more protein was the SE-SK combination (20.93 ± 0.06 %), followed by SK (20.87 ± 1.88 %) ($F = 20.47$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$) (Table 3). These values fall within the range of 14 to

Table 3. Proximate analysis of *Pleurotus ostreatus* carpophores produced from seven evaluated treatments.

Treatment	Moisture (%)	Dry matter (%)	Ash* (%)	Proteins* (%)	Lipids* (%)	Total carbohydrates* (%)
SE	89.62±0.06 c	10.38±0.06 d	5.49±0.08 d	20.74±0.47 ab	0.40±0.00 f	62.98±0.41 b
SK	82.25±0.64 d	17.74±0.64 a	4.85±0.18 e	20.87±1.08 a	1.49±0.00 b	55.02±1.70 d
PT	91.37±0.04 a	8.62±0.04 f	1.71±0.01 f	16.64±0.33 cd	0.59±0.00 e	72.41±0.32 a
SE-SK	86.66±0.03 d	13.33±0.03 b	13.66±0.09 a	20.93±0.03 a	1.02±0.01 c	51.03±0.09 e
PT-SE	88.91±0.05 c	11.09±0.05 c	11.10±0.15 bc	19.36±0.27 ab	0.70±0.00 d	57.73±0.19 d
PT-SK	90.84±0.08 ab	9.15±0.08 e	11.56±0.08 b	17.53±0.09 c	0.99±0.00 c	60.75±0.13 c
SE-SK-PT	89.66±0.64 bc	10.33±0.04 d	10.89±0.09 c	15.70±0.19 d	1.55±0.01 a	61.50±0.17 c

Mean values ± EE. *Data on dry weight basis of the samples. Different letters indicate significant difference between the different treatments (Tukey; $p \leq 0.05$). SE: 100% *Solanum elaeagnifolium*; SK: 100% *Salsola kali*; PT: 100% wheat straw (control); SE-SK: 50% *S. elaeagnifolium* and 50% *S. kali*; PT-SE: 50% wheat straw and 50% *S. elaeagnifolium*; PT-SK: 50% wheat straw and 50% *S. kali*; SE-SK-PT: 1/3 of *S. elaeagnifolium*, *S. kali* and wheat straw.

32 % proposed by Koutrotsios *et al.* (2014). Our results are similar to those reported by Jin *et al.* (2018) who found values from 18.35 to 25.86 %, although they are lower than those presented by Li *et al.* (2017) on mushrooms grown on cottonseed (*Gossypium hirsutum*) husk and perilla (*Perilla frutescens*) stems (20.50 to 26.10 %). These differences in protein content have been directly accounted for by the type of substrate used, as a result of differences in nutrient supply and ability of the mushroom to degrade the substrate (Gupta *et al.*, 2016).

Lipid content ranged from 0.40 to 1.55 %. The highest value was found in the SE-SK-PT treatment (1.55 ± 0.02 %), followed by SK (1.49 ± 0.00 %), while the lowest was for SE (0.40 ± 0.00 %) ($F = 2653.19$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$). These results were lower than those reported by Jin *et al.* (2018) on *P. ostreatus* carpophores produced on corn stubble and supplemented with plant residues, who obtained a fat range from 2.34 to 2.58%. However, the lipid content did not exceed the limit of 6% proposed for mushrooms (Carrasco-González *et al.*, 2017).

Total carbohydrate content was highest in the PT treatment (71.41 ± 0.56 %), followed by the SE treatment (62.98 ± 0.72 %), while the lowest was presented in the SE-SK treatment (51.03 ± 0.16 %) ($F = 369.16$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$). Using wheat straw, carbohydrate contents of 62.54 to 71.26 % were also found. This matches with those reported by Jin *et al.* (2018). Carbohydrate contents of 57 % were reported in *Pleurotus ostreatus* produced on substrates made from almond husk (*Prunus dulcis*) and nutshells up to 76% in *Pleurotus* grown on substrates made from *Pinus* spp. needles (Koutrotsios *et al.*, 2014).

Protein and carbohydrate content vary in mushroom carpophores when grown on different agro-industrial waste and alternative substrates, in addition to the type of soil and climate of the site (Rodríguez-Estrada and Pichica, 2017). Grown on a coffee (*Coffea arabica*) residue substrate, *P. ostreatus* showed a protein content between 28.6 and 29.7 %, higher values than those found in this study and with total carbohydrate contents (< 8 % of fresh basis weight) similar to those obtained in this research (6 to 8.5 % of fresh basis weight), except for the SK treatment which had the lowest water content (12.85 %) (Nieto-Juárez *et al.*, 2019).

Regarding the calculation of energy for carpophores in each treatment, the averages of this variable ranged from 32.03 to 61.49 kcal 100 g⁻¹ of sample (fresh weight basis), with significant differences ($F = 72.10$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$) among treatments (Table 4). SK carpophores had the highest contribution, whereas the lowest was for PT and PT-SK. The moisture content of carpophores on a fresh basis has an important effect on their energy intake because the lower the water content (as is the case of SK), the higher the dry matter that contributes to the caloric intake, in addition to the higher protein content of SK and SE. This same behaviour was observed in raw mushrooms with variable humidity from 88.3 to 92.4 % (USDA, 2022), or very wide ranges of proteins that this mushroom can present (7.3 to 53.3 %) and variation in its total carbohydrate content (50–60%) in weight in dry basis (Torres-Martínez *et al.*, 2022).

In general, in this first part of the study, the proximate composition of *P. ostreatus* carpophores indicated that substrates obtained from invasive plants such as *S. elaeagnifolium* and *S. kali* allow adequate development and growth of the fungus and

Table 4. Energy contribution of *Pleurotus ostreatus* carpophores produced in different treatments.

Treatment	Energy (kcal 100 g ⁻¹)
SE	37.00±0.33 bc
SK	61.49±3.05 a
PT	33.89±0.20 c
SE-SK	42.37±0.10 b
PT-SE	37.38±0.24 bc
PT-SK	32.03±0.27 c
SE-SK-PT	36.77±0.18 bc

Mean values ± EE. Data obtained on a fresh weight basis. Different letters indicate significant differences between treatments (Tukey; $p \leq 0.05$). SE: 100% *Solanum elaeagnifolium*; SK: 100% *Salsola kali*; PT: 100% wheat straw (control); SE-SK: 50% *S. elaeagnifolium* and 50% *S. kali*; PT-SE: 50% wheat straw and 50% *S. elaeagnifolium*; PT-SK: 50% wheat straw and 50% *S. kali*; SE-SK-PT: 1/3 of *S. elaeagnifolium*, *S. kali* and wheat straw.

had an important effect on protein and mineral content. However, more studies are needed to determine its safety and toxicity and to suggest potential use for animal or human consumption.

CONCLUSIONS

Substrates made from the invasive weeds *Solanum elaeagnifolium* and *Salsola kali* can be used effectively for the production of *Pleurotus ostreatus* carpophores. It is not recommended to use them in combination with each other or with wheat straw. The best substrate was 100 % *S. elaeagnifolium*, which produced the highest results in the production of carpophore number, biomass, morphometric variables, and biological efficiency.

In their proximate composition, *P. ostreatus* carpophores obtained from substrates with *S. elaeagnifolium* and *S. kali* showed higher dry matter content, particularly in protein and minerals compared to the conventional wheat straw-based substrate. The caloric contribution of carpophores is particularly related to their protein and carbohydrate content, given their low lipid content.

This study demonstrated that *P. ostreatus* has the ability to produce carpophores of good size and high protein content with the use of substrates from *S. elaeagnifolium* and *S. kali*, considered highly invasive weeds.

