

## Capacidad productiva de cepas nativas de *Pleurotus djamor* en Veracruz, México

### Productive capacity of native strains of *Pleurotus djamor* in Veracruz, Mexico

Diego Armando Aguilar-Ventura<sup>1</sup> , Ricardo Serna-Lagunes<sup>1</sup> , Noé Aguilar-Rivera<sup>1</sup> , Gerardo Mata<sup>2</sup> , Pedro Zetina-Córdoba<sup>3</sup> , Régulo Carlos Llarena-Hernández<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Peñuela-Amatlán S/N Peñuela, municipio de Amatlán de los Reyes, CP. 94945. Veracruz, México.

<sup>2</sup>Instituto de Ecología, A.C. Carretera antigua a Coatepec 351, CP. 91073. Col. El Haya, Xalapa, Veracruz, México.

<sup>3</sup>Universidad Politécnica de Huatusco, Programa de Ingeniería en Alimentos, Predio Axol, S/N, 94106, Col. Reserva Territorial, Huatusco, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia: rllarena@uv.mx

#### Artículo científico

Recibido: 28 de marzo 2024

Aceptado: 09 de enero 2025

**RESUMEN.** Las cepas y sustratos importados en el cultivo convencional de *Pleurotus* spp. en México, pueden ser sustituidos por insumos locales, los cuales son más fáciles de adquirir, ofrecen sustentabilidad ante el cambio climático y alto potencial productivo. Mediante un diseño completamente aleatorizado, se evaluó la velocidad de crecimiento micelial (VCM) y la productividad de cepas silvestres de *Pleurotus djamor* en sustratos de la región centro del estado de Veracruz. Se cultivaron las cepas MXLD23, MXLD24 y 598 sobre: paja de cebada (PC), hoja de caña de azúcar (HCA), *Arachis pintoi* (AP), rastrojo de maíz (RM), hojas de plátano (HP) y Papa Dextrosa Agar (PDA). La VCM se estimó mediante regresión lineal. Se determinó la eficiencia biológica (EB), tasa de producción (TP), rendimiento (R), peso fresco total de esporomas (PFTE) y ciclo de producción (CP). Se realizaron pruebas de: Shapiro-Wilks, análisis de varianza, contraste de medias de Tukey, Kruskal-Wallis y análisis de componentes principales. En promedio, la VCM de las cepas MXLD23, MXLD24 y 598 desarrolladas en RM y HP fluctuó entre 1.1 a 1.2 cm día<sup>-1</sup>. Valores intermedios de 0.6 a 0.8 cm día<sup>-1</sup> se observaron en AP y valores bajos en PC con 0.3 a 0.4 cm día<sup>-1</sup>. La cepa 598 cultivada en RM, mostró una EB de 74 %, TP de 2.17 % día<sup>-1</sup>, R de 7.59 % y PFTE de 240 g. La cepa 598 cultivada en RM posee alto potencial productivo y podía introducirse en el sistema de producción de *Pleurotus* en Veracruz.

**Palabras clave:** *Arachis pintoi*, crecimiento micelial, eficiencia biológica, hongo seta, sustrato.

**ABSTRACT.** Imported strains and substrates in the conventional cultivation *Pleurotus* spp. in Mexico can be substituted by local inputs, which are easier to acquire, offer sustainability in the face of climate change and high productive potential. The mycelial growth rate (MGR) and productivity of wild strains of *Pleurotus djamor* on substrates from the central region of the state of Veracruz were evaluated using a completely randomized design. MXLD23, MXLD24 and 598 strains were grown on: Barley Straw (BS), Sugar Cane Leaf (SCL), *Arachis pintoi* (AP), Corn Stover (CS), Banana Leaves (BL) and Potato Dextrose Agar (PDA). The MGR was estimated by linear regression. The Biological Efficiency (BE), Production Rate (PR), Yield (Y), Total Fresh Weight of Sporomes (TFWS) and Production Cycle (PC) were determined. Tests were performed: Shapiro-Wilks, analysis of variance, Tukey's mean contrast, Kruskal-Wallis, and principal components analysis. On average, the MGR of strains MXLD23, MXLD24 and 598 developed in CS and BL ranged from 1.1 to 1.2 cm day<sup>-1</sup>. Intermediate values of 0.6 to 0.8 cm day<sup>-1</sup> were observed on AP and low values on BS with 0.3 to 0.4 cm day<sup>-1</sup>. Strain 598 grown on CS showed a BE of 74%, PR of 2.17 % day<sup>-1</sup>, Y of 7.59 % and TFWS of 240 g. Strain 598 cultivated in CS has high productive potential and could be introduced in the *Pleurotus* production system in Veracruz.

**Keywords:** *Arachis pintoi*, biological efficiency, mycelial growth, oyster mushroom, substrate.

**Como citar:** Aguilar-Ventura DA, Serna-Lagunes R, Aguilar-Rivera N, Mata G, Zetina-Córdoba P, Llarena-Hernández RC (2025) Capacidad productiva de cepas nativas de *Pleurotus djamor* en Veracruz, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(1): e4115. DOI: 10.19136/era.a12n1.4115.

## INTRODUCCIÓN

La producción de hongos comestibles del género *Pleurotus* conocidos como setas, ocupa el segundo lugar en la oferta mundial, *Pleurotus cornucopie*, *P. eryngii*, *P. nebrodensis* y *P. ostreatus* son las especies más cultivadas (Pérez-Moreno *et al.* 2021). En México, la producción y comercialización de hongos es principalmente por el género de *Agaricus*, con el 95.3% de la oferta nacional seguido de *Pleurotus* spp. con 4.6% (Mayett y Martínez-Carrera 2019), esta actividad productiva la desarrollan grandes y pequeños productores, quienes en su mayoría se concentran en estados del centro del país, aunque se han reportado módulos de producción de características rústicas en la mayoría de los estados (Royse y Sánchez 2017). Los hongos *Pleurotus* son un alimento de alto valor por sus propiedades nutricionales y medicinales que promueven la salud humana (Mayett y Martínez-Carrera 2019), son ricos en proteínas cruda (21-27%), fibras (13-19%), potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, zinc, así como polifenoles con actividad antioxidante (Vega *et al.* 2022).

