EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y MINERAL DE DOS CEPAS DE *Pleurotus spp* CULTIVADAS EN BAGAZO DE AGAVE Y PAJA DE MAÍZ

PRODUCTIVE AND MINERAL EVALUATION OF TWO STRAINS OF *Pleurotus spp* CULTIVATED IN AGAVE BAGASSE AND MAIZE STRAW

Socorro Morales-Flores[1], César L. Aguirre-Mancilla[2], Arturo Ángel-Hernández[1], Jesús Hernández-Ruiz[3] y Jorge E. Ruiz-Nieto[3]*

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Posta, Medellín de Bravo, Veracruz, México. [2]Tecnológico Nacional de México, *Campus* Roque, Celaya, México. [3]Universidad de Guanajuato, Departamento de Agronomía, Irapuato, México.

*Autor para correspondencia (jorge.ruiz@ugto.mx)

RESUMEN

En México se genera una gran cantidad de desechos de agave, en los que el uso de hongos de pudrición blanca es una alternativa para su aprovechamiento. El género *Pleurotus* tiene especies con eficiente degradación de desechos lignocelulósicos y representan una fuente importante de nutrientes para la alimentación humana al aportar proteínas, aminoácidos, vitaminas y minerales. El objetivo de este estudio fue comparar productivamente dos cepas de *Pleurotus spp* cultivadas en bagazo de agave y paja de maíz, así como analizar la concentración mineral de los cuerpos fructíferos. Para realizar el estudio se utilizó la cepa silvestre UG-01 (*Pleurotus djamor*) y la cepa comercial BR.1 (*Pleurotus ostreatus*); éstas fueron inoculadas en residuos de bagazo de agave y paja de maíz como control comercial, por ser el sustrato de referencia en la producción regional. Para el pretratamiento de los sustratos se utilizó el método de inmersión alcalina con hidróxido de calcio. Las variables de estudio fueron peso fresco, longitud y diámetro de los basidiomas y eficiencia biológica. Posteriormente, los elementos Na, K, Ca, Fe, Cu y Zn se analizaron por espectrofotometría de llama. El mayor peso fresco de los basidiomas se presentó en la cepa BR.1 cultivada en bagazo de agave, con 52.7 g, en comparación con los 49.1 g producidos en la paja de maíz. La cepa UG-01 produjo 27.1 y 25.2 g en bagazo de agave y paja de maíz, respectivamente. En los basidiomas de la cepa BR.1 cultivados en bagazo de agave y paja de maíz el mineral con mayor presencia fue el K, con 5.6 y 7.4 g kg^{-1}, respectivamente, mientras que, en la cepa UG-01 en los mismos sustratos el contenido de K fue de 7.0 y 6.6 g kg^{-1}, respectivamente. La cepa BR.1 fue la más productiva y la cepa UG-01 la que presentó mayor contenido de minerales, cuando ambas cepas fueron cultivadas en bagazo de agave.

Palabras clave: *Pleurotus djamor*, hongo de maguey, hongos comestibles, recursos genéticos.

SUMMARY

In Mexico, a large amount of agave waste is generated, in which the use of white rot fungi is an alternative for its utilization. The *Pleurotus* genus has species with efficient degradation of lignocellulosic wastes and represents an important source of nutrients for human food by providing proteins, aminoacids, vitamins and minerals. The aim of this study was to compare productively two strains of *Pleurotus* spp. grown on agave bagasse and corn straw, as well as to analyze the mineral concentration of the fruiting bodies. The wild strain UG-01 (*Pleurotus djamor*) and the commercial strain BR.1 (*Pleurotus ostreatus*) were used for the study; these were inoculated on agave bagasse and corn straw residues as a commercial control, since this is the reference substrate in regional production. For pretreatment of the substrates, the alkaline immersion method with calcium hydroxide was used. The study variables were fresh weight, length and diameter of basidiomes and biological efficiency. Subsequently, the elements Na, K, Ca, Fe, Cu and Zn were analyzed by flame spectrophotometry. The highest fresh weight of basidiomes was presented in strain BR.1 grown on agave bagasse, with 52.7 g, compared to 49.1 g produced on corn straw. Strain UG-01 produced 27.1 and 25.2 g in agave bagasse and corn straw, respectively. In the basidiomes of strain BR.1 grown on agave bagasse and corn straw the mineral with the highest presence was K, with 5.6 and 7.4 g kg^{-1}, respectively, while, in strain UG-01 in the same substrates the K content was 7.0 and 6.6 g kg^{-1}, respectively. Strain BR.1 was the most productive and strain UG-01 the one with the highest mineral content, when both strains were grown on agave bagasse.

Index words: *Pleurotus djamor*, edible fungi, genetic resources, maguey mushroom.

INTRODUCCIÓN

Los hongos del género *Pleurotus* son considerados como alimento de calidad debido a su sabor, textura y sobre todo al alto valor alimenticio; además, son considerados un alimento funcional con propiedades nutricionales pues contienen la mayoría de los aminoácidos esenciales, vitaminas como la tiamina (B1) y riboflavina (B2) y minerales (Salmones, 2017). Los minerales intervienen en diferentes procesos fisiológicos en el organismo, particularmente en la inmunidad y el metabolismo (Ciudad, 2014); como cofactores participan en la modulación de actividades enzimáticas o son parte integral en las enzimas. Estos compuestos no son sintetizados por el organismo humano, por tanto, se depende de los alimentos para obtenerlos, como los hongos comestibles, ya que estos pueden contribuir al suministro de macro y micronutrientes en la dieta (Gómez-Flores *et al.,* 2019).