REFERENCES

- Abou-Fayssal S, Alsanad MA, El-Sebaaly Z, Ismail AIH, Sassine YN. 2020. Valorization of olive pruning residues through bioconversion into edible mushroom *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. (1871) of improved nutritional value. *Scientifica* 2020: 3950357. <https://doi.org/10.1155/2020/3950357>
- Aghajani H, Bari E, Bahmani M, Humar M, Ghanbary MAT, Nicholas DD, Zahedian E. 2018. Influence of relative humidity and temperature on cultivation of *Pleurotus* species. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 20 (4): 571–578. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005004501>
- Andries V, Vasilica A. 2017. Caractererele morfo-culturale ale carpofoilor de *Pleurotus ostreatus* cultivați pe diferite substraturi celulozice. *Știința Agricolă* 2: 27–29.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th Ed. AOAC International. Gaithersburg, MD, USA pp: 69–88.
- Atila F. 2016. Effect of different substrate disinfection methods on the production of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Agricultural Studies* 4 (4): 1–14.
- Carrasco-González JA, Serna-Saldívar SO, Gutiérrez-Urbe JA. 2017. Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potential use as food ingredient. *Journal of Food Composition and Analysis* 58: 69–81. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.016>
- Corrêa RCG, Brugnari T, Bracht A, Peralta RM, Ferreira I. 2016. Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends in Food Science and Technology* 50: 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.012>
- DFI (Danish Food Informatics). 2015. Energy-The Atwater System. October 06. http://toolbox.foodcomp.info/ToolBox_Atwater.asp (Retrieved: March 2022).
- Díaz-Muñoz K, Casanova-Guajardo M, León Torres CA, Gil Ramírez LA, Bardales-Vásquez CB, Cabos-Sánchez J. 2019. Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa* 26 (3): 1177–1184. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26322>.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2002. Food and nutrition paper. Food energy-methods of analysis and conversion factors. FAO Food and Nutrition Paper 17. Roma. 87 p.
- García-Calderón ND, Ramos-López MÁ, Rubalcaba-Alejo I, Caratachea-Aguirre IL, Flores-Macías F. 2021. Adición de alfalfa deshidratada como suplemento de sustratos en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Revista Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 21 (41): 77–86.
- Gupta A, Sharma S, Kumar A, Alam P, Ahmad P. 2016. Enhancing nutritional contents of *Lentinus sajor-caju* using residual biogas slurry waste of detoxified mahua cake mixed with wheat straw. *Frontiers in Microbiology* 7: 1529. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01529>
- Hanif Z, Ali HH, Rasool G, Tanveer A, Chauhan BS. 2018. Genus *Salsola*: its benefits, uses, environmental perspectives and future aspects-a review. *Journal of Rangeland Science* 8 (4): 315–328.
- Hausiku MK, Mupambwa HA. 2018. Seaweed amended rice straw substrate and its influence on health-related nutrients, trace elements, growth, and yield of edible white elm mushroom (*Hypsizygus ulmarius*). *International Journal of Agriculture and Biology* 20: 2763–2769.
- Hoá HT, Wang CL, Wang CH. 2015. The Effects of Different Substrates on the Growth, Yield, and Nutritional Composition of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology* 43 (4): 423–434.
- IBM (International Business Machines Corporation). 2017. *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0*. Armonk, NY: IBM Corp. 424 p.
- Jin Z, Li Y, Ren J, Qin N. 2018. Yield, nutritional content, and antioxidant activity of *Pleurotus ostreatus* on corn cobs supplemented with herb residues. *Mycobiology* 46 (1): 24–32.
- Jin Q, Hou Q, Niu T. 2020. Effect of cultivating *Pleurotus ostreatus* on substrates supplemented with herb residues on yield characteristics, substrates degradation, and fruiting bodies' properties. *Journal of Science Food Agriculture* 100: 4901–4910. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10551>
- Jonathan SG, Okon CB, Oyelakin AO, Oluranti OO. 2012a. Nutritional values of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) (Jacq. Fr.) Kumm. cultivated on different agricultural wastes. *Natural Sciences* 10: 179–186.
- Jonathan SG, Okorie AN, Garuba EO, Babayemi OJ. 2012b. Bioconversion of sorghum stalk and rice straw into value added ruminant feed using *Pleurotus pulmonarius*. *Natural Sciences* 10: 10–16.

- Kaaya GP, Kadhila-Muandingi PN, Lotfy HR, Mshigeni KE. 2012. Determination of optimum seaweed concentration for mushroom cultivation and the ability of mushrooms to absorb iodine. *African Journal of Agricultural Research* 7: 3673–3676.
- Koutrotsios G, Mountzouris KC, Chatzipavlidis I, Zervakis GI. 2014. Bioconversion of lignocellulosic residues by *Agrocybe cylindracea* and *Pleurotus ostreatus* mushroom fungi—Assessment of their effect on the final product and spent substrate properties. *Food Chemistry* 161: 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.121>
- Li H, Zhang Z, Li M, Li X, Sun Z. 2017. Yield, size, nutritional value, and antioxidant activity of oyster mushrooms grown on perilla stalks. *Saudi Journal of Biological Sciences* 24 (2): 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.10.001>
- Lisiecka J, Prasad R, Jasinska A. 2021. The Utilisation of *Pholiota nameko*, *Hypsizygos marmoreus*, and *Hericium erinaceus* Spent Mushroom Substrates in *Pleurotus ostreatus* Cultivation. *Horticulturae* 7 (10): 396. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100396>
- Mellado M, Garcia JE, Arévalo JR, Pittroff W. 2008. Replacement value of *Solanum elaeagnifolium* for alfalfa hay offered to growing goats. *Journal of Arid Environments* 72 (11): 2034–2039. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.06.009>
- Mintesnot B, Ayalew A, Kebede A. 2014. Evaluation of biomass of some invasive weed species as substrate for oyster mushroom (*Pleurotus* spp.) cultivation. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 17 (2): 213–219.
- Mleczeck M, Gąsecka M, Budka A, Niedzielski P, Siwulski M, Kalač P, Mleczeck P, Rzymiski P. 2021. Changes in mineral composition of six strains of *Pleurotus* after substrate modifications with different share of nitrogen forms. *European Food Research Technology* 247: 245–257.
- Moran-Arellanos TM, Ortega JB, Cruz MS, Martínez VR, Martínez BC, Pech ZGH. 2020. Potencial biotecnológico de residuos vegetales para producir *Pleurotus ostreatus* en zonas rurales de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11 (3): 685–693. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.1925>
- Nieto-Juárez J, Cuzcano-Ruiz A, Reyes-López W. 2019. Estudio preliminar de la composición nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado en pulpa de café. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 85 (4): 422–431. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.256>
- Owaid MN, Abed IA, I-Saeedi SS. 2015. Using of date palm fiber mixed with other lignocelluloses toward *Pleurotus ostreatus* (Higher Basidiomycetes) cultivation. *Emirates Journal of Food Agriculture* 27 (7): 556–561.
- Pandey VK, Singh MP. 2014. Biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus*. *Cellular and Molecular Biology* 60 (5): 29–34.
- Rodríguez-Estrada AE, Pichica J. 2017. Cultivation of *Pleurotus ostreatus*. In: *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*. Cunha-Zied D, Pardo-Giménez A (eds.) Wiley Blackwell: Oxford, UK pp: 339–360.
- Romero-Arenas O, Martínez MA, Damián MA, Ramírez B, López-Olguín J. 2015. Producción de hongo Shiitake (*Lentinula edodes* Pegler) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola* 6 (6): 1229–1238.
- Romero-Arenas O, Valencia-De Ita MA, Rivera-Tapia JA, Tella-Salgado I, Villarreal Espino-Barros OA, Damián-Huato MA. 2018. Capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando alfalfa deshidratada como suplemento en diferentes sustratos agrícolas. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 15 (2): 145–160.
- Sekan AS, Myronycheva OS, Karlsson O, Gryganskyi AP, Blume Y. 2019. Green potential of *Pleurotus* spp. in biotechnology. *Peer J*. 7: e6664. <https://doi.org/10.7717/peerj.6664>
- Song Q, Deng X, Song RQ. 2020. Expression of *Pleurotus ostreatus* laccase gene in *Pichia pastoris* and its degradation of corn stover lignin. *Microorganisms* 8 (4): 601. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040601>
- Torres-Martínez B, Vargas-Sánchez RD, Torrescano-Urrutia GR, Esqueda M, Rodríguez-Carpena, JG, Fernández-López J, Perez-Alvarez, JA, Sánchez-Escalante A. 2022. *Pleurotus* Genus as a potential ingredient for meat products. *Food* 11 (779): 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods11060779>
- Uludag A, Gbehouhou G, Kashefi J, Bouhache M, Bon MC. 2016. Review of the current situation for *Solanum elaeagnifolium* in the Mediterranean Basin. *EPPO Bulletin* 46: 139–147. <https://doi.org/10.1111/epp.12266>
- USDA (U.S. Department of Agriculture). 2022. Food Data Central: Mushrooms raw. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/> (Retrieved: March 2022).

PRODUCCIÓN DE *Pleurotus ostreatus* CULTIVADO EN SUSTRATOS ELABORADOS A PARTIR DE DOS ARVENSES INVASORAS

Mirolava Quiñónez-Martínez^{1*}, Karina Peña-Avilés¹, Nina del Rocío Martínez-Ruiz¹, Fortunato Garza-Ocañas², Jesús Alejandro Nájera-Medellín¹, Martha Patricia Olivas-Sánchez¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Av. Benjamín Franklin No. 4650, Zona PRONAF, Cd. Juárez, Chihuahua, México. C. P. 32315

² Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional 85 km 145, Linares, Nuevo León, México. C. P. 67700