De las especies de *Pleurotus* cultivadas mundialmente destaca *P. ostreatus* (Royse y Sánchez 2017); sin embargo, estudios revelan que esta especie requiere de ciertas condiciones controladas de temperatura. Por ejemplo, en el desarrollo del hongo en la etapa de incubación se requieren temperaturas entre 24 y 25 °C (Jaramillo-Mejía y Albertó 2019, Roggero-Luque *et al.* 2021, Roblero-Mejía *et al.* 2021); mientras que, en la fructificación diversos autores han reportado distintos rangos de temperaturas, de 17 a 20 °C (Abid *et al.* 2020, Roggero-Luque *et al.* 2021), de 18 a 20 °C (Jaramillo-Mejía y Albertó 2013), de 20 a 25 °C (Ejigu *et al.* 2022) y de 22 a 26 °C (Roblero-Mejía *et al.* 2021). Teniendo en cuenta que, en México existen pequeños productores con módulos de producción de características rústicas y escasamente tecnificados, es difícil mantener el control de las condiciones de temperatura antes mencionadas para el cultivo de *P. ostreatus* (Huacash-Pale y Ocampo-Guzmán 2021). En la región centro de Veracruz se presentan condiciones de clima cálido húmedo (Am) y cálido subhúmedo (Aw) con temperaturas promedio de 27 a 32 °C en los meses cálidos (García 2004). Por lo tanto, esto limita la posibilidad de cultivar especies comerciales de *P. ostreatus*. Cepas de *P. djamor* serían una opción de cultivo cuando se excede de 27 °C, se ha demostrado que esta especie de *Pleurotus* se desarrolla adecuadamente en condiciones agroclimáticas de tipo tropical; además, de que por sus características genéticas tiene ciclos cortos de cultivo (Salmones 2017).

En México, *P. djamor* es un recurso genético abundante con respecto a otras especies de *Pleurotus* y al ser un recurso local presenta mejores adaptaciones que las cepas comerciales procedentes de otras latitudes (Salmones *et al.* 2022). Así mismo, son abundantes los rastrojos de cultivos agrícolas, los cuales poseen alto potencial para su uso como sustrato en el cultivo de *Pleurotus*, como residuos del cultivo de la caña de azúcar, rastrojo de maíz, pulpa de café, hojas de plátano, rastrojo de frijol (INEGI 2023). En Veracruz se han realizado producciones exitosas de *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* en rastrojo de maíz y paja de avena (Gaitán-Hernández y Silva-Huerta 2016). La región de Las Montañas, Veracruz, está siendo atendida mediante transferencias de tecnología y capacitaciones a productores en el cultivo de cepas silvestres de *Pleurotus* y uso de sustratos locales (Aguilar-Ventura *et al.* 2024); por tanto, identificar recursos genéticos de *Pleurotus* y sustratos productivos beneficiará la toma de decisiones en este sistema agroalimentario.

El sistema agroalimentario de *Pleurotus* contribuye a la seguridad alimentaria de los pueblos, ya que se desarrolla como una actividad económica que genera ingresos y posee alto potencial para la diversificación de las actividades agrícolas, por la reutilización de residuos que se generan después de la cosecha (Huacash-Pale y Ocampo-Guzmán 2021). Los hongos del género *Pleurotus* tienen la capacidad de desarrollarse en diversos sustratos lignocelulósicos como subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales, de estos, en México se reciclan anualmente 500 000 toneladas (Piña-Guzmán *et al.* 2016). Todo ello contribuye en el reciclaje de este tipo de materiales orgánicos, de los cuales, es posible obtener un alimento funcional de forma sostenible (Salmones *et al.* 2022). Ante el uso eficiente de estos recursos, en el cultivo de setas, se busca una alta productividad en términos del peso fresco de esporomas, eficiencia biológica, tasa de producción, rendimiento y ciclos cortos de producción, con el sustrato empleado, el cual se puede utilizar solo o combinado (Roblero-Mejía *et al.* 2021). Para iniciar un sistema productivo de *Pleurotus*, donde se empleen como insumos cepas silvestres y sustratos locales, es necesario medir la velocidad de crecimiento micelial ya que esto permitirá predecir la capacidad del hongo en formar micelio vegetativo y la posterior formación de cuerpos fructíferos que tendría en un sustrato determinado (León-Avendaño *et al.* 2013). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la velocidad de crecimiento micelial y la productividad de cepas silvestres de *Pleurotus djamor* en sustratos locales de la región centro del estado de Veracruz, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de Cultivo de Hongos Comestibles de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, región Orizaba-Córdoba, Veracruz, México.

### Material biológico

Se emplearon tres cepas silvestres de *Pleurotus djamor* (MXLD23, MXLD24 y 598), las cuales, fueron recolectadas en 2016 en los municipios de Amatlán de los Reyes y Fortín de las Flores, Veracruz, México, estos municipios se encuentran entre los 720 y 1 000 msnm, temperatura promedio de 18 a 18.8 °C, precipitación de 1 807 a 1 832 mm, con vegetación de bosque templado caducifolio y selva mediana subperennifolia. Actualmente las cepas se encuentran resguardadas en el banco de germoplasma del Laboratorio de Biotecnología de Cultivo de Hongos Comestibles y Medicinales de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, región Orizaba-Córdoba, Veracruz, México (Figura 1).