Uno de los géneros de hongos comestibles más cultivados es *Pleurotus.* En México, este género es de los más cultivados, pero principalmente es a partir de

Recibido: 10 de abril de 2024
Aceptado: 4 de novimbre de 2024
DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2024.5.191

cepas introducidas de otros países. No obstante, existen especies nativas de amplia distribución (Salmones y Mata, 2017), que representan una base genética con potencial para la producción y que pueden ser aprovechados por características deseables como aroma, color atractivo y turgencia después del corte (Huerta *et al*., 2010). Tal es el caso del "hongo del maguey" (*Pleurotus djamor)*, especie que crece de forma natural en la necromasa de plantas de agave. Estos hongos comestibles son altamente apreciados en localidades rurales de México, por sus propiedades organolépticas (Camacho *et al.,* 2012); sin embargo, se han aislado pocas cepas, ya que la pérdida de hábitat, la reducción del área sembrada con magueyes pulqueros, así como su identificación inciden sobre su aprovechamiento, por tanto, existe poca información de su productividad y composición química.

Las especies del género *Pleurotus* pueden cultivarse en una gran cantidad de sustratos provenientes de residuos de la producción agrícola y forestal; estos influyen en la productividad, composición química, características funcionales y sensoriales de los hongos (Bellettini *et al*., 2019). Una alternativa para la producción sustentable de estos hongos es el uso de residuos derivados de la industria del tequila y el mezcal. Se estima que para el 2023 se alcanzó una producción de tequila de 598.7 millones de litros (CRT, 2024) y 6.4 millones de litros de mezcal, donde, por cada litro de estas bebidas se generó de 1.4 a 2 kg de bagazo (López *et al*., 2010), por lo que los desechos de esta actividad se encuentran altamente disponibles. El tipo de sustrato, las condiciones ambientales y las especies de hongos utilizadas en el cultivo tienen una gran influencia en la composición química de los cuerpos fructíferos, por lo que la adaptación de las cepas de *Pleurotus* spp. a nuevos residuos requiere el conocimiento del proceso de cultivo y de la composición química, tanto del sustrato como del cuerpo fructífero (Sales-Campos, 2009). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar las características productivas (peso fresco, diámetro y largo de los basidiomas), la eficiencia biológica y concentración mineral de *Pleurotus djamor* con la especie *Pleurotus oestreatus* cultivados en bagazo de agave y paja de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y cepas de *Pleurotus*

El estudio se realizó en una unidad productiva (latitud 17° 7' 45.0" N y longitud de 96° 45' 0.0" O) ubicada en el municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. En este sitio el clima es templado subhúmedo, con una temperatura media anual de 22 ºC y una altitud de 1,542 msnm (INEGI, 2020).

Como material biológico se utilizó la cepa silvestre UG-01 "Hongo de maguey" correspondiente a *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) colectada, aislada e identificada en el estado de Guanajuato, cuya información fue previamente publicada por Morales-Flores *et al.* (2022) y la cepa comercial BR.1 de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kumm; ambas cepas se mantuvieron en medio de cultivo agar de dextrosa y papa (PDA) a 25 °C.

Preparación del inóculo

Para la preparación del inóculo se siguió la técnica descrita por López (2016): se utilizaron 5 kg de sorgo, los granos fueron lavados con agua corriente y una vez limpios se dejaron reposar en 10 L de agua por 12 h, posteriormente se dejaron escurrir hasta obtener una humedad del 70 % y se adicionó hidróxido de calcio al 5 % para reducir la adhesión entre granos. Enseguida, 500 g se pesaron en una báscula marca OHAUS® y se colocaron en una bolsa de polipapel de 14 x 20 cm. El material antes preparado fue esterilizado en autoclave a 121 ºC por una hora. Las bolsas con grano se dejaron reposar por 24 h y se inocularon con un implante de 7 mm de diámetro de agar PDA invadido por el micelio de las cepas en estudio a 25 °C por un periodo de 30 días.

Tratamiento y manejo productivo de los sustratos

Para la inoculación con las cepas se utilizaron los residuos agrícolas: bagazo de agave tepeztate (*Agave marmorata* R.) (BA) y, como control comercial, paja de maíz (*Zea mays* L.) (PM). El BA se colectó en palenques dedicados a la elaboración de mezcal en los municipios de Tlacolula de Matamoros y Matatlán, Oaxaca. Inicialmente, ambos sustratos BA y PM se secaron a temperatura ambiente hasta alcanzar un peso constante; posteriormente, ambos sustratos se sumergieron en una solución de hidróxido de calcio al 5 % por 12 h. Enseguida, el exceso de agua se eliminó por escurrimiento hasta obtener una humedad en el sustrato de 60 a 65 %, según la técnica descrita por Guzmán *et al*. (2008). Los sustratos se pasaron a un área de siembra donde se procedió a la inoculación. Para esta etapa, 1 kg de sustrato (peso húmedo) se colocó en 10 bolsas de polipropileno de 20 x 30 cm, que se utilizaron como unidades experimentales. El sustrato se inoculó con micelio al 3 % con base en peso húmedo del mismo sustrato, donde previamente se cultivó el micelio. Las bolsas sembradas se incubaron a temperatura promedio de 22 °C, humedad relativa del 55 % y oscuridad durante todo su ciclo productivo. Después de la aparición de los primordios, a los 20 días en promedio, se inició el riego, el cual se realizó tres veces al día con una bomba de aspersión con capacidad de 5 L marca Sprayer®. Los basidiomas se cosecharon 22 días después de la aparición de los primordios.