* Autor para correspondencia: mquinone@uacj.mx

RESUMEN

La especie *Pleurotus ostreatus* es un hongo comestible y con un valor comercial alto, cultivado por su facilidad y adaptabilidad en sustratos a base de residuos agroindustriales. Las especies de plantas *Solanum elaeagnifolium* y *Salsola kali* son dos arvenses invasivas, de dispersión rápida en cultivos, zonas ruderales o urbanas que representan pérdidas agropecuarias con costo alto e impacto ambiental. La hipótesis de este trabajo de investigación fue que al menos una de las arvenses incrementa la producción y calidad de *P. ostreatus*. El objetivo fue evaluar la eficiencia biológica y productividad carpoforal de *P. ostreatus* con el uso de sustratos elaborados y combinados a partir de *S. elaeagnifolium* y *S. kali*. Los cultivos de hongos se realizaron con sustratos generados a partir de mezclas entre las arvenses y usando paja de trigo como testigo; de estas combinaciones se obtuvieron siete tratamientos y cuatro repeticiones en un diseño completamente al azar. A los carpóforos obtenidos se les midió el ancho y largo del píleo y estípite, se obtuvo la producción total (g), eficiencia biológica (%), y se realizaron análisis proximales de los hongos cosechados. La producción máxima fue de 23.30 hongos, con mínimos de 3.67 carpóforos. Para el ancho y largo del píleo se obtuvieron medidas de 8.30-11.70 cm y 8.40-11.40 cm, respectivamente. En la variable largo del estípite se presentaron anchuras de 1.40-2.30 cm y largos de 2.80-6.20 cm. Los pesos obtenidos fueron de hasta 358.33 g, con un mínimo de 95.10 g. Los análisis proximales muestran carpóforos con la siguiente composición: 82.25-91.37 % de humedad; 1.71 a 13.66 % en cenizas; 15.70 a 20.93 % en proteína; 0.40 a 1.55 % en lípidos y 8.60-17.7 % en materia seca. Las variables evaluadas mostraron diferencias ($p \leq 0.05$), siendo los sustratos elaborados con 100 % de *S. elaeagnifolium* los de mayor eficiencia biológica, producción carpoforal, peso de cosecha y valor nutricional. La especie *P. ostreatus* demostró ser eficiente para disponer como sustrato a dos plantas arvenses, así como producir carpóforos con alto contenido proteico.

Palabras clave: Hongos comestibles, arvenses invasoras, *Salsola kali*, *Solanum elaeagnifolium*.

INTRODUCCIÓN

El hongo *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm es uno de los macromicetos más cultivados a nivel mundial, ocupando el segundo lugar después de *Agaricus bisporus*

Citation: Quiñónez-Martínez M, Peña-Avilés K, Martínez-Ruiz NR, Garza-Ocañas F, Nájera-Medellín JA, Olivas-Sánchez MP. 2022. Producción de *Pleurotus ostreatus* cultivado en sustratos elaborados a partir de dos arvenses invasoras. *Agrociencia*. 56(3): 405-433. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i3.2796>

Editor in Chief:
Dr. Fernando C. Gómez Merino

Received: July 31, 2021.
Approved: April 12, 2022.
Published in *Agrociencia*:
May 9, 2022.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



(Romero-Arenas *et al.*, 2015). Este hongo se caracteriza por presentar un carpóforo de textura carnosa, sabor y olor agradables (Sekan *et al.*, 2019), y además representa una fuente alimenticia alternativa rica en proteínas, todos los aminoácidos esenciales, carbohidratos, vitaminas (tiamina y riboflavina) y minerales (K, Fe, Na, P y Ca) (Corrêa *et al.*, 2016).

La técnica de cultivo para el hongo *P. ostreatus* se encuentra bien estandarizada e industrializada en amplia variedad de sustratos lignocelulósicos, tienen alta eficiencia biológica (EB) (> 40 %), es de bajo costo y el carpóforo se desarrolla con rapidez y no suelen ser atacados por enfermedades y plagas (Jin *et al.*, 2020). Los hongos del género *Pleurotus* requieren sustratos con fuentes de carbono, nitrógeno y compuestos inorgánicos, siendo el carbono el elemento que este hongo requiere en mayor proporción. Este hongo es eficiente al degradar con facilidad diversos sustratos a base de celulosa, hemicelulosa, lignina y otros carbohidratos complejos (Koutrotsios *et al.*, 2014; Pandey y Singh, 2014; Song *et al.*, 2020).

México ha mostrado un aumento en la producción de *P. ostreatus* en los últimos quince años, siendo en la actualidad el país que aporta mayor producción en América Latina (80 % de la obtención total) con un rendimiento que supera las 60 000 Mg anuales (García-Calderón *et al.*, 2021). La producción de este hongo representa una industria rentable y con alto potencial biotecnológico en el país ya que permite el aprovechamiento de diversos residuos agroindustriales (Sekan *et al.*, 2019), y otros materiales no convencionales como algas marinas (p. ej. *Glacilariopsis* spp., *Laminaria* spp., *Sargassum* spp. y *Ulva* spp.) (Hausiku y Mupamwa, 2018; Kaaya *et al.*, 2011).

La especie *Solanum elaeagnifolium* Cav. es una herbácea subarborescente perenne que habita en regiones con matorrales y pastizales desde el centro de Estados Unidos hasta Suramérica, con preferencia a lugares perturbados y se ha convertido en una especie problemática que requiere control y manejo adecuado en México. La rápida propagación de esta arvense causa pérdidas económicas importantes por la reducción del rendimiento del cultivo, derivado de la competencia (luz, agua, espacio y nutrientes), así como mayor incidencia de plagas y enfermedades (Uludag *et al.*, 2016). No obstante, la planta muestra una composición interesante en proteína, minerales y carbohidratos totales (Mellado *et al.*, 2008). Por otro lado, la especie *Salsola kali* L. es una herbácea anual introducida en el continente americano, se distribuye desde Canadá hasta el centro de México, en regiones áridas y semiáridas; es considerada una especie alelopática activa y su propagación reduce significativamente la producción agropecuaria. Esta especie también tiene impactos negativos en el ambiente, dado su alto nivel de invasividad a cultivos, además de que es planta hospedante de la chicharrita de la remolacha (*Circulifer tenellus*), insecto que transmite el virus de la punta rizada, una enfermedad que afecta a diversas especies de importancia agrícola como la propia remolacha azucarera, tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Esta última arvense presenta contenidos de proteína en el rango de 5.40 a 22.30 %, y carbohidratos totales en el rango 23.10 a 58.00 % (Hanif *et al.*, 2018).

La hipótesis de este estudio fue que al menos una de las arvenses empleadas como sustrato incrementaría la producción de carpóforos y contenido de nutrientes de *P.*

ostreatus en comparación con el empleo de la paja de trigo (*Triticum aestivum*) convencional. El objetivo fue evaluar la eficiencia biológica y productividad de *P. ostreatus* con el uso de sustratos a base de *S. elaeagnifolium* y *S. kali* y evaluar su efecto en la composición de los carpóforos cosechados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y preparación de los sustratos

La recolección de plantas de *S. elaeagnifolium* y de *S. kali* se realizó en áreas perturbadas y terrenos baldíos de Ciudad Juárez, Chihuahua, México (31°44'39.7"NL 106°26'25.8"WL), durante los meses de julio a septiembre. Se tuvo preferencia por aquellas plantas que ya se encontraban secas. Una vez colectadas, las plantas fueron guardadas en sacos de rafia y trasladadas al Laboratorio de Biodiversidad de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). En paralelo, se colectaron duplicados de estas especies de arvenses, mismos que fueron contrastados con ejemplares del Herbario de la UACJ, para luego dejarse en resguardo (*S. elaeagnifolium*: 0.00778; *S. kali*: 001241). Solo se emplearon tallos de *S. elaeagnifolium*, mientras que para *S. kali* se utilizaron tallos y hojas. En ambos casos se cortaron en fragmentos de 2 a 4 cm. La paja de trigo fue adquirida de un proveedor comercial en Ciudad Juárez. En el Cuadro 1 se presenta la composición proximal reportada para estas plantas de estudio.

Los fragmentos de las arvenses se colocaron en tarjas con agua y se mantuvieron en remojo por 24 h. Posteriormente, fueron sometidas a un proceso de pasteurización por dos horas en ollas metálicas de 18.92 L de capacidad, manteniendo una temperatura constante de 70 °C. Una vez transcurrido el proceso se extendieron sobre mesas metálicas para acelerar el enfriamiento, cuando alcanzaron temperatura ambiente se agregaron 20 g de carbonato de calcio para reducir el crecimiento de levaduras y bacterias durante los primeros días de incubación (Pandey y Singh, 2014).

Inoculación del sustrato e incubación

La siembra del inóculo se realizó utilizando grano de sorgo (*Sorghum bicolor*) colonizado con micelio de *P. ostreatus* (HONCOP) y se mantuvo en refrigeración (3-4 °C) hasta su uso. La inoculación se llevó a cabo sobre superficies desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio cloro al 0.5 %.

Cuadro 1. Composición proximal de los residuos secos de las especies *Triticum aestivum*, *Solanum elaeagnifolium* y *Salsola kali*.

	Paja de trigo [†]	<i>Solanum elaeagnifolium</i> [‡]	<i>Salsola kali</i> [§]
Materia seca (%)	90.10	81.40	80.20
Cenizas (%)	11.04	11.40	12.0
Lípidos (%)	0.73	2.50	2.17
Proteína (%)	3.34	15.00	21.50
Carbohidratos totales (%)	38.54	32.80	48.40

Fuente: [†]Romero-Arenas *et al.* (2018); [‡]Mellado *et al.* (2008); [§]Hanif *et al.* (2018).

El sustrato se colocó en bolsas de plástico transparentes de 36 x 49 cm (2 kg) y se aplicaron 400 g de inóculo de micelio de *P. ostreatus* para cada repetición. Para el llenado se colocó una capa de sustrato y sobre ésta, una capa de inóculo. Este proceso se repitió hasta llenar completamente las unidades de producción, las cuales se cerraron con ayuda de una liga estéril. Por último, cada bolsa se rotuló con los datos del sustrato utilizado, número de bolsa y fecha de la siembra, de acuerdo con la metodología descrita por Mleczek *et al.* (2021).