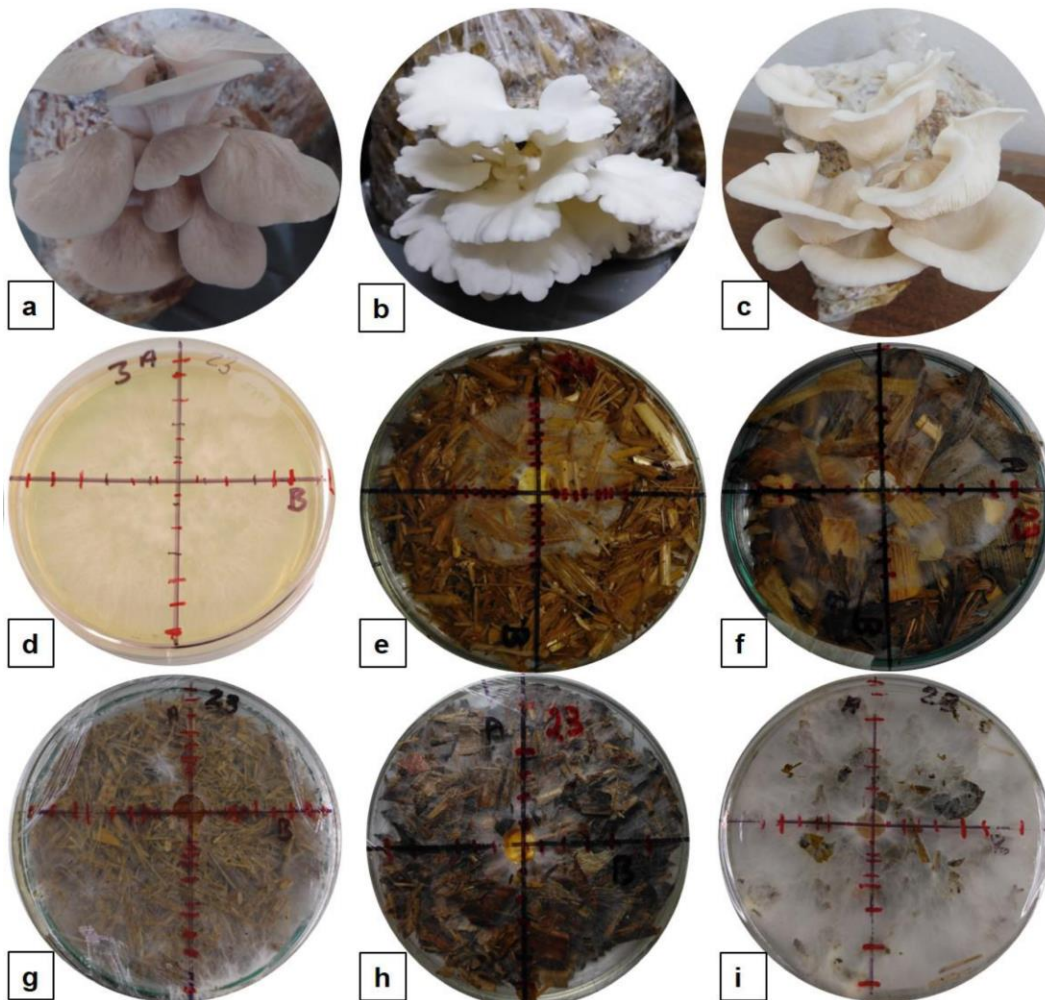
### Evaluación de la velocidad de crecimiento de las colonias fúngicas

El crecimiento micelial de cada cepa, se determinó en seis tratamientos, con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales (UE) fueron placas de Petri de 9 cm de diámetro que contenían 10 g (peso húmedo) de los siguientes sustratos que se consideraron como los tratamientos: paja de cebada (PC), hoja de caña de azúcar (HCA), hojas y tallos de *Arachis pintoi* (Fabaceae) (AP), rastrojo de maíz (RM), hojas de plátano (HP) y 10 mL de Papa Dextrosa Agar (PDA) (tratamiento control) (Figura 1 e, g, i, f, h y d). La humedad en los sustratos se ajustó al 65% y se esterilizaron en autoclave

durante 15 min a 121 °C y 1 055 kg cm<sup>-2</sup> de presión. Cuando las UE se enfriaron y permanecieron a temperatura ambiente (25 ± 2 °C), estas fueron inoculadas con un fragmento de 1 cm de diámetro de PDA que contenía micelio de cada cepa desarrollada durante 20 días (Gaitán-Hernández 2021). Posteriormente, las UE se incubaron en oscuridad a 25 ± 2 °C (Jaramillo-Mejía y Albertó 2013), en un periodo de 15 días. Durante la incubación; cada 24 h se midió el diámetro de crecimiento de la colonia fúngica empleando un vernier Mitutoyo® modelo estándar. Se registraron dos mediciones sobre dos rectas perpendiculares (A y B) que previamente se habían trazado en las placas de Petri; para el trazo de las rectas se tomó como punto de intersección el centro de la caja de Petri donde fue colocado el inóculo. La velocidad de crecimiento se expresó en cm día<sup>-1</sup>, bajo la expresión matemática:

$$VC = \frac{\varnothing (cm)}{t (días)}$$

Donde: VC = es la velocidad de crecimiento, Ø = diámetro de crecimiento de la colonia y t = tiempo (Campi *et al.* 2016).



**Figura 1.** Material biológico y sustratos empleados en la medición de la velocidad de crecimiento de las cepas de *Pleurotus djamor*. a: cepa MXLD23. b: cepa MXLD24. c: cepa 598. d: PDA. e: paja de cebada. f: rastrojo de maíz. g: hoja de caña de azúcar. h: hoja de plátano. i: *Arachis pintoi*.



## Evaluación de la productividad

La productividad de esporomas de cada cepa (MXLD23, MXLD24 y 598) se evaluó en cinco formulaciones (tratamientos) de sustrato con cinco repeticiones: PC (100%), HCA (100%), RM (100%), HCA (90%) + AP (10%) y PC (80 %) + HP (20%). El sustrato AP no se usó al 100%, porque en pruebas anteriores se observó que tiende a compactarse y el sustrato HP genera mayor espacio entre partículas. Por lo que, las formulaciones evaluadas permitieron un ajuste adecuado del umbral de humedad requerido en el experimento que fue de 65%.

Los sustratos de cada formulación, se trituraron de forma manual a un tamaño de 2 a 5 cm; con el cual, se formaron paquetes de 1 kg empleando bolsas de polietileno. Los paquetes se colocaron dentro de un contenedor cilíndrico de metal que contenía 20 L de agua y después de 24 h se aplicó calor durante 2 h empleando gas LP como combustible. En el interior del contenedor se generó vapor de agua a temperatura de  $95 \pm 2$  °C. Posteriormente, los paquetes se enfriaron a temperatura ambiente y se inocularon con 50 g de semillas de sorgo colonizadas por cada cepa antes mencionada. Los paquetes se incubaron a temperatura ambiente y en ausencia de luz (dos semanas). Cuando se observó una colonización micelial completa y formación de primordios, los paquetes fueron puestos en una cámara de fructificación (Romero-Arenas *et al.* 2018), la cual se mantuvo a temperatura ambiente y a una humedad controlada del 95%.

De cada paquete, se realizaron tres cosechas de esporomas durante un ciclo de producción (Ejigu *et al.* 2022), se empleó una balanza de precisión Highland®-HCB1002 para cuantificar el peso fresco total de esporomas (PFTE), PFTE = suma del peso fresco de los esporomas de cada cosecha en gramos, el ciclo de producción (CP) se representó como el total de días transcurridos desde la inoculación del hongo hasta el final de la tercera cosecha (Romero-Arenas *et al.* 2018). La eficiencia biológica (EB), la tasa de producción (TP) y el rendimiento (R) se calcularon mediante las siguientes fórmulas (Roblero-Mejía *et al.* 2021):

$$EB = \frac{\text{peso fresco de los esporomas cosechados (g)}}{\text{peso seco del sustrato (g)}} \times 100$$

$$TP = \frac{EB}{CP}$$

$$R = \frac{\text{peso seco de los esporomas (g)}}{\text{peso seco del sustrato (g)}} \times 100$$

## Diseño de los experimentos y análisis de datos

Los experimentos fueron establecidos mediante un diseño completamente aleatorizado, modelado por:  $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$ . Para cada  $i = 1, \dots, n$  y  $j = 1, \dots, n$ , donde  $Y_{ij}$  (variable dependiente) en el primer experimento fue el valor de la velocidad de crecimiento micelial ( $\text{cm día}^{-1}$ ) y en el segundo experimento fueron las variables (PFTE, CP, EB, TP y R) del tratamiento  $i$  en su  $j$ -ésima repetición.  $\mu$ : es la media general de la variable de respuesta.  $T_i$ : es el efecto del tratamiento  $i$ .  $E_{ij}$ : es el error experimental asociado al tratamiento  $i$  en su  $j$ -ésima repetición.