Variables evaluadas

Las variables se evaluaron en hongos en etapa adulta, cuando el sombrero se observó compacto, turgente y antes de que sus orillas se enrollaran hacia arriba, según lo describe Gaitán-Hernández *et al.* (2006). Las variables fueron peso fresco (PF, g) determinado en una báscula BACI-5 (Rhino®), diámetro del basidioma (DIA, cm), largo del basidioma (LAR, cm) y la eficiencia biológica (EB, %), mediante la siguiente fórmula (Vega y Franco, 2012).

$$EB = \frac{\text{(Peso fresco de los cuerpos fructíferos cosechados por bolsa)}}{\text{(Peso seco del sustrato empleado al momento de la inoculación)}} * 100$$

Para la determinación de minerales se consideraron hongos en etapa adulta, los cuales se secaron en un horno eléctrico con aire forzado marca RIOSSA® a 55 °C hasta llegar a peso constante y posteriormente fueron pulverizados en un mortero. En el caso del contenido de cenizas (%), las muestras se incineraron hasta alcanzar peso constante y se siguió el método AOAC 942.05. Posteriormente, para la digestión se utilizaron 0.5 g de las muestras previamente deshidratadas y se colocaron en un matraz Micro-Kjeldahl de 30 Ml, al cual se agregaron 4 mL de ácido perclórico 70 % y 4 mL de ácido nítrico 65 %, cuya mezcla se dejó reposar por 12 h. Después, los matraces se calentaron a 180 ˚C por 45 min y las digestiones se aforaron a 100 mL. La concentración de Na (mg kg^{-1}) y K (g kg^{-1}) fueron medidas con un espectrofotómetro de llama modelo 2655-00 (Cole Parmer®) y se utilizaron las respectivas curvas de calibración realizadas para el presente estudio. Las concentraciones de Ca, Fe, Cu y Zn (mg kg^{-1}) fueron determinadas con un espectrofotómetro de absorción atómica modelo 904AA (GBC Scientific Equipment®) y las curvas de calibración correspondientes.

Para el análisis de los resultados se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad para el conjunto de datos de cada variable por las pruebas de Shapiro-Wilk y la prueba de igualdad de varianzas de Levene, respectivamente. Los resultados se analizaron con un arreglo de tratamientos factorial con dos cepas y dos sustratos utilizando cinco repeticiones, en un diseño experimental completamente al azar. El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey con α = 0.05. Además, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando una matriz de correlación, debido a que las variables se miden con escalas diferentes. A partir de los componentes principales 1 y 2 se determinó el número de agrupaciones generando una matriz de distancias utilizando el método de enlace simple individual y la distancia euclidiana como método jerárquico. Posteriormente, los tratamientos se agruparon mediante el algoritmo k-means. Los análisis estadísticos se realizaron con el software Minitab® 16.2.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, el 54.5 % de las variables no se desvian significativamente de una distribución normal (Cuadro 1) y de acuerdo con la prueba de igualdad de varianzas de Levene, las varianzas entre los tratamientos no son significativamente diferentes en el 100 % de las variables.

El peso fresco de los basidiomas fue diferente entre las cepas (P < 0.01); así mismo, los sustratos también fueron diferentes (P < 0.01), pero no se detectó interacción entre cepas y sustratos (P = 0.203) (Cuadro 2).

La cepa comercial BR.1 de *P. ostreatus* tuvo mayor peso fresco (PF) promedio de carpóforos en 24.75 g que la UG-01. En cuanto a los sustratos, el BA tuvo mayor PF promedio de carpóforos, con 2.75 g. El tratamiento que mayor PF de carpóforos tuvo fue la cepa BR.1 al ser cultivada en bagazo de agave. Barrales y Mata (2016) indicaron que al evaluar varias cepas silvestres de *Pleurotus opuntiae*, éstas presentaron menor producción en comparación con una cepa comercial de *Pleurotus pulmonarius*. Esto es, quizás, debido a que las especies en comparación son diferentes genéticamente, aparte de que la cepa comercial ha tenido procesos de selección genética para mayor productividad por más tiempo. Diferencias en sustratos también se han

Cuadro 1. Resultados de las prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y de igualdad de varianzas de Levene para las variables evaluadas.

Variables	Shapiro-Wilk	Interpretación
PF, LAR, EB y NA	P < 0.01	Los datos no siguen una distribución normal con un nivel de confianza del 99 %.
DIA y Cu	P < 0.05	Los datos no siguen una distribución normal con un nivel de confianza del 95 %.
Cenizas, K, Ca, Fe y Zn	P = 0.085	Los datos no se desvían significativamente de una distribución normal.

Peso fresco (PF), diámetro (DIA) y largo (LAR) de los carpóforos, eficiencia biológica (EB).

Cuadro 2. Análisis de varianza para el diseño factorial para el peso fresco con dos factores y dos niveles.

FV	SC	GL	CM	F	P
Cepas	3,057.86	1	3,057.86	1,421.77	< 0.01
Sustratos	37.26	1	37.26	17.33	< 0.01
Interacción	3.78	1	3.78	1.76	0.203
Error	34.41	16	2.15		
Total	3,133.32	19			

Fuente de variación (FV), suma de cuadrados (SC), grados de libertad (GL), cuadrados medios (CM), valor f (F), valor p (P). Diferencias no significativas P > 0.05, diferencias significativas P ≤ 0.05, diferencias altamente significativas P ≤ 0.01.

reportado por Romero *et al.* (2010), quienes encontraron para *P. ostreatus* pesos de 10,324.0 g en paja de trigo y 6,697.7 g en paja de maíz, incremento atribuído a la mayor cantidad de materia seca utilizada, pero que demuestra que la paja de maíz llega a tener comportamientos productivos menores (Cuadros 3 y 8).

Cuadro 3. Análisis de varianza para el diseño completamente al azar para el peso fresco (g) de los basidiomas.

FV	SC	GL	CM	F	P
Tratamientos	3,098.91	3	1,032.97	480.28	< 0.01
Error	34.41	16	2.15		
Total	3,133.33	19			

Fuente de variación (FV), suma de cuadrados (SC), grados de libertad (GL), cuadrados medios (CM), valor f (F), valor p (P). Diferencias no significativas P > 0.05, diferencias significativas P ≤ 0.05, diferencias altamente significativas P ≤ 0.01.