El diseño experimental fue completamente al azar con siete tratamientos diferentes y cuatro repeticiones para cada uno: 1) Sustrato compuesto de 100 % *S. elaeagnifolium* (SE); 2) Sustrato compuesto de 100 % *S. kali* (SK); 3) Sustrato testigo con 100 % Paja de trigo (PT); 4) Sustrato de combinación 50 % *S. elaeagnifolium* y 50 % *S. kali* (SE-SK); 5) Sustrato de combinación 50 % Paja de trigo y 50 % *S. elaeagnifolium* (PT-SE); 6) Sustrato de combinación 50 % Paja de trigo y 50 % *S. kali* (PT-SK); y, 7) Sustrato compuesto por 1/3 de *S. elaeagnifolium*, *S. kali* y Paja de trigo (SE-SK-PT), respectivamente. Cada bolsa con sustrato fue considerada una unidad experimental.

Las unidades de producción se trasladaron a un área de incubación en oscuridad, donde permanecieron de 20 a 30 días a una temperatura de 23-25 °C; estas fueron monitoreadas a diario para detectar posibles focos de contaminación (mohos, bacterias o insectos) (Mleczek *et al.*, 2021). Una vez que el micelio colonizó en su totalidad a los sustratos y se observó la aparición de los primeros primordios, los cultivos se transfirieron a un área de fructificación donde recibieron diez horas de iluminación, temperatura entre 20 a 22 °C y humedad al 70-80 % (Lisiecka *et al.*, 2021). Los carpóforos maduros se cosecharon con ayuda de una navaja esterilizada, de acuerdo con los protocolos descritos por Pandey y Singh (2014), con algunas modificaciones.

Determinación de parámetros de producción y su análisis estadístico

La toma de datos se realizó una vez finalizada la cosecha. Las variables que se consideraron fueron: cantidad de carpóforos cosechados, producción total (g) y morfometría (largo y ancho del píleo y estípite) de los carpóforos.

El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y una prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para identificar diferencias entre los tratamientos. Las pruebas se realizaron con ayuda del paquete estadístico IBM SPSS ver. 25.0 (IBM, 2017).

La eficiencia biológica (EB; capacidad de los hongos de convertir un sustrato en cuerpos fructíferos), se determinó para cada uno de los tratamientos mediante la fórmula propuesta por Díaz-Muñoz *et al.* (2019):

$$EB = \frac{\text{Peso total de los cuerpos fructíferos frescos (g)}}{\text{Peso del sustrato seco (g)}} \times 100$$

Análisis proximal y su análisis estadístico

El contenido de humedad y materia seca se determinó por el método de secado en estufa (AOAC, 2000; 926.08), las cenizas con el protocolo de calcinación en mufla

(AOAC, 2000; 935.42), las proteínas con el método de Kjeldhal (AOAC, 2000; 920.123-1920), utilizando el factor de conversión de 4.38 y las grasas con el método de Soxhlet (AOAC, 2000). Los carbohidratos totales se determinaron por el método de diferencia (AOAC, 2000; FAO, 2002). El cálculo de energía para los diferentes tratamientos se realizó mediante el sistema de factor general de Atwater (DFI, 2015). Las pruebas se realizaron por triplicado y se empleó alrededor de 80 a 100 g de carpóforos pulverizado para cada análisis.

Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANDEVA) y una prueba múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para identificar diferencias entre la composición en humedad, materia seca, cenizas, proteínas, grasas totales y carbohidratos entre los siete tratamientos evaluados. Las pruebas se realizaron con ayuda del paquete estadístico IMB SPSS ver. 25.0. (IBM, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medidas morfométricas

Las propiedades de calidad del hongo se han relacionado con el tamaño del carpóforo, así como el del píleo (sombrero) y el estípite (Owaid *et al.*, 2015). Los resultados para la evaluación de las medidas morfométricas de los carpóforos producidos indican diferencias en todos los casos ($p \leq 0.05$). Para el ancho del píleo (Figura 1A) se obtuvo la mejor respuesta al implementar una combinación de *S. elaeagnifolium* y paja de trigo (PT-SE) (11.74 ± 0.75 cm); los promedios más bajos para el ancho del píleo se encontraron en la combinación SE-SK-PT (8.3 ± 0.57) ($F = 5.80$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$).

En la variable largo del píleo se puede observar que el tratamiento PT-SK presentó mejor respuesta en longitud (11.38 ± 0.73 cm). Los tratamientos SE-SK (10.46 ± 1.47 cm), PT (10.71 ± 0.82 cm), SK (10.40 ± 0.51) y SE-SK-PT (9.73 ± 0.79 cm) obtuvieron un desempeño similar con valores cercanos a los presentados por PT-SK (Figura 1B). En general, los tratamientos en combinación con paja de trigo (PT-SE; PT-SK) y los de combinación con los sustratos propuestos (SE-SK) tuvieron la mejor respuesta en la longitud y anchura del píleo del carpóforo de *P. ostreatus* ($F = 4.74$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$).

Los resultados para las medidas del píleo concuerdan con lo reportado por Jonathan *et al.* (2012a), quienes obtuvieron longitudes medias del píleo de carpóforos de *P. ostreatus* que oscilaban entre los 4 a 8 cm utilizando sustratos a base de rastrojo de arroz, algodón y aserrín de *Milicia excelsa*. Atila (2016) reportó medidas del diámetro del píleo que oscilaban entre 4.64 cm y 7.28 cm, en tanto que Andries y Vasilica (2017) obtuvieron carpóforos con una longitud de entre 10 a 13.5 cm. Los carpóforos con píleo de grandes dimensiones representan un atractivo comercial, ya que el consumidor se orienta hacia hongos de mayor tamaño en el caso de esta especie.

Para el ancho de estípite (Figura 2A), la mejor respuesta se presentó en el tratamiento SE-SK-PT (3.30 ± 0.39 cm), seguido por el SK (2.3 ± 0.15 cm) y con los valores más bajos en SE (1.4 ± 0.15 cm) ($F = 18.27$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$). A diferencia del ancho del píleo que fueron más anchos en los tratamientos de combinaciones, en el ancho del estípite los valores obtenidos fueron más heterogéneos en todos los tratamientos.

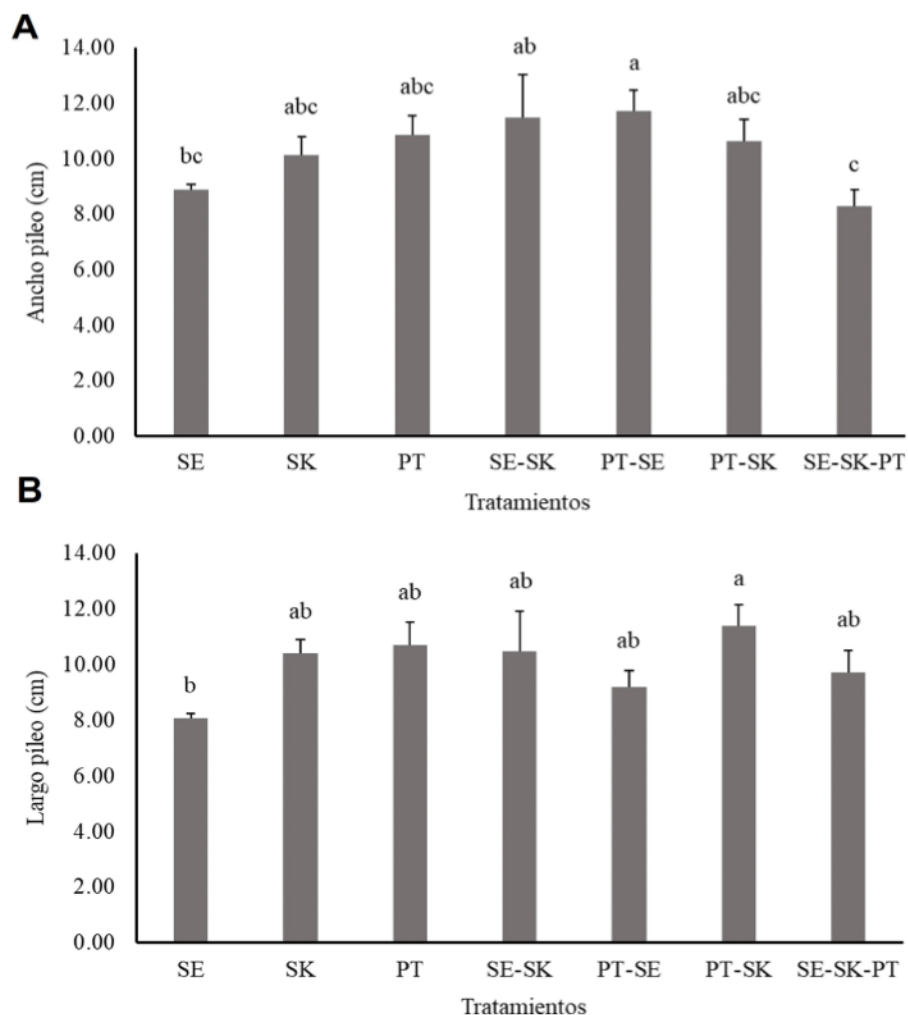


Figura 1. Medias para el píleo de *Pleurotus ostreatus* producido en los siete tratamientos evaluados. A) Medidas del ancho del píleo. B) Medidas del largo del píleo. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey; $p \leq 0.05$). SE= 100 % *Solanum elaeagnifolium*; SK= 100 % *Salsola kali*; PT= 100 % Paja de trigo (control); SE-SK=50 % *S. elaeagnifolium* y 50 % *S. kali*; PT-SE=50 % Paja de trigo y 50 % *S. elaeagnifolium*; PT-SK= 50 % Paja de trigo y 50 % *S. kali*; SE-SK-PT= 1/3 de *S. elaeagnifolium*, *S. kali* y paja de trigo.