Los valores obtenidos de la velocidad de crecimiento micelial ( $\text{cm día}^{-1}$ ), se analizaron mediante un análisis de varianza no paramétrico y con regresión lineal simple (Coello-Loor *et al.* 2017), y con el

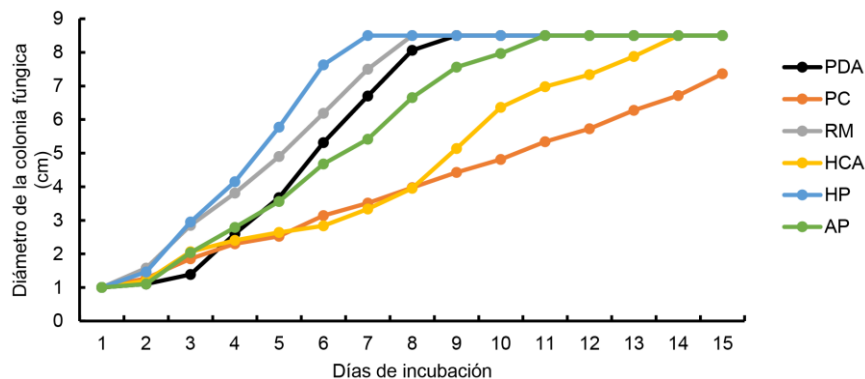
método de mínimos cuadrados se obtuvieron los coeficientes del modelo: la pendiente (m) y el intercepto (b) con su respectivo límite inferior (LI) y límite superior (LS), el coeficiente de determinación  $R^2$  y el  $p$ -valor, con una confianza del 95 % (Balzarini *et al.* 2008).

Por la naturaleza de las variables estudiadas (continuas) que tienden a ser de distribución normal, se evaluaron con una prueba de Shapiro-Wilks a excepción de la variable CP (variable discreta) (Zar 2010). Las variables que cumplieron con el supuesto de normalidad (Lambda de Wilks  $\geq 0.9$  y  $p$ -unilateral (D)  $> 0.05$ ; se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con  $\alpha$  de 0.05 de confianza y contraste de medias de Tukey. Las variables que no cumplieron con el supuesto de normalidad requerido (Lambda de Wilks  $\geq 0.9$  y  $p$ -unilateral (D)  $> 0.05$ ) se sometieron a un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis y prueba de medias de rangos pareadas ( $p \leq 0.05$ ). El efecto de las formulaciones de sustratos sobre la EB, R y CP se analizó mediante un análisis de componentes principales (Balzarini *et al.* 2008). En las salidas estadísticas se muestran los valores: grados de libertad (Gl), para igualdad de varianzas (F), estadístico de prueba de Kruskal-Wallis (H) y  $p$ -valor. Los análisis se realizaron con el software estadístico InfoStat® Versión 2020 (Di-Rienzo *et al.* 2020).

## RESULTADOS

### Velocidad de crecimiento de la cepa MXLD23

En la Figura 2, se observa el diámetro de crecimiento micelial de la cepa MXLD23 durante 15 días de incubación. Después de la inoculación de la cepa en los medios evaluados, la etapa de latencia se observó hasta el segundo día, en el cual, la cepa mostró diferente adaptación respecto al diámetro de crecimiento en cada tratamiento, se encontraron diferencias  $Gl = 5$ ,  $H = 42.57$  y  $p$ -valor =  $< 0.0001$ ) (Tabla 1). La etapa exponencial fue entre el tercer y sexto día (Figura 2); en esta etapa, el crecimiento de la cepa en los tratamientos RM y HP fue mayor y estadísticamente diferente al resto de los tratamientos: día 3 ( $Gl = 5$ ,  $H = 41.31$  y  $p$ -valor =  $< 0.0001$ ), día 4 ( $Gl = 5$ ,  $H = 40.79$  y  $p$ -valor =  $< 0.0001$ ), día 5 ( $Gl = 5$ ,  $H = 42.76$  y  $p$ -valor =  $< 0.0001$ ) y día 6 ( $Gl = 5$ ,  $H = 44.21$  y  $p$ -valor =  $< 0.0001$ ) (Tabla 1). Las UE con HP, fueron colonizadas por la cepa en siete días, con RM en ocho días, con PDA en nueve días, con AP en 11 días y con HCA en 14 días. Las UE con PC no fueron colonizadas completamente alcanzando un crecimiento máximo de 7.3 cm de diámetro (Figura 2).



**Figura 2.** Velocidad de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la cepa MXLD23. PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hoja de caña de azúcar, HP: hoja de plátano y AP: *Arachis pintoi*. Media de ocho mediciones.

**Tabla 1.** Diámetro de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la cepa MXLD23 *Pleurotus djamor* durante ocho días. Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Tratamiento	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
PDA	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.1 ± 0 <sup>d</sup>	1.3 ± 0.06 <sup>c</sup>	2.6 ± 0.15 <sup>cd</sup>	3.6 ± 0.3 <sup>b</sup>	5.3 ± 0.34 <sup>bc</sup>	6.7 ± 0.5 <sup>bc</sup>	8.1 ± 0.5 <sup>ab</sup>
PC	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.3 ± 0.07 <sup>bc</sup>	1.8 ± 0.13 <sup>bc</sup>	2.3 ± 0.2 <sup>d</sup>	2.5 ± 0.32 <sup>c</sup>	3.1 ± 0.26 <sup>de</sup>	3.5 ± 0.27 <sup>de</sup>	3.9 ± 0.32 <sup>c</sup>
RM	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.8 ± 0.21 <sup>a</sup>	3.8 ± 0.29 <sup>ab</sup>	4.9 ± 0.5 <sup>ab</sup>	6.1 ± 0.54 <sup>ab</sup>	7.5 ± 0.36 <sup>ab</sup>	8.5 ± 0 <sup>a</sup>
HCA	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.2 ± 0 <sup>cd</sup>	2.1 ± 0.12 <sup>b</sup>	2.4 ± 0.14 <sup>d</sup>	2.6 ± 0.13 <sup>c</sup>	2.8 ± 0.15 <sup>e</sup>	3.3 ± 0.19 <sup>e</sup>	3.9 ± 0.42 <sup>c</sup>
HP	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.4 ± 0.07 <sup>ab</sup>	2.9 ± 0.21 <sup>a</sup>	4.1 ± 0.25 <sup>a</sup>	5.7 ± 0.15 <sup>a</sup>	7.6 ± 0.24 <sup>a</sup>	8.5 ± 0 <sup>a</sup>	8.5 ± 0 <sup>a</sup>
AP	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.1 ± 0 <sup>d</sup>	2.04 ± 0.14 <sup>b</sup>	2.8 ± 0.1 <sup>bc</sup>	3.5 ± 0.24 <sup>b</sup>	4.6 ± 0.47 <sup>cd</sup>	5.4 ± 0.7 <sup>cd</sup>	6.6 ± 1.14 <sup>bc</sup>