Respecto al tamaño de los basidiomas, el diámetro fue diferente entre las cepas (P < 0.01), donde la cepa BR.1 fue en promedio más gruesa en 1.8 cm que la UG-01 (P < 0.05). Los sustratos presentaron resultados similares, con un promedio de 7.2 cm, quedando de manifiesto que la cepa comercial fue más vigorosa (Cuadros 4 y 8).

Cuadro 4. Análisis de varianza para el diseño completamente al azar para el diametro (cm) de los basidiomas.

FV	SC	GL	CM	F	P
Tratamientos	58.72	3	19.57	53.05	< 0.01
Error	5.90	16	0.36		
Total	64.62	19			

Fuente de variación (FV), suma de cuadrados (SC), grados de libertad (GL), cuadrados medios (CM), valor p (P). Diferencias no significativas P > 0.05, diferencias significativas P ≤ 0.05, diferencias altamente significativas P ≤ 0.01.

El largo de los basidiomas fue diferente entre cepas (P < 0.01). La cepa BR.1 fue más larga en promedio 3.05 cm que la UG-01. Entre los sustratos no se identificaron diferencia significativas (P > 0.05); el promedio fue 6.2 cm. Entre las cepas y los sustratos se detectó una interacción altamente significativa (P < 0.01); el largo mayor se identifico en la cepa BR.1 en paja de maíz, con 8.7 cm (Cuadro 5, 6 y 8).

Cuadro 5. Análisis de varianza para el diseño factorial para el largo de los basidiomas con dos factores y dos niveles.

FV	SC	GL	CM	F	P
Cepas	48.05	1	48.05	130.22	< 0.01
Sustratos	1.15	1	1.15	3.12	0.096
Interacción	9.52	1	9.52	25.80	< 0.01
Error	5.90	16			
Total	64.62	19			

Fuente de variación (FV), suma de cuadrados (SC), grados de libertad (GL), cuadrados medios (CM), valor f (F), valor p (P). Diferencias no significativas P > 0.05, diferencias significativas P ≤ 0.05, diferencias altamente significativas P ≤ 0.01.

Cuadro 6. Análisis de varianza para el diseño completamente al azar para el largo (cm) de los basidiomas.

FV	SC	GL	CM	F	P
Tratamientos	16.74	3	5.58	143.12	< 0.01
Error	0.62	16	0.03		
Total	17.36	19			

Fuente de variación (FV), suma de cuadrados (SC), grados de libertad (GL), cuadrados medios (CM), valor f (F), valor p (P). Diferencias no significativas P > 0.05, diferencias significativas P ≤ 0.05, diferencias altamente significativas P ≤ 0.01.

La eficiencia biológica fue diferente entre cepas (P < 0.01), donde la BR.1 fue 32.9 más eficiente que la UG-1 (P < 0.05). Los sustratos tuvieron un comportamiento similar (P = 0.080) con un promedio de 51.4 %. Entre cepas y sustratos no hubo interacción (P = 0.298). La cepa comercial BR.1 presentó una EB de 70.33 % y 65.5 % en promedio al cultivarse en bagazo de agave y paja de maíz, respectivamente; por su parte, la cepa silvestre UG-01 mostró una EB 50 % inferior en relación con la cepa comercial (Cuadro 7 y 8). España-Rodríguez *et al.* (2021) reportaron una EB en una cepa silvestre de hongo de maguey de 52.3 % cultivada en bagazo de agave de la especie *salmiana*, en donde se utilizó trigo en combinación con sorgo como parte del inóculo y mayor temperatura de incubación (28 °C), generando un valor de EB superior al obtenido en el presente estudio. Por su parte Barrales y Mata (2016) reportaron que las cepas silvestres de *Pleurotus opuntiae*

(Durieu y Léville) mostraron valores de EB por debajo de los obtenidos con la cepa comercial de *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) con 230 %. Velázquez-De Lucio *et al.* (2020) indicaron que al cultivar *Pleurotus djamor* en bagazo de *Agave salmiana* Otto se obtuvo una EB de 58.3 ± 9 %. Para cepas comerciales de *Pleurotus ostreatus* se reportan valores de EB de 120.41 ± 4.4 % hasta 129.34 ± 9.1 % (Romero *et al.,* 2010; Valencia *et al.,* 2018). La EB no depende sólo del balance nutricional, sino también de aspectos ambientales, como la capacidad de retención de agua del sustrato, la aireación y la humedad relativa en varias etapas del cultivo (Mane *et al.,* 2007), además de la composición química y la estructura física del sustrato (Vega *et al.,* 2022). Se asume que los valores de la EB y sus diferencias son producto del sustrato utilizado y de la disponibilidad de componentes metabólicos que el sustrato ofrece al hongo; las eficiencias biológicas a partir del 50 % se consideran aceptables para una producción rentable (Ríos *et al.,* 2010). Lo anterior indica que para incrementar la EB de la cepa silvestre UG-01, además de identificar el sustrato de cultivo adecuado, se debe considerar su suplementación, identificar las mejores condiciones abióticas de cultivo e incluso someter la cepa a procedimientos de mejoramiento genético. Romero-Arenas *et al*. (2018) indicaron que al suplementar paja de trigo con alfalfa (*Medicago sativa* L.) deshidratada al 50 %, la EB aumentó de 128.70 % a 179, 40 % con respecto al testigo; mientas que Aceves *et al*. (2015) reportaron que al suplementar el sustrato con pasta de sorgo la producción se incrementó en 31.6 %.

Cuadro 7. Análisis de varianza para el diseño completamente al azar para la eficiencia biologica (%).

FV	SC	GL	CM	F	P
Tratamientos	5,466.2	3	1,822.10	139.41	< 0.01
Error	209.1	16	13.10		
Total	5,675.3	19			

Fuente de variación (FV), suma de cuadrados (SC), grados de libertad (GL), cuadrados medios (CM), valor f (F), valor p (P). Diferencias no significativas P > 0.05, diferencias significativas P ≤ 0.05, diferencias altamente significativas P ≤ 0.01.