En cuanto a los valores del largo del estípite (Figura 2B) se observó mayor homogeneidad, ya que los tratamientos SK (5.57 ± 0.47 cm), PT (6.23 ± 0.55 cm), SE-SK (5.40 ± 0.50 cm) y PT-SK (5.57 ± 0.43 cm) presentan valores estadísticos similares, mientras que la longitud más pequeña en promedio se registró en SE-SK-PT (2.81 ± 0.34 cm) ($F = 12.66$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$).

El del estípite puede variar entre 2.80 cm y 8.80 cm (Jonathan *et al.* (2012a), aunque también pueden ser menores 3 cm (Andries y Vasilica, 2017). El adelgazamiento del píleo y estípite puede ser provocado por falta de luz, y frente a la presencia de

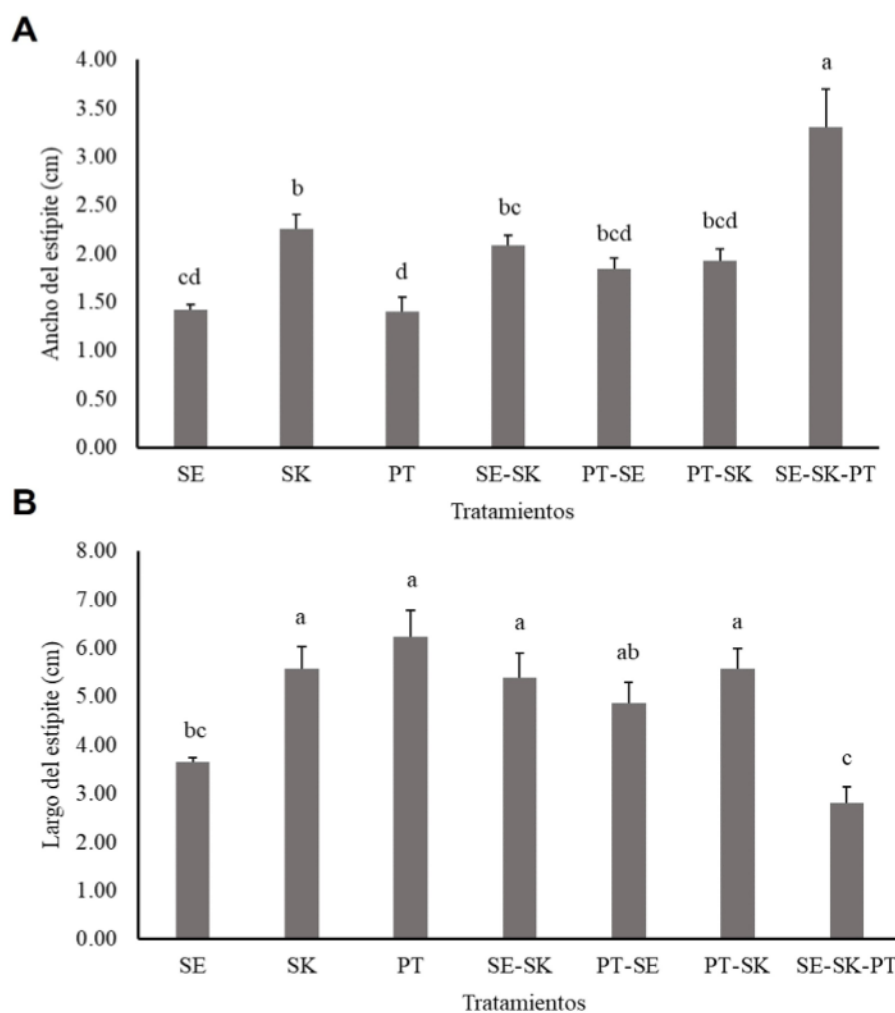


Figura 2. Medias para el estípite de *Pleurotus ostreatus* producido en los siete tratamientos evaluados. A) Medidas del ancho del estípite. B) Medidas del largo del estípite. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey; $p \leq 0.05$). SE= 100 % *Solanum elaeagnifolium*; SK= 100 % *Salsola kali*; PT= 100 % Paja de trigo (control); SE-SK=50 % *S. elaeagnifolium* y 50 % *S. kali*; PT-SE=50 % Paja de trigo y 50 % *S. elaeagnifolium*; PT-SK= 50 % Paja de trigo y 50 % *S. kali*; SE-SK-PT= 1/3 de *S. elaeagnifolium*, *S. kali* y paja de trigo.

sustancias en el sustrato que no pueda degradar el hongo, los carpóforos tienden mostrar crecimiento anormal (Aghajani *et al.*, 2018). Los valores reportados en el presente estudio para longitud del estípite se puedan atribuir a deficiencias en las condiciones lumínicas, pero no la presencia de alguna sustancia en el sustrato que haya afectado el desarrollo de los carpóforos, esto debido a que en el grupo testigo (PT) también se obtuvieron valores altos para el largo del píleo (6.23 ± 2.79 cm) y este sustrato es utilizado en otras investigaciones como testigo, pues se han obtenido muy buenos rendimientos (Pandey y Singh, 2014).

La diferencia en el patrón de crecimiento de las variables morfológicas puede estar relacionada con las diferentes composiciones químicas de los sustratos (Jonathan *et al.*, 2012b). El desarrollo y tamaño del estípite y píleo del hongo también pueden ser afectados por condiciones ambientales (temperatura, humedad, aire fresco) y de espacio (Jonathan *et al.*, 2012a). Esto último concuerda con los tratamientos en los que el número de carpóforos producidos fue más bajo, por consecuencia hubo mayor espacio para el desarrollo y presentaron mayor longitud y anchura en el estípite y píleo (Figura 3).

Producción carpóforal, en masa y eficiencia biológica

Los resultados obtenidos para la producción total muestran diferencias ($F = 8.851$, $g.l. = 6$; $p \leq 0.05$), siendo el tratamiento SE el que obtuvo la mayor producción en masa (g) con un total de 358.33 ± 8.33 g, seguido del grupo testigo PT (220.00 ± 5.00 g). En cuanto a los tratamientos de combinaciones, los valores más altos fueron para el