Los valores representan la media de ocho repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente letra dentro de la columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hojas de caña de azúcar, HP: hojas de plátano y AP: *Arachis pintoi*.

El mayor diámetro promedio de crecimiento de la cepa MXLD23, fue en el sustrato HP con 1.23 cm día<sup>-1</sup>, seguido del RM con 1.11 cm día<sup>-1</sup>. En el medio PDA, el crecimiento fue de 1.07 cm día<sup>-1</sup>, en AP de 0.83 cm día<sup>-1</sup>, en PC de 0.43 cm día<sup>-1</sup> y en HCA de 0.4 cm día<sup>-1</sup>. El modelo de regresión, fue significativo ( $p \leq 0.05$ ) y mostró un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> en intervalo de 0.95 a 0.99 (Tabla 2). De acuerdo a LS de m, en diámetro la cepa podría incrementar en PDA, PC, RM, HCA, HP y AP con crecimiento de 0.26, 0.003, 0.008, 0.007, 0.21 y 0.11 cm día<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 2).

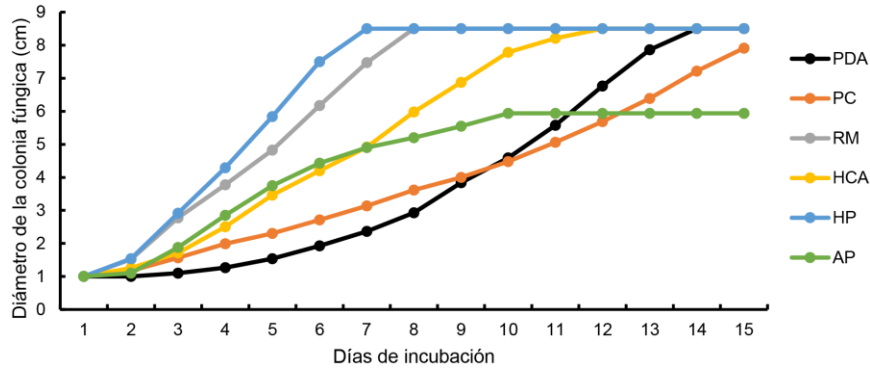
**Tabla 2.** Análisis de regresión lineal simple de la velocidad de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la cepa MXLD23 *Pleurotus djamor*. m: pendiente, b: intercepto, LI: límite inferior, LS: límite superior y R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

Tratamiento	M	b	LI de m	LS de m	LI de b	LS de b	R <sup>2</sup>	p-valor
PDA	1.07	-1.11	0.82	1.33	-2.39	0.17	0.95	< 0.0001
PC	0.43	0.51	0.4	0.46	0.36	0.67	0.99	< 0.0001
RM	1.11	-0.45	1.03	1.19	-0.85	-0.05	0.99	< 0.0001
HCA	0.4	0.61	0.34	0.47	0.27	0.96	0.97	< 0.0001
HP	1.23	-0.54	1.02	1.44	-1.6	0.52	0.97	< 0.0001
AP	0.83	-0.34	0.72	0.94	-0.91	0.24	0.98	< 0.0001

PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hojas de caña de azúcar, HP: hojas de plátano y AP: *Arachis pintoi*.

### Velocidad de crecimiento de la cepa MXLD24

El crecimiento micelial de la cepa MXLD24 se muestra en la Figura 3. La etapa de latencia de la cepa se observó hasta las 48 h después de la inoculación de la cepa en los sustratos, a excepción del tratamiento control PDA que fue hasta el día 4, se encontraron diferencias (GL = 5, H = 41 y  $p$ -valor = < 0.0001) (Tabla 3). Esta cepa colonizó completamente las placas de Petri que contenían: HP en un tiempo de 7 días, RM en 8 días, HCA en 12 días y el tratamiento control PDA en 14 días. Mientras que, las placas con PC y AP no fueron colonizadas por completo después de los 15 días que duró el experimento (Figura 3). En el día 7 de la evaluación, se observó una sobresaliente colonización de la cepa en los tratamientos HP y RM a diferencia del resto de tratamientos, se encontraron diferencias (GL = 5, H = 44.18 y  $p$ -valor = < 0.0001). (Tabla 3).



**Figura 3.** Velocidad de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la colonia fúngica de la cepa MXLD24. Media de ocho mediciones. PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hoja de caña de azúcar, HP: hoja de plátano y AP: *Arachis pintoi*.

**Tabla 3.** Diámetro de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la cepa MXLD24 *Pleurotus djamor* durante ocho días. Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Tratamiento	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
PDA	1 ± 0 <sup>a</sup>	1 ± 0 <sup>c</sup>	1.1 ± 0 <sup>c</sup>	1.3 ± 0.1 <sup>c</sup>	1.54 ± 0.1 <sup>d</sup>	1.9 ± 0.1 <sup>d</sup>	2.4 ± 0.2 <sup>d</sup>	2.9 ± 0.3 <sup>c</sup>
PC	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.1 ± 0.1 <sup>b</sup>	1.6 ± 0.1 <sup>b</sup>	1.9 ± 0.3 <sup>bc</sup>	2.3 ± 0.4 <sup>cd</sup>	2.7 ± 0.5 <sup>cd</sup>	3.1 ± 0.4 <sup>cd</sup>	3.6 ± 0.5 <sup>bc</sup>
RM	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	2.8 ± 0.4 <sup>a</sup>	3.8 ± 0.4 <sup>a</sup>	4.8 ± 0.4 <sup>ab</sup>	6.2 ± 0.6 <sup>ab</sup>	7.5 ± 0.4 <sup>ab</sup>	8.5 ± 0.0 <sup>a</sup>
HCA	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.2 ± 0.1 <sup>ab</sup>	1.7 ± 0.3 <sup>b</sup>	2.5 ± 0.5 <sup>b</sup>	3.4 ± 0.5 <sup>bc</sup>	4.2 ± 0.7 <sup>bc</sup>	4.9 ± 0.8 <sup>bc</sup>	5.9 ± 1.2 <sup>b</sup>
HP	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.5 ± 0.2 <sup>a</sup>	2.9 ± 0.4 <sup>a</sup>	4.3 ± 0.5 <sup>a</sup>	5.8 ± 0.5 <sup>a</sup>	7.5 ± 0.4 <sup>a</sup>	8.5 ± 0 <sup>a</sup>	8.5 ± 0 <sup>a</sup>
AP	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.1 ± 0 <sup>bc</sup>	1.6 ± 0.3 <sup>b</sup>	2.5 ± 0.4 <sup>b</sup>	3.5 ± 0.4 <sup>bc</sup>	4.2 ± 0.5 <sup>bc</sup>	4.8 ± 0.4 <sup>bc</sup>	5.2 ± 0.3 <sup>b</sup>