En el caso de las cenizas, las cepas fueron similares en concentración (6.6 %; P > 0.05); no obstante, los sustratos (P < 0.01) fueron diferentes, siendo la paja de maíz 0.7 % mayor (P < 0.05) que BA. Se detectó interacción entre cepas y sustratos (P < 0.01), donde la cepa comercial tuvo el valor más bajo en BA. Lo anterior indica que las cepas, los sustratos y la interacción entre estos inciden significativamente en el contenido mineral. En el caso de los basidiomas de la cepa UG-01 se obtuvo un mayor contenido de minerales en los hongos cultivados en bagazo de agave. Vega y Franco (2012) reportan que al evaluar *P. djamor* cultivado en paja de maíz se reportó un contenido de cenizas de 9.63 a 10.2 %. Pavel (2009) refiere que los hongos comestibles generalmente presentan del 5 al 12 % de cenizas. Algunos autores reportan diferencias en el porcentaje de cenizas en los sustratos utilizados. Jiménez-Muñoz *et al.* (2016) obtuvieron un contenido de cenizas del sustrato de 10.1 ± 0.2 % en *Agave tequilana* Weber; mientras que, Rodríguez *et al.* (2013) reportan para *Agave* sp. un valor de 11.4 %. En paja de maíz los valores de cenizas reportados son inferiores, pues se han encontrado porcentajes de 5.98 % (Ruilova y Hernández, 2014) y 6.38 % (Romero-Arenas *et al*., 2018). Sales-Campos *et al*. (2009) indican que la composición química de los cuerpos fructíferos varía según el tipo de sustrato; sin embargo, intervienen otros factores como la especie, las condiciones ambientales y la etapa de desarrollo, pues los requerimientos y la absorción del mineral son diferentes según la etapa de crecimiento del hongo (George *et al.,* 2014).

Se identificaron diferencias en la concentración de K entre las cepas (P < 0.01), donde la UG-01 tuvo 11.7 g kg^{-1} más que la BR.1. Por su parte, los sustratos no mostraron diferencias (P = 0.058), teniéndose un promedio de 22.6 g kg^{-1}. Entre cepas y sustratos ocurrió interacción (P < 0.05), donde la UG-01 en la paja de maíz tuvo un comportamiento menor que cuando estuvo en BA (P < 0.05). Vega *et al.* (2022) reportan que los cuerpos fructíferos de *Pleurotus djamor* cultivados en pulpa de café presentaron un contenido de

Cuadro 8. Evaluación productiva de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* cultivados en bagazo de agave y paja de maíz.

Cepa	Sustrato	PF (g)	DIA (cm)	LAR (cm)	EB (%)
UG-01	BA	27.1 c	6.4 b	5.2 c	35.6 b
UG-01	PM	25.2 c	6.2 b	4.3 c	34.4 b
BR.1	BA	52.7 a	8.0 a	6.9 b	70.3 a
BR.1	PM	49.1 b	8.2 a	8.7 a	65.5 a
	DSH	2.65	0.36	1.10	6.55

Cepas de *Pleurotus* (UG-01 y BR.1), sustratos de bagazo de agave (BA) y de paja de maíz (PM). Peso fresco (PF), diámetro (DIA) y largo (LAR) de los carpóforos, eficiencia biológica (EB). Los valores con la misma letra dentro de las filas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey (0.05), diferencia significativa honesta (DSH). Diferencias no significativas P > 0.05, diferencias significativas P ≤ 0.05, diferencias altamente significativas P ≤ 0.01.

K de 8.7581 g kg^{-1}. Al respecto, Chang-Yu *et al.* (2009) indicaron que el K presente en el sustrato de cultivo se transfiere eficientemente al cuerpo fructífero. Los factores que influyen en la absorción de minerales pueden ser medioambientales, como la concentración del elemento en el sustrato o propias de la especie, como la liberación de enzimas degradativas para la descomposición de la celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que favorece la liberación de los metales y otros elementos que están en formas poco disponibles, facilitando su solubilización y captación, así como la estructura y distribución micelial, entre otras (Alonso *et al.,* 2010).

En cuanto a sodio, las cepas fueron diferentes (P < 0.01), teniendo la BR.1 54.1 mg kg^{-1} más sodio que la UG-1 (P < 0.05). Los sustratos también tuvieron comportamiento diferente (P < 0.01). El BA presentó en promedio 72.9 mg kg^{-1} más sodio que PM. Así mismo, entre cepa y sustrato ocurrió interacción, donde la UG-1 en paja de maíz obtuvo el valor menor (502 mg kg^{-1}; P ≤ 0.05). Vega y Franco (2012) reportaron un intervalo de 352 a 701 mg kg^{-1} para el contenido de Na en *Pleurotus* sp. Por su parte, Nieto-Juárez *et al.* (2019) reportaron un rango de 332-348.5 mg kg^{-1} en *Pleurotus ostreatus*. Respecto a las diferencias entre especies, Vetter (2003) señaló que, independientemente de la nutrición o del tipo de condiciones ambientales donde se desarrolle el hongo, los niveles de Na se mantienen dentro de un intervalo esperado para cada especie.