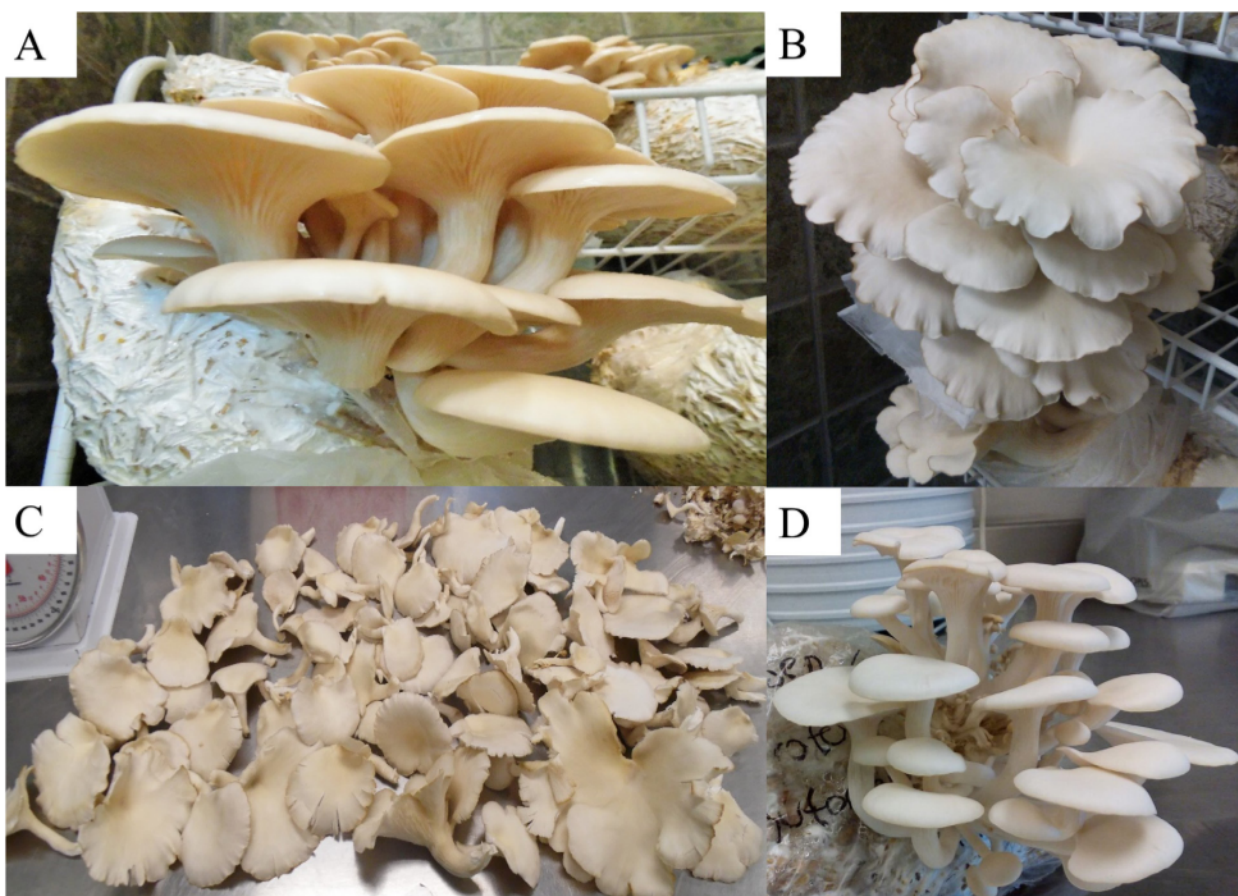


Figura 3. Carpóforos de *Pleurotus ostreatus* colectados de distintos tratamientos. A) Carpóforos del tratamiento PT; B) Carpóforos del tratamiento PT-SE; C) Carpóforos del tratamiento SE; D) Carpóforos del tratamiento PT-SK. SE= 100 % *Solanum elaeagnifolium*; PT= 100 % Paja de trigo (control); PT-SE=50 % Paja de trigo y 50 % *S. elaeagnifolium*; PT-SK= 50 % Paja de trigo y 50 % *S. kali*.

tratamiento PT-SE (186.10 ± 61.12 g) (Cuadro 1). Esta variable está relacionada con el número de carpóforos producidos, siendo SE el tratamiento que también obtuvo la mejor respuesta en esta variable. Si bien no se han realizado estudios en producción de *P. ostreatus* con los sustratos propuestos, los resultados concuerdan con los valores reportados por Moran-Arellanos *et al.* (2020), quienes obtuvieron un peso carpoforal que oscilaba entre los 93.75 g a 187.37 g en sustratos a base de rastrojo de frijol, paja de trigo y cascarrilla de guaje o huaxin (*Leucaena leucocephala*), aunque son superiores a los encontrados con sustratos a base de pulpa de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma*) (35 g) y fruto de guazima o pixoi (*Guazuma ulmifolia*) (Moran-Arellanos *et al.*, 2020). La producción total de carpóforos producidos por tratamiento también mostró diferencias ($F = 7.66$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$), siendo el tratamiento SE el que mayor cantidad produjo (23.33 ± 4.33 hongos), el resto de los sustratos tuvieron resultados estadísticos similares, en un rango de 3.67 ± 0.67 - 7.67 ± 0.88 hongos producidos (Cuadro 2). Estos resultados concuerdan con lo presentado por Hoa *et al.* (2015), quienes reportaron rangos de producción carpoforal de 2.17 a 10.32 en sustratos de aserrín de madera y rastrojo de maíz (*Zea mays*), obteniendo la mayor cantidad en los sustratos que estaban compuestos en su totalidad por el 100 % de alguno de estos desechos agroindustriales. Andries y Vasilica (2017) cosecharon los carpóforos producidos en paja de trigo enriquecida con rastrojo de girasol (*Helianthus annuus*) en un rango de 10.50-13.00 carpóforos. En general ambos autores concuerdan que la productividad dependía de los tipos de sustrato utilizados para el cultivo, así como de la cepa empleada. La alta producción en carpóforos del tratamiento SE puede deberse a que la composición química de *S. elaeagnifolium* refleja que es rico en material lignocelulósico, carbohidratos estructurales y fibra cruda, proteína y extractos con nitrógeno libre (Mellado *et al.*, 2008). La EB presentó rangos del 17 % en el sustrato SE-SK-PT hasta 50 % en SE, siendo el mínimo y máximo, respectivamente ($F = 18.47$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$). En general se reportan

Cuadro 2. Producción total, carpoforal y eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* en los siete tratamientos evaluados.

Tratamiento	Producción total (g)	Producción de carpóforos efectivos (n)	Eficiencia biológica (%)
SE	358.33±8.33 a	23.33±4.33 a	50.00 a
SK	200.00±14.43 bc	4.33±.33 b	42.47 b
PT	220.00±5.00 b	7.67±0.88 b	42.47 b
SE-SK	95.10±9.73 c	3.67±0.67 b	13.41 e
PT-SE	186.10±61.12 bc	5.67±1.20 b	25.85 c
PT-SK	109.03±8.24 bc	3.67±0.67 b	19.56 d
SE-SK-PT	101.70±6.38 bc	4.33±0.33 b	17.48 d

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey; $p \leq 0.05$). SE= 100 % *Solanum elaeagnifolium*; SK= 100 % *Salsola kali*; PT= 100 % Paja de trigo (control); SE-SK=50 % *S. elaeagnifolium* y 50 % *S. kali*; PT-SE=50 % Paja de trigo y 50 % *S. elaeagnifolium*; PT-SK= 50 % Paja de trigo y 50 % *S. kali*; SE-SK-PT= 1/3 de *S. elaeagnifolium*, *S. kali* y paja de trigo.

valores medios a bajos en la eficiencia biológica de *P. ostreatus* en los sustratos evaluados durante la presente investigación. En los sustratos compuestos se observaron EB menores con los valores más bajos (25.85 %-12.41 %). La conformación de sustratos a partir de diversas fuentes vegetales resulta en una menor eficiencia biológica (54.10 % en sustratos de paja de trigo y residuos de poda de árboles de aceituna (*Olea europaea*) en comparación con la obtenida por el grupo testigo (105.00 % en paja de trigo) (Abou-Fayssal *et al.*, 2020), lo cual concuerda con nuestros resultados. Es importante destacar que las medias observadas en el presente estudio son superiores a las observadas por Díaz-Muñoz *et al.* (2019), quienes obtuvieron EB menores al 20 % en sustratos ricos en lignina a base de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) (16.77 %), coronta de maíz (12.10 %), paja de arroz (*Oryza sativa*) (8.65 %) y residuos de poda de pasto (9.97 %). La EB puede ser afectada por una gran variedad de factores y variantes presentes en el experimento, entre ellos el tipo de sustrato, la preparación de éste (esterilización, pasteurización), tamaño del contenedor usado para el cultivo, presencia de contaminantes y plagas, concentración de CO₂, luz, temperatura, pH, entre otros (Atila, 2016).

Análisis proximal

Los resultados obtenidos del análisis proximal de los carpóforos cosechados de los seis tratamientos y el testigo positivo se reportan en porcentaje de peso en base seca (Cuadro 3). En todos se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

El contenido de humedad de los carpóforos cosechados mostró diferencias significativas en los distintos tratamientos, atributo que varió de 82.25 a 91.37 %. El valor más alto de humedad se obtuvo en los carpóforos del tratamiento PT (91.37 ± 0.04 %), seguido del tratamiento de la combinación PT-SK (90.84 ± 0.08 %), y el valor de humedad más bajo se registró en los carpóforos del tratamiento de SE-SK y SK (86.66 ± 0.03 y 82.25 ± 0.64 %, respectivamente). Por su parte, en materia seca, se encontró que

Cuadro 3. Análisis proximal de los carpóforos de *Pleurotus ostreatus* producidos a partir de siete tratamientos evaluados.

Tratamiento	Humedad (%)	Materia Seca (%)	Cenizas*	Proteínas*	Lípidos*	Carbohidratos totales*
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SE	89.62±0.06 c	10.38±0.06 d	5.49±0.08 d	20.74±0.47 ab	0.40±0.00 f	62.98±0.41 b
SK	82.25±0.64 d	17.74±0.64 a	4.85±0.18 e	20.87±1.08 a	1.49±0.00 b	55.02±1.70 d
PT	91.37±0.04 a	8.62±0.04 f	1.71±0.01 f	16.64±0.33 cd	0.59±0.00 e	72.41±0.32 a
SE-SK	86.66±0.03 d	13.33±0.03 b	13.66±0.09 a	20.93±0.03 a	1.02±0.01 c	51.03±0.09 e
PT-SE	88.91±0.05 c	11.09±0.05 c	11.10±0.15 bc	19.36±0.27 ab	0.70±0.00 d	57.73±0.19 d
PT-SK	90.84±0.08 ab	9.15±0.08 e	11.56±0.08 b	17.53±0.09 c	0.99±0.00 c	60.75±0.13 c
SE-SK-PT	89.66±0.64 bc	10.33±0.04 d	10.89±0.09 c	15.70±0.19 d	1.55±0.01 a	61.50±0.17 c

Valores medios ± EE. *Datos en peso en base seca de las muestras. Letras diferentes indican diferencia significativa entre los diferentes tratamientos (Tukey; $p \leq 0.05$). SE= 100 % *Solanum elaeagnifolium*; SK= 100 % *Salsola kali*; PT= 100 % Paja de trigo (control); SE-SK=50 % *S. elaeagnifolium* y 50 % *S. kali*; PT-SE=50 % Paja de trigo y 50 % *S. elaeagnifolium*; PT-SK= 50 % Paja de trigo y 50 % *S. kali*; SE-SK-PT= 1/3 de *S. elaeagnifolium*, *S. kali* y paja de trigo.

el tratamiento SK presentó los mayores porcentajes (17.71 ± 1.11 %), mientras que SE y SE-SK-PT mostraron la menor cantidad (10.40 ± 0.10 y 10.30 ± 0.07 %, respectivamente) ($F = 159.71$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$) (Cuadro 3). Resultados similares se observan en los estudios de Mintesnot *et al.* (2014), quienes obtuvieron valores de humedad de 89.38 % a 92.42 % en tres cepas distintas de *P. ostreatus* en paja de trigo, del mismo modo, registraron los valores más bajos en humedad para los tratamientos realizados con sustrato a base de tres especies de plantas invasoras: 86.61 % con *Lantana camara*; 88.06 % con *Parthenium incanum*; y 85.92 % con *Prosopis juliflora*.