Los valores representan la media de ocho repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente letra dentro de la columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hojas de caña de azúcar, HP: hojas de plátano y AP: *Arachis pintoi*.

El mayor promedio de crecimiento de la cepa MXLD24 se observó en el sustrato HP con 1.22 cm día<sup>-1</sup>; mientras que, el menor valor fue en el tratamiento control PDA con 0.27 cm día<sup>-1</sup> (Tabla 4). El valor de R<sup>2</sup> del modelo evaluado resultó en intervalo de 0.9 a 0.99. De acuerdo a LS de m, la velocidad de crecimiento de la colonia fúngica de la cepa MXLD24, podría incrementar en PDA, PC, RM, HCA, HP y AP con crecimiento promedio de 0.1, 0.03, 0.09, 0.11, 0.2 y 0.11 cm día<sup>-1</sup> respectivamente. Las tasas de crecimiento en HP y RM superaron tres veces la tasa de crecimiento la cepa en PC.

### Velocidad de crecimiento de la cepa 598

Las curvas de crecimiento micelial de la cepa 598 en los diferentes sustratos evaluados, se muestran en la Figura 4. La etapa de latencia de la cepa, se observó durante los primeros dos días posteriores de la inoculación del hongo en los tratamientos PDA, RM, HCA, HP y AP, mientras que en PC fue hasta el día 3, se observaron diferencias (GL = 5, H = 39.68 y  $p$ -valor = < 0.0001) Tabla (5). Las placas de Petri que contenían RM, HP y medio PDA fueron colonizadas en un tiempo de 8 días (Figura 4), estos fueron significativamente diferentes al resto de tratamientos (GL = 5, H = 39.18 y  $p$ -valor =

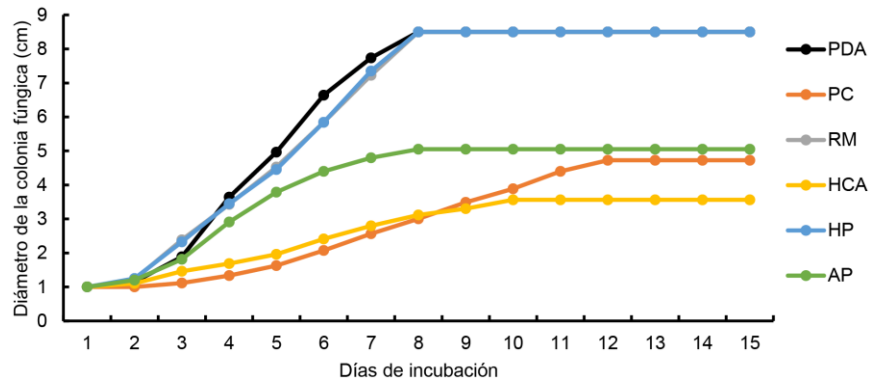


<0.0001) Tabla (5). El desarrollo micelial a los 15 días en AP mostró un máximo crecimiento de 5.05 cm de diámetro, en PC el crecimiento máximo fue de 4.7 cm y en HCA 3.5 cm (Figura 4).

**Tabla 4.** Análisis de regresión lineal simple de la velocidad de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la cepa MXLD24 *Pleurotus djamor*. m: pendiente, b: intercepto, LI: límite inferior, LS: límite superior y R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

Tratamiento	m	b	LI de m	LS de m	LI de b	LS de b	R <sup>2</sup>	p-valor
PDA	0.27	0.4	0.18	0.37	-0.06	0.87	0.9	0.0003
PC	0.38	0.48	0.35	0.41	0.31	0.64	0.99	< 0.0001
RM	1.11	-0.51	1.03	1.2	-0.96	-0.06	0.99	< 0.0001
HCA	0.73	-0.17	0.63	0.84	-0.69	0.35	0.98	< 0.0001
HP	1.22	-0.49	1.03	1.42	-1.48	0.5	0.97	< 0.0001
AP	0.68	0.09	0.57	0.79	-0.46	0.63	0.98	< 0.0001

PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hojas de caña de azúcar, HP: hojas de plátano y AP: *Arachis pintoi*.



**Figura 4.** Velocidad de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la colonia fúngica de la cepa 598. Media de ocho mediciones. PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hoja de caña de azúcar, HP: hoja de plátano y AP: *Arachis pintoi*.