En cuanto al contenido de Ca, en los basidiomas se identificaron diferencias entre las cepas (P < 0.01), donde UG-1 tuvo 565.3 mg kg^{-1}. En los sustratos los resultados fueron diferentes (P < 0.01); específicamente, la PM en promedio tuvo 448.3 mg kg^{-1} más que el BA, debido a la interacción que ocurrió entre cepas y sustratos (P < 0.01), donde la cepa UG-1 tuvo concentraciones muy altas en la PM (1,189 mg kg^{-1} en promedio). Esto indica que la cepa UG-01 absorbe con mayor eficiencia este mineral y que la paja de maíz tiene mayor disponibilidad. En el caso del bagazo de agave, las hojas de esta especie vegetal contienen cristales de oxalato de calcio en el mesófilo; sin embargo, éste compuesto puede aportar a la formación de complejos de calcio insolubles reduciendo su biodisponibilidad (Delgadillo *et al*., 2015). El contenido de Ca en los cuerpos fructíferos de hongos comestibles es bajo a pesar de las altas concentraciones en los sustratos de cultivo, lo que sugiere que el Ca se encuentra en una forma poco biodisponible o que los hongos no tienen canales de absorción eficientes (Chang-Yu *et al.,* 2009). George *et al.* (2014) señalan que el intervalo de Ca es entre 5,379 y 10,320 mg kg^{-1}, por lo que es un elemento abundante en los hongos.

El contenido de Fe fue diferente entre cepas (P < 0.01). La BR.1 superó en 10.1 mg kg^{-1} a la UG-1 (P < 0.05). Los sustratos fueron también diferentes (P < 0.05), siendo la PM 10.7 mg kg^{-1} mayor al BA (P < 0.05). No se identificó interacción entre cepas y sustratos (P = 0.087). El valor más alto se presentó en los basidiomas de la cepa BR.1 cultivada en paja de maíz (131.8 mg kg^{-1}), en el caso de la cepa UG-01, los valores más altos también se presentaron utilizando este sustrato (118.5 mg kg^{-1}). De acuerdo con Kalac (2013), la distribución del Fe en los hongos es de 44.4 – 125.1 mg kg^{-1}; los resultados del presente estudio concuerdan con la distribución mencionada.

En el caso del contenido de Zn se identificaron diferencias entre las cepas (P < 0.01), siendo la UG-1 mayor en 36 mg kg^{-1} que la BR.1. Entre sustratos también se encontraron diferencias (P < 0.01), siendo la PM mayor en 28.7 mg kg^{-1} que el BA. Entre cepas y sustratos se detectó interacción (P < 0.01), donde la cepa BR.1 mostró un incremento en la concentración de Zn en la PM. Kalac (2012) muestra que el Zn es el metal más abundante en hongos comestibles, con valores entre 59.3 – 283.9 mg kg^{-1}, concordando con los valores obtenidos en el presente estudio.

Entre las cepas (P < 0.01) se identificaron diferencias en el contenido de Cu. La UG-1 superó en 90.75 mg kg^{-1} a la BR.1; así mismo, entre sustratos se encontraron diferencias en la concentración de este elemento (P < 0.01), donde la PM mostró 15.75 mg kg^{-1} más concentración que el BA. Entre cepa y sustrato se dio un efecto de interacción (P < 0.01) en PM, donde la cepa UG-1 disminuyó y la BR.1 aumentó la concentración de Cu. El valor más alto se presentó en la cepa UG-01 cultivada en bagazo de agave (245.7 mg kg^{-1}). Vega *et al.* (2022) indican que los cuerpos fructíferos siguen un orden de abundancia similar al de los sustratos donde se cultivan y que la característica de transporte de minerales del sustrato hacia los cuerpos fructíferos de los hongos puede ser utilizada para producir setas con alto contenido de minerales. De acuerdo con Kalac (2013), el Cu tiene un intervalo en los hongos de 13.7 – 18.4 mg kg^{-1}. Gómez-Flores *et al* (2019) señalan que las diferencias en el contenido mineral en los hongos pueden atribuirse a factores ambientales como el clima, las condiciones de crecimiento y el contenido de nutrientes en el sustrato (Cuadro 9).

Respecto al análisis de componentes principales, los CP1 y CP2 explicaron acumulativamente en promedio el 92.7 % de la variación. El CP1 presentó una correlación promedio de 0.97 y estuvo asociado con la variable eficiencia biológica. En el segundo componente principal (CP2) la variación fue determinada por la variable Ca, con una correlación de 0.95, lo que define el efecto de la cepa y el sustrato en las variables productivas y el contenido mineral. En la Figura 1 se presenta la formación de dos grupos

Cuadro 9. Contenido mineral en los basidiomas de *Pleurotus djamor* (UG-01) y *Pleurotus ostreatus* (BR.1) cultivados en bagazo de agave (BA) y paja de maíz (PA).

Cepa	Sustrato	Cenizas %	K g kg^{-1}	Na	Ca	Fe	Zn*	Cu
				mg kg^{-1}				
UG-01	BA	7.0 ab	31.0 a	687.8 a	438.3 b	111.0 c	96.6 b	245.7 a
UG-01	PM	6.6 b	27.5 b	502.0 c	1,189.0 a	118.5 b	115.0 a	229.4 b
BR.1	BA	5.6 c	17.4 c	629.0 a	175.4 d	117.9 b	50.3 c	122.9 d
BR.1	PM	7.4 a	17.7 c	669.0 b	321.3 c	131.8 a	89.3 b	170.7 c
DSH		0.54	3.14	35.52	32.47	9.1	8.70	10.47

Cepas de *Pleurotus* (UG-01 y BR.1), sustratos de bagazo de agave (BA) y de paja de maíz (PM). Los valores con la misma letra dentro de las columnas son estadísticamente iguales de acuerdo la prueba de Tukey (***p*** < 0.05), diferencia significativa honesta (DSH). Diferencias no significativas P > 0.05, diferencias significativas P ≤ 0.05, diferencias altamente significativas P ≤ 0.01.