Debido a la diferencia en el contenido de humedad de las muestras, los datos de cenizas, proteínas, grasas y carbohidratos se analizaron en peso base seca (Cuadro 3). Los resultados para el contenido de cenizas de los carpóforos variaron de 1.71 a 13.66 %. El valor más alto se obtuvo en el tratamiento SE-SK (13.66 ± 0.16 %), seguido del PT-SK (11.56 ± 0.13 %). Los valores más bajos se presentaron en los tratamientos sin combinación de sustratos, con el testigo PT mostrando el valor más bajo (1.71 ± 0.02 %) ($F = 1648.29$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$). El contenido de cenizas está relacionado con el sustrato empleado y da una idea general acerca del contenido de minerales en los carpóforos, lo cual es consistente con los datos obtenidos.

El contenido de proteína se presentó en un rango de 15.70 a 20.93 %; el tratamiento que brindó carpóforos con más proteína fue la combinación SE-SK (20.93 ± 0.06 %), seguido de SK (20.87 ± 1.88 %) ($F = 20.47$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$) (Cuadro 3). Estos valores entran dentro del rango de 14 a 32 % propuesto por Koutrotsios *et al.*, (2014). Nuestros resultados son similares a los reportados por Jin *et al.* (2018), quienes encontraron valores de 18.35 a 25.86 %, aunque son menores a los presentados por Li *et al.* (2017) en hongos cultivados en cáscara de semilla de algodón (*Gossypium hirsitium*) y tallos de perilla (*Perilla frutescens*) (20.50 a 26.10 %). Estas diferencias en el contenido proteico se han justificado de manera directa por el tipo de sustrato empleado, como resultado de las diferencias en el suministro de nutrientes y habilidad del hongo de degradar el sustrato (Gupta *et al.*, 2016).

El contenido de lípidos osciló entre 0.40 a 1.55 %. El valor más alto se encontró en el tratamiento SE-SK-PT (1.55 ± 0.02 %), seguido del SK (1.49 ± 0.00 %), mientras el más bajo fue para SE (0.40 ± 0.00 %) ($F = 2653.19$; g. l. = 6; $p \leq 0.05$). Estos resultados obtenidos fueron menores a los reportados por Jin *et al.* (2018) en carpóforos de *P. ostreatus* producidos en rastrojo de maíz y suplementados con residuos vegetales, quienes obtuvieron un rango de grasas de 2.34 a 2.58 %. No obstante, el contenido de lípidos no superó el límite del 6 % propuesto para los hongos (Carrasco-González *et al.*, 2017).

El contenido de carbohidratos totales fue mayor en el tratamiento PT (71.41 ± 0.56 %), seguido por el tratamiento SE (62.98 ± 0.72 %), mientras que el más bajo se presentó en el tratamiento SE-SK (51.03 ± 0.16 %) ($F = 369.16$, g. l. = 6; $p \leq 0.05$). Usando paja de trigo también se encontraron contenidos de carbohidratos de 62.54 a 71.26 % (Esto concuerda con lo reportado por (Jin *et al.*, 2018). En *Pleurotus ostreatus* producido en sustratos de cáscara de almendra (*Prunus dulcis*) se reportaron contenidos de carbohidratos de 57.0 %, y cáscara de nuez de hasta 76.0 % en *Pleurotus* crecido en sustratos hechos con pínulas de *Pinus* spp. (Koutrotsis *et al.*, 2014).

El contenido de proteínas y carbohidratos varían en los carpóforos de los hongos cuando se cultivan en diferentes residuos agroindustriales y sustratos alternativos, además del tipo de suelo y clima del lugar (Rodríguez-Estrada y Pichica, 2017). Cultivado en un sustrato de residuo de café (*Coffea arabica*), *P. ostreatus* mostró un contenido de proteína entre 28.6 y 29.7 %, valores superiores a los encontrados en este estudio y con contenidos de carbohidratos totales (< 8 % del peso en base fresca) similar a lo obtenido en esta investigación (6 a 8.5 % del peso en base fresca), excepto para el tratamiento SK que tuvo el menor contenido de agua (12.85 %) (Nieto-Juárez *et al.*, 2019).

El cálculo de energía para carpóforos en cada tratamiento se muestra en el Cuadro 4. Los promedios de esta variable oscilaron de 32.03 a 61.49 kcal 100 g⁻¹ de muestra (peso en base fresca), con diferencias significativas entre tratamientos (F = 72.10, g. l. = 6; *p* ≤ 0.05). Los carpóforos SK tuvieron el mayor aporte, mientras que el menor fue para PT y PT-SK. El contenido de humedad de los carpóforos en base fresca tiene un efecto importante en el aporte energético de los mismos debido a que a menor contenido de agua (como es el caso de SK), se incrementa la materia seca que contribuye al aporte calórico, además del aporte por mayor contenido proteico de SK y SE. Este mismo comportamiento se observó en hongos crudos con humedad variable desde 88.3 a 92.4 % (USDA, 2022), o intervalos muy amplios de proteínas que puede presentar este hongo (7.3 a 53.3 %) y variación en su contenido de carbohidratos totales (50-60 %) en peso en base seca (Torres-Martínez *et al.*, 2022).

En general, en esta primera parte del estudio, la composición proximal de los carpóforos de *P. ostreatus* indicó que sustratos obtenidos a partir de plantas invasoras como

Cuadro 4. Aporte de energía de carpóforos de *Pleurotus ostreatus* producidos en diferentes tratamientos.

Tratamiento	Energía (kcal 100 g ⁻¹)
SE	37.00±0.33 bc
SK	61.49±3.05 a
PT	33.89±0.20 c
SE-SK	42.37±0.10 b
PT-SE	37.38±0.24 bc
PT-SK	32.03±0.27 c
SE-SK-PT	36.77±0.18 bc

Valores medios ± EE. Datos obtenidos en peso en base fresca. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey; *p* ≤ 0.05). SE= 100 % *Solanum elaeagnifolium*; SK= 100 % *Salsola kali*; PT= 100 % Paja de trigo (control); SE-SK=50 % *S. elaeagnifolium* y 50 % *S. kali*; PT-SE=50 % Paja de trigo y 50 % *S. elaeagnifolium*; PT-SK= 50 % Paja de trigo y 50 % *S. kali*; SE-SK-PT= 1/3 de *S. elaeagnifolium*, *S. kali* y paja de trigo.

S. elaeagnifolium y *S. kali* permiten el adecuado desarrollo y crecimiento del hongo y tienen un efecto importante en el contenido de proteína y minerales. Sin embargo, más estudios son necesarios para determinar su inocuidad y toxicidad y sugerir su potencial uso para consumo animal o humano.

CONCLUSIONES

Los sustratos elaborados a partir de las arvenses invasoras *Solanum elaeagnifolium* y *Salsola kali* pueden usarse de manera eficaz para la producción de carpóforos de *Pleurotus ostreatus*. No es recomendable utilizarlos en combinaciones entre ellos ni con paja de trigo. El mejor sustrato fue 100 % *S. elaeagnifolium*, que produjo los mayores resultados en la producción de número de carpóforos, biomasa, variables morfométricas y eficiencia biológica.

En su composición proximal, los carpóforos de *P. ostreatus* obtenidos a partir de los sustratos con *S. elaeagnifolium* y *S. kali* mostraron mayor contenido de materia seca, particularmente en proteína y minerales en comparación que el sustrato convencional con base de paja de trigo. El aporte calórico de los carpóforos está particularmente relacionado con su contenido proteico y de carbohidratos., dado su bajo contenido de lípidos.

Este estudio demostró que *P. ostreatus* tiene la capacidad de producir carpóforos de buen tamaño y con un alto contenido proteico con el uso de sustratos a partir de *S. elaeagnifolium* y *S. kali*, consideradas arvenses altamente invasoras.