**Tabla 5.** Diámetro de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la cepa 598 *Pleurotus djamor* durante ocho días. Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Tratamiento	Día1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
PDA	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.1 ± 0.1 <sup>ab</sup>	1.9 ± 0.3 <sup>ab</sup>	3.6 ± 0.2 <sup>a</sup>	4.9 ± 0.2 <sup>a</sup>	6.6 ± 0.2 <sup>a</sup>	7.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	8.5 ± 0 <sup>a</sup>
PC	1 ± 0 <sup>a</sup>	1 ± 0.0 <sup>c</sup>	1.1 ± 0.1 <sup>c</sup>	1.3 ± 0.1 <sup>d</sup>	1.6 ± 0.2 <sup>d</sup>	2.1 ± 0.3 <sup>d</sup>	2.6 ± 0.4 <sup>c</sup>	3 ± 0.4 <sup>b</sup>
RM	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	2.4 ± 0.4 <sup>a</sup>	3.4 ± 0.7 <sup>ab</sup>	4.5 ± 0.6 <sup>ab</sup>	5.8 ± 0.6 <sup>ab</sup>	7.2 ± 0.3 <sup>ab</sup>	8.5 ± 0 <sup>a</sup>
HCA	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.1 ± 0 <sup>bc</sup>	1.5 ± 0.2 <sup>bc</sup>	1.7 ± 0.2 <sup>cd</sup>	1.9 ± 0.3 <sup>cd</sup>	2.4 ± 0.4 <sup>cd</sup>	2.8 ± 0.5 <sup>c</sup>	3.1 ± 0.6 <sup>b</sup>
HP	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	2.3 ± 0.2 <sup>a</sup>	3.4 ± 0.3 <sup>ab</sup>	4.4 ± 0.5 <sup>ab</sup>	5.8 ± 0.9 <sup>ab</sup>	7.3 ± 0.4 <sup>a</sup>	8.5 ± 0.0 <sup>a</sup>
AP	1 ± 0 <sup>a</sup>	1.2 ± 0 <sup>a</sup>	1.8 ± 0.1 <sup>b</sup>	2.9 ± 0.1 <sup>bc</sup>	3.8 ± 0.1 <sup>bc</sup>	4.4 ± 0.1 <sup>bc</sup>	4.8 ± 0.2 <sup>bc</sup>	5.1 ± 0.2 <sup>b</sup>

Los valores representan la media de ocho repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente letra dentro de la columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hojas de caña de azúcar, HP: hojas de plátano y AP: *Arachis pintoi*.

A partir de la velocidad de crecimiento de la cepa 598, se determinó que el mayor valor promedio fue en el medio PDA (1.2 cm día<sup>-1</sup>), seguido de HP y RM con crecimientos de 1.13 y 1.12 cm día<sup>-1</sup> respectivamente. El valor R<sup>2</sup> del modelo resultó en intervalo de 0.92 a 0.98 y un *p*-valor ≤ 0.05 (Tabla 6). Los sustratos PC y HCA fueron menos eficientes en el desarrollo del hongo, presentando una velocidad de crecimiento promedio de 0.3 cm día<sup>-1</sup>. De acuerdo a LS de *m*, la velocidad de crecimiento de la colonia fúngica, podría incrementar en RM y HP un crecimiento promedio de 0.14 cm día<sup>-1</sup> respectivamente (Tabla 6).

**Tabla 6.** Análisis de regresión lineal simple de la velocidad de crecimiento (cm día<sup>-1</sup>) de la cepa MXLD24 *Pleurotus djamor*. *m*: pendiente, *b*: intercepto, LI: límite inferior, LS: límite superior y R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

Tratamiento	<i>m</i>	<i>b</i>	LI de <i>m</i>	LS de <i>m</i>	LI de <i>b</i>	LS de <i>b</i>	R <sup>2</sup>	<i>p</i> -valor
PDA	1.2	-1	1.01	1.39	-1.94	-0.01	0.98	< 0.0001
PC	0.3	0.38	0.21	0.38	-0.06	0.81	0.92	0.0002
RM	1.12	-0.8	0.98	1.26	-1.48	-0.06	0.98	< 0.0001
HCA	0.31	0.53	0.27	0.35	0.33	0.73	0.98	< 0.0001
HP	1.13	-0.8	0.98	1.27	-1.55	-0.04	0.98	< 0.0001
AP	0.65	0.17	0.54	0.77	-0.41	0.76	0.97	< 0.0001

PDA: papa dextrosa agar, PC: paja de cebada, RM: rastrojo de maíz, HCA: hojas de caña de azúcar, HP: hojas de plátano y AP: *Arachis pintoi*.

### Productividad de las cepas MXLD23, MXLD24 Y 598

La EB de la cepa MXLD23 fue estadísticamente similar en las formulaciones: F2, F3 y F4, pero diferente en F1 y F5 (G<sub>1</sub> = 4, F = 17.1 y *p*-valor = < 0.0001). En la F2, se encontró la mayor TP (2.22% día<sup>-1</sup>), R (6.66%), PFTE (187.8 g) y el menor CP (34.2 días) (Tabla 7). Las formulaciones de sustrato F1 y F5 presentaron los mayores ciclos de producción 46.4 y 48.6 días respectivamente, sin embargo, esto no se reflejó en una mayor productividad en términos de EB.

Los valores de EB correspondientes a la cepa MXLD24 se agruparon en cuatro grupos estadísticos: A, B, C y D (G<sub>1</sub> = 4, F = 42.03 y *p*-valor = < 0.0001) (Tabla 7). La F2 produjo la mayor EB (46%), seguido de F4 con una EB de 45.4%; ambas formulaciones fueron estadísticamente similares. La menor EB fue en F1 con una EB de 26.11. La TP para la F2 fue de 1.9% día<sup>-1</sup>, mientras que para F1 fue de 0.46% día<sup>-1</sup>. EL R en la F2, F4 y F5 fue estadísticamente igual con valores de 5.72, 4.66 y 5.89%, respectivamente. Los valores de PFTE para F2 fue de 161.3 g y para F4 fue de 159 g, estos fueron superiores a las demás formulaciones evaluadas. El menor CP fue en F2 con una duración promedio de 24.2 días y el mayor CP fue en PC con 56.4 días. En cada uno de los parámetros productivos evaluados de la cepa MXLD24 se encontraron diferencias TP: G<sub>1</sub> = 4, H = 22.24 y *p*-valor = 0.0002; R: G<sub>1</sub> = 4, H = 21.63 y *p*-valor = 0.0003; PFTE: G<sub>1</sub> = 4, F = 42.03 y *p*-valor = < 0.0001; CP: G<sub>1</sub> = 4, H = 21.04 y *p*-valor = 0.0003.

Los valores de la productividad de la cepa de 598, obtenidos en las diferentes formulaciones de sustrato, se muestran en la Tabla 4. El mayor valor de EB (74%) fue en F4, este valor fue significativamente diferente (G<sub>1</sub> = 4, F = 49.46 y *p*-valor = < 0.0001) frente a las otras formulaciones de sustrato evaluadas. La TP fue estadísticamente similar en F4, F3 y F2 con valores promedio de 2.17, 2.09 y 1.75% día<sup>-1</sup> respectivamente. Un R de 9.16% fue en F5 el cual fue superior a las demás