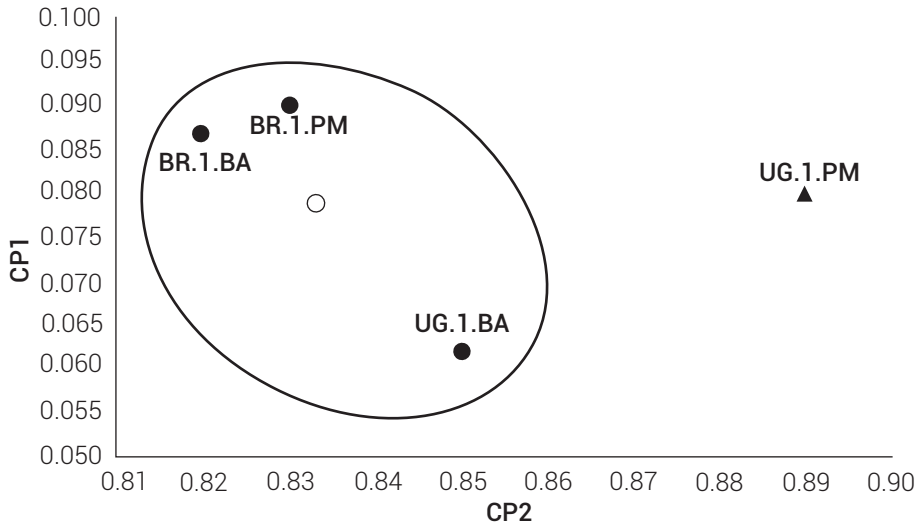

Figura 1. Agrupamiento de los tratamientos con base en el análisis de componentes principales. Componentes Principales (CP1 y CP2), centro del primer conglomerado (○), tratamientos por conglomerado (● y ▲). Cepas de *Pleurotus* (UG-01 y BR.1), sustratos de bagazo de agave (BA) y de paja de maíz (PM).

generales, lo que indica diferencias en el comportamiento de las cepas evaluadas. La cepa comercial es más estable al someterla a diversos sustratos, debido al proceso de selección y manejo de características al que ha sido sometida, mientras que la cepa silvestre muestra cambios importantes al cultivarla en sustratos variados. El segundo grupo se conformó solo por el tratamiento correspondiente a la cepa UG-01 cultivada en paja de maíz, lo que sugiere la eficiencia de la cepa para absorber este mineral y la disponibilidad de calcio en este residuo agrícola.

CONCLUSIONES

Las capacidades productivas de la cepa silvestre del "hongo de maguey" (*Pleutotus djamor*) y comercial (*Pleurotus ostreatus*) fueron distintas. Independientemente del sustrato, la cepa más productiva fue BR.1 al presentar mayor peso fresco, longitud y diámetro. La concentración mineral es diferente entre especies, donde destaca la concentración de calcio de la UG-1 en la paja de maíz, así como el incremento en la concentración del Zn. A pesar de que la cepa UG-01 fue menos productiva, en general sus basidiomas presentaron mayor contenido de minerales, sin que dependiera de manera clara de ser cultivada en bagazo de agave o paja de maíz. El conocimiento sobre las características productivas y la conformación mineral indican que es posible aprovechar la cepa silvestre, mejorando el manejo y las condiciones de cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Agronomía de la Universidad de Guanajuato, por proveer los medios e insumos para el desarrollo del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Aceves M. A. C., R. F. Ariza, M. A. S. Otero, A. A. Barrios (2015) Productos químicos y biológicos como suplementos que incrementan la producción del hongo ostra *Pleurotus ostreatus*. *Interciencia* 40: 542-548.

Alonso J., M. A. García, M. J. Melgar, M. C. Abuín y M. Corral (2010) Elementos traza en hongos comestibles. Repercusiones alimentarias y valoración nutricional. Boletín Micológico de FAMCAL 5: 101-126.

Barrales M. y G. Mata (2016) Selección de cepas nativas del hongo de maguey (*Pleurotus opuntiae*) y evaluación de su producción en sustratos fermentados. *Interciencia* 5: 346-352.

Bellettini M. B., F. F. Assumpção, M. H. Aparecida, T. G. Lopes, S. Ávila, H. P. Silveira, A. J. Maccari and R. R. Hoffmann (2019) Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences* 26:633-646, https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005

Camacho M., G. Guzmán and L. Guzmán-Dávalos (2012) *Pleurotus opuntiae* (Durieuet Lèv.) *Sacc*. (Higher Basidiomicetes) and other species related to *Agave* and *Opuntia* plants in Mexico-Taxonomy, distribution and applications. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 14: 65-78, https://doi: 10.1615/intjmedmushr. v14. i1.70

Chang-Yu L., P. Jeong-Eun, K. Bo-Bae, K. Sun-Mi and R. Hyeon-Su (2009) Determination of mineral components in the cultivation substrates of edible mushrooms and their uptake into fruiting bodies. *Mycobiology* 37: 109-113, https://do.10.4489/MYCO.2009.37.2.109

Ciudad R. A. (2014) Requerimiento de micronutrientes y oligoelementos. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia* 2: 161-170.

CRT, Consejo regulador del Tequila (2024) Visualiza agroindustria tequilera para 2024 continuar con la planeación estratégica de esta cadena productiva – Consejo Regulador de Tequila (crt.org.mx) (Junio 2024)

Delgadillo R. L., R. Bañuelos-Valenzuela, E. L. Esparza-Ibarra, H. Gutiérrez-Bañuelos, F. J. Cabral-Arellano y A. Muro-Reyes (2015) Evaluación del perfil de nutrientes de bagazo de agave como alternativa de alimento para rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11: 2099-2103, https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.778

España-Rodríguez E., E. M. Hernández-Domínguez, B. S. Velázquez-De Lucio, M. Villa- García y J. Álvarez-Cervantes (2021) Productividad y análisis químico proximal de *Pleurotus* spp. crecidos sobre bagazo de *Agave salmiana* como sustrato alternativo. *Agrociencia* 55: 569-581, https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i7.2604

Gaitán-Hernández R., D. Salmones, R. Pérez-Merlo y G. Mata (2006) Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver., México 24 p.