REFERENCIAS

- Abou-Fayssal S, Alsanad MA, El-Sebaaly Z, Ismail AIH, Sassine YN. 2020. Valorization of olive pruning residues through bioconversion into edible mushroom *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. (1871) of improved nutritional value. *Scientifica* 2020: 3950357. <https://doi.org/10.1155/2020/3950357>.
- Aghajani H, Bari E, Bahmani M, Humar M, Ghanbary MAT, Nicholas DD, Zahedian E. 2018. Influence of relative humidity and temperature on cultivation of *Pleurotus* species. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 20 (4): 571–578. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005004501>.
- Andries V, Vasilica A. 2017. Caracterele morfo-culturale ale carpóforilor de *Pleurotus ostreatus* cultivați pe diferite substraturi celulozice. *Știința Agricolă* 2: 27–29.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th Ed. AOAC International. Gaithersburg, MD, USA, 69–88.
- Atila F. 2016. Effect of different substrate disinfection methods on the production of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Agricultural Studies* 4 (4): 1–14.
- Carrasco-González JA, Serna-Saldívar SO, Gutiérrez-Urbe JA. 2017. Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potential use as food ingredient. *Journal of Food Composition and Analysis* 58: 69–81. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.016>.
- Corrêa RCG, Brugnari T, Bracht A, Peralta RM, Ferreira I. 2016. Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends in Food Science and Technology* 50: 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.012>.
- DFI (Danish Food Informatics). 2015. Energy-The Atwater System. October 06. http://toolbox.foodcomp.info/ToolBox_Atwater.asp (Retrieved: March, 2022).
- Díaz-Muñoz K, Casanova-Guajardo M, León Torres CA, Gil Ramírez LA, Bardales-Vásquez CB, Cabos-Sánchez J. 2019. Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa* 26 (3): 1177–1184. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26322>.

- FAO (Food and Agriculture Organization). 2002. Food and nutrition paper. Food energy-methods of analysis and conversion factors. FAO Food and Nutrition Paper 17. Roma. 87 p.
- García-Calderón ND, Ramos-López MÁ, Rubalcaba-Alejo I, Caratachea-Aguirre IL, Flores-Macías F. 2021. Adición de alfalfa deshidratada como suplemento de sustratos en la producción de *Pleurotus ostreatus*. Revista Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente 21 (41): 77–86.
- Gupta A, Sharma S, Kumar A, Alam P, Ahmad P. 2016. Enhancing nutritional contents of *Lentinus sajor-caju* using residual biogas slurry waste of detoxified mahua cake mixed with wheat straw. *Frontiers in Microbiology* 7: 1529. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01529>.
- Hanif Z, Ali HH, Rasool G, Tanveer A, Chauhan BS. 2018. Genus *Salsola*: its benefits, uses, environmental perspectives and future aspects-a review. *Journal of Rangeland Science* 8 (4): 315–328.
- Hausiku MK, Mupambwa HA. 2018. Seaweed amended rice straw substrate and its influence on health related nutrients, trace elements, growth and yield of edible white elm mushroom (*Hypsizygus ulmarius*). *International Journal of Agriculture and Biology* 20: 2763–2769.
- Hoa HT, Wang CL, Wang CH. 2015. The Effects of Different Substrates on the Growth, Yield, and Nutritional Composition of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology* 43 (4): 423–434.
- IBM (International Business Machines Corporation). 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp. 424 p.
- Jin Z, Li Y, Ren J, Qin N. 2018. Yield, nutritional content, and antioxidant activity of *Pleurotus ostreatus* on corncobs supplemented with herb residues. *Mycobiology* 46 (1): 24–32.
- Jin Q, Hou Q, Niu T. 2020. Effect of cultivating *Pleurotus ostreatus* on substrates supplemented with herb residues on yield characteristics, substrates degradation, and fruiting bodies' properties. *Journal of Science Food Agriculture* 100: 4901–4910. DOI 10.1002/jsfa.10551.
- Jonathan SG, Okon CB, Oyelakin AO, Oluranti OO. 2012a. Nutritional values of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) (Jacq. Fr.) Kumm. cultivated on different agricultural wastes. *Natural Sciences* 10: 179–186.
- Jonathan SG, Okorie AN, Garuba EO, Babayemi OJ. 2012b. Bioconversion of sorghum stalk and rice straw into value added ruminant feed using *Pleurotus pulmonarius*. *Natural Sciences* 10: 10–16.
- Kaaya GP, Kadhila-Muandingi PN, Lotfy HR, Mshigeni KE. 2012. Determination of optimum seaweed concentration for mushroom cultivation and the ability of mushrooms to absorb iodine. *African Journal of Agricultural Research* 7: 3673–3676.
- Koutrotsios G, Mountzouris KC, Chatzipavlidis I, Zervakis GI. 2014. Bioconversion of lignocellulosic residues by *Agrocybe cylindracea* and *Pleurotus ostreatus* mushroom fungi-Assessment of their effect on the final product and spent substrate properties. *Food Chemistry* 161: 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.121>.
- Li H, Zhang Z, Li M, Li X, Sun Z. 2017. Yield, size, nutritional value, and antioxidant activity of oyster mushrooms grown on perilla stalks. *Saudi Journal of Biological Sciences* 24 (2): 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.10.001>.
- Lisiecka J, Prasad R, Jasinska A. 2021. The Utilisation of *Pholiota nameko*, *Hypsizygus marmoreus*, and *Hericium erinaceus* Spent Mushroom Substrates in *Pleurotus ostreatus* Cultivation. *Horticulturae* 7 (10): 396. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100396>.
- Mellado M, Garcia JE, Arévalo JR, Pittroff W. 2008. Replacement value of *Solanum elaeagnifolium* for alfalfa hay offered to growing goats. *Journal of Arid Environments* 72 (11): 2034–2039. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.06.009>.
- Mintesnot B, Ayalew A, Kebede A. 2014. Evaluation of biomass of some invasive weed species as substrate for oyster mushroom (*Pleurotus* spp.) cultivation. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 17 (2): 213–219.
- Młeczek M, Gąsecka M, Budka A, Niedzielski P, Siwulski M, Kalač P, Młeczek P, Rzymiski P. 2021. Changes in mineral composition of six strains of *Pleurotus* after substrate modifications with different share of nitrogen forms. *European Food Research Technology* 247: 245–257.
- Moran-Arellanos TM, Ortega JB, Cruz MS, Martínez VR, Martínez BC, Pech ZGH. 2020. Potencial biotecnológico de residuos vegetales para producir *Pleurotus ostreatus* en zonas rurales de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11 (3): 685–693. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.1925>.
- Nieto-Juárez J, Cuzcano-Ruiz A, Reyes-López W. 2019. Estudio preliminar de la composición nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado en pulpa de café. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 85 (4): 422–431. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.256>.

- Owaid MN, Abed IA, I-Saeedi SS. 2015. Using of date palm fiber mixed with other lignocelluloses toward *Pleurotus ostreatus* (Higher Basidiomycetes) cultivation. *Emirates Journal of Food Agriculture* 27 (7): 556–561.
- Pandey VK, Singh MP. 2014. Biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus*. *Cellular and Molecular Biology* 60 (5): 29–34.
- Rodríguez-Estrada AE, Pichica J. 2017. Cultivation of *Pleurotus ostreatus*. In Cunha-Zied D, Pardo-Giménez A. (eds.). *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*. Wiley Blackwell: Oxford, UK, 339–360.
- Romero-Arenas O, Martínez MA, Damián MA, Ramírez B, López-Olguín J. 2015. Producción de hongo Shiitake (*Lentinula edodes* Pegler) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola* 6 (6): 1229–1238.
- Romero-Arenas O, Valencia-De Ita MA, Rivera-Tapia JA, Tella-Salgado I, Villarreal Espino-Barros OA, Damián-Huato MA. 2018. Capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando alfalfa deshidratada como suplemento en diferentes sustratos agrícolas. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 15 (2): 145–160.
- Sekan AS, Myronycheva OS, Karlsson O, Gryganskyi AP, Blume Y. 2019. Green potential of *Pleurotus* spp. in biotechnology. *Peer J*. 7: e6664. <https://doi.org/10.7717/peerj.6664>.
- Song Q, Deng X, Song RQ. 2020. Expression of *Pleurotus ostreatus* laccase gene in *Pichia pastoris* and its degradation of corn stover lignin. *Microorganisms* 8 (4): 601. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040601>.
- Torres-Martínez B, Vargas-Sánchez RD, Torrescano-Urrutia GR, Esqueda M, Rodríguez-Carpentera, JG, Fernández-López J, Pérez-Alvarez, JA, Sánchez-Escalante A. 2022. *Pleurotus* Genus as a potential ingredient for meat products. *Food* 11 (779): 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods11060779>.
- Uludag A, Gbehouhou G, Kashefi J, Bouhache M, Bon MC. 2016. Review of the current situation for *Solanum elaeagnifolium* in the Mediterranean Basin. *EPPO Bulletin* 46: 139–147. <https://doi.org/10.1111/epp.12266>.
- USDA (U.S. Department of Agriculture). 2022. Food Data Central: Mushrooms raw. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html/> (Consultado: Marzo 2022).