George P L., T. D. Ranatunga, S. S. Reddy and G. C. Sharma (2014) A comparative analysis of mineral elements in the mycelia and the fruiting bodies of shiitake mushrooms. *American Journal of Food Technology* 9: 360-369.

Gómez-Flores L. J., N. M. Martínez-Ruiz, I. D. Enríquez-Anchondo, F. Garza-Ocañas, J. A. Najera-Medellin y M. Quiñonez-Martínez (2019) Análisis proximal y de composición mineral de cuatro especies de hongos ectomicorrízicos silvestres de la Sierra Tarahumara de Chihuahua. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 22: 1-10, https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.184

Guzmán G., G. Mata, D. Salmones, C. Soto-Velazco, L. Guzmán-Dávalos (2008) El cultivo de los hongos comestibles con especial atención a las especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agroindustriales. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. 245 p.

Huerta G., D. Martínez-Carrera, J. E. Sánchez, H. Leal-Lara and R. Vilgalys (2010) Genetic relationship between Mexican species of *Pleurotus* analyzing the ITS-region from rDNA. *Micología Aplicada International* 22: 15-25.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020) Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2020 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México (Junio 2024)

Jiménez-Muñoz E., F. Prieto-García, J. Prieto-Méndez, O. A. Acevedo-Sandoval y R. Rodríguez-Laguna (2016) Caracterización fisicoquímica de cuatro especies de agaves con potencialidad en la obtención de pulpa de celulosa para elaboración de papel. DYNA: revista de la facultad de minas 197: 233-243, https://doi.org/10.15446/dyna.v83n197.52243

Kalac P. (2013) A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93: 209-218, https://doi.org/10.1002/jsfa.5960

López A., G. Davila, E. León, E. Villegaz and J. Gallardo (2010) Tequila vinasses: generation and full scale treatment processes. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 9: 109-116, http://dx.doi.org/10.1007/s11157-010-9204-9

López R. M. A (2016) Manual de producción de micelio de hongos comestibles. Edición. Instituto de Investigaciones Forestales. Universidad Veracruzana. P 87.

Mane V. P., S. S. Patil, A. A. Syed and M. V. Baig (2007) Bioconversion of low quality lignocellulosic agricultural waste into edible protein by *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer. *Journal of Zhejiang University Science* 8: 745-51, https:doi.org/10.1631/jzus.2007.B0745

Morales-Flores S., J. Cepeda-Negrete, G. Mata-Montes de Oca, A. Ángel-Hernández, J. Hernández-Ruiz and J. E. Ruiz-Nieto (2022) *In vitro* molecular identification and characterization of *Pleurotus* spp. strains in Guanajuato, Mexico. *Agrociencia* 56: 11, https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i2.2780

Nieto-Juárez, J. I., A. D. Cuzcano-Ruiza, W. A. Reyes-López (2019) Estudio preliminar de la composición nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado en pulpa de café. *Revista de la Sociedad Química Perú* 85:422-431.

Pavel K. (2009) Chemical composition and nutritional value of European Species of wild growing mushrooms: A review. *Food Chemistry* 113: 9-16, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.077

Ríos M. P., J. L. Hoyos y S. A. Mosquera (2010) Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 8:86-94.

Rodríguez R., F. Jiménez, J. I. del Real, E. Salcedo, F. Zamora y G. Íñiguez (2013) Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 11. Compostaje de bagazo de agave crudo y biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de vinazas tequileras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 303-313.

Romero H. O., M. A. Damián, A. Macías, A. M. Tapia, J. F. C. Parraguirre y J. Juárez (2010) Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando hoja de plátano deshidratada (*Musa paradisiaca* L.), en relación con otros sustratos agrícolas. *Agronomía Costarricense* 1: 53-63.

Romero-Arenas O., M. A. Valencia-De Ita, J. A. Rivera-Tapia, I. Tello-Salgado, A. Oscar, V. Espino-Barros y M. A. Damián-Huato (2018) Capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando alfalfa deshidratada como suplemento en diferentes sustratos agrícolas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 2: 145-160.

Ruilova C. M. B. y M. A. Hernández (2014) Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre los derivados de la caña de azúcar. *Revista del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar* 1: 54-59.

Sales-Campos C., A. Ferreira da Eira, M. M. Teixeira de Almeida and M. C. Nogueira de Andrade (2009) Mineral composition of raw material, substrate and fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* in culture. *Interciencia* 34: 432-436.

Salmones D. (2017) *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Revista Mexicana de Micología* 46: 73-85.

Salmones D. y G. Mata (2017) Recursos genéticos del género *Pleurotus*:

In: La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus* spp. J. E. Sánchez y D. Royse (eds.). El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, México. 29-52 p.

Valencia I. M. A., M. D. Castañeda, M. Huerta y O. Romero-Arenas (2018) Carrizo silvestre (*Arundo donax*) como sustrato alternativo en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Scientia Fungorum* 48: 15-22, https://doi.org/10.33885/sf.2018.48.1231

Vega A., J. A. de León, S. Miranda and S. M. Reyes (2022) Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of *Pleurotus djamor*. *Cleaner Waste Systems* 2: 1-7, https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100018

Vega A. y H. Franco (2012) Análisis de cenizas y minerales de hongos comestibles *Pleurotus* spp., cultivados sobre paja de arroz (*Oryza sativa*), tuza y rastrojo de maíz (*Zea mays*). *Revista de I+D Tecnológico* 2: 1-9.

Velázquez-De Lucio B. S., E. M. Hernández-Domínguez, A. Téllez-Jurado, M. Ayala-Martínez, S. Soto-Simental and J. Álvarez-Cervantes (2020) Protein fraction, mineral profile, and chemical compositions of various fiber-based substrates degraded by *Pleurotus ostreatus*. *BioResources* 15: 8849-8861, https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-629407/v1

Vetter J. (2003) Data on sodium content of common edible mushrooms. *Food Chemistry* 81: 589-593, https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00501-0