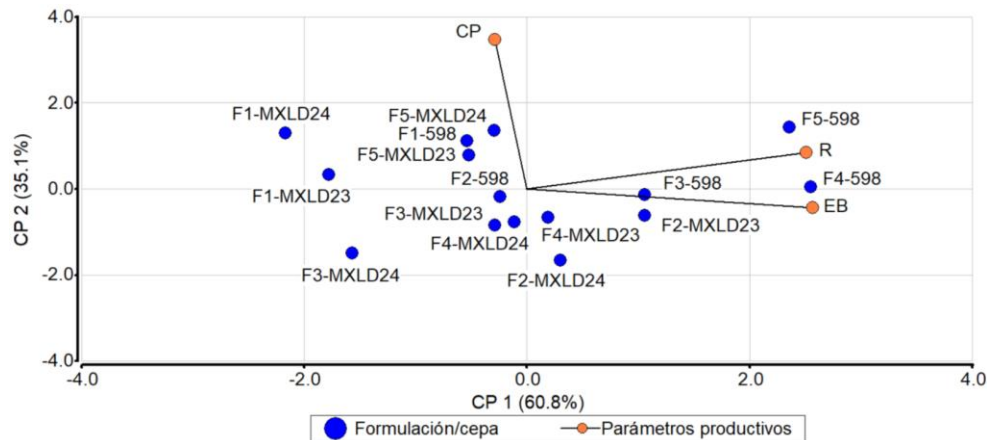
formulaciones evaluadas, esto representa una mayor bioconversión de esporomas (base seca) de la cepa en el sustrato empleado. El mayor PFTE revelado fue en F4 Y F3 con valores de 240 y 224 g respectivamente, esta ganancia de peso representa el doble del PFTE obtenido en F1 (109 g). El menor CP se encontró en F2 presentando una duración promedio de 39.8 días. Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los parámetros productivos evaluados.

**Tabla 7.** Indicadores de producción de las cepas de *Pleurotus djamor* (MXLD23, MXLD24 y 598). Eficiencia biológica (EB), tasa de producción (TP), rendimiento (R), peso fresco total de esporomas (PFTE) y ciclo de producción (CP).

Formulaciones de sustratos	Cepa	EB (%)	TP (%/día)	R (%)	PFTE (g)	CP (días)
F1	MXLD23	28.91 ± 5.48 <sup>b</sup>	0.51 ± 0.1 <sup>c</sup>	3.58 ± 0.68 <sup>c</sup>	101.2 ± 19.18 <sup>b</sup>	46.2 ± 2.39 <sup>b</sup>
F2		53.66 ± 1.96 <sup>a</sup>	2.22 ± 0.08 <sup>a</sup>	6.66 ± 0.24 <sup>a</sup>	187.8 ± 6.87 <sup>a</sup>	34.2 ± 3.03 <sup>a</sup>
F3		47.03 ± 8.13 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.29 <sup>a</sup>	4.85 ± 0.84 <sup>b</sup>	164.6 ± 28.45 <sup>a</sup>	34.8 ± 2.68 <sup>a</sup>
F4		50.29 ± 5.07 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.15 <sup>ab</sup>	5.15 ± 0.52 <sup>b</sup>	176 ± 17.76 <sup>a</sup>	35.8 ± 1.3 <sup>a</sup>
F5		36.17 ± 5.53 <sup>b</sup>	0.67 ± 0.1b <sup>c</sup>	5.55 ± 0.85 <sup>ab</sup>	126.6 ± 19.36 <sup>b</sup>	48.6 ± 2.88 <sup>b</sup>
F1	MXLD24	26.11 ± 1.33 <sup>D</sup>	0.46 ± 0.02 <sup>C</sup>	3.23 ± 0.17 <sup>A</sup>	91.4 ± 4.67 <sup>D</sup>	56.4 ± 0.89 <sup>C</sup>
F2		46.09 ± 2.27 <sup>A</sup>	1.9 ± 0.09 <sup>A</sup>	5.72 ± 0.28 <sup>B</sup>	161.3 ± 7.95 <sup>A</sup>	24.2 ± 2.68 <sup>A</sup>
F3		32.11 ± 4.26 <sup>C</sup>	1.14 ± 0.15 <sup>AB</sup>	3.31 ± 0.44 <sup>A</sup>	112.4 ± 14.93 <sup>C</sup>	28.2 ± 5.54 <sup>A</sup>
F4		45.43 ± 4.19 <sup>A</sup>	1.33 ± 0.12 <sup>AB</sup>	4.66 ± 0.43 <sup>AB</sup>	159 ± 14.68 <sup>A</sup>	34.2 ± 4.32 <sup>AB</sup>
F5		38.4 ± 1.14 <sup>B</sup>	0.71 ± 0.02 <sup>BC</sup>	5.89 ± 0.17 <sup>B</sup>	134.4 ± 3.97 <sup>B</sup>	54.2 ± 0.45 <sup>BC</sup>
F1	598	40.67 ± 4.42 <sup>c</sup>	0.72 ± 0.08 <sup>c</sup>	5.04 ± 0.55 <sup>d</sup>	109.4 ± 11.89 <sup>c</sup>	53.2 ± 2.59 <sup>b</sup>
F2		42.28 ± 3.77 <sup>c</sup>	1.75 ± 0.16 <sup>ab</sup>	5.25 ± 0.47 <sup>cd</sup>	181.8 ± 16.21 <sup>b</sup>	39.8 ± 3.11 <sup>a</sup>
F3		59.05 ± 4.96 <sup>b</sup>	2.09 ± 0.18 <sup>a</sup>	6.09 ± 0.51 <sup>c</sup>	224.4 ± 18.85 <sup>a</sup>	40.6 ± 1.52 <sup>a</sup>
F4		74.07 ± 4.12 <sup>a</sup>	2.17 ± 0.12 <sup>a</sup>	7.59 ± 0.42 <sup>b</sup>	240 ± 13.34 <sup>a</sup>	41.6 ± 2.79 <sup>a</sup>
F5		59.71 ± 4.68 <sup>b</sup>	1.10 ± 0.09 <sup>bc</sup>	9.16 ± 0.72 <sup>a</sup>	166.6 ± 13.07 <sup>b</sup>	52 ± 1 <sup>b</sup>

Los valores representan la media de cinco repeticiones ± desviación estándar. Medias con diferente estilo de letra dentro de la columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). F1: paja de cebada (100 %). F2: hoja de caña de azúcar (100 %). F3: hojas de caña de azúcar (90 %) + *Arachis pinto* (10 %). F4: rastrojo de maíz (100 %). F5: paja de cebada (80 %) + hoja de plátano (20 %). Los valores de TP y CP de las tres cepas corresponde a la prueba de Kruskal-Wallis, así mismo los valores de R para la cepa MXLD24.

El análisis de componentes principales mostró que el 95.9% de la variación producida es explicada por el componente principal 1 y 2. El vector EB presentó mayor aporte al componente principal 1 y el vector CP al componente 2 (Figura 5). Un efecto positivo se encontró entre la cepa 598 cultivada en F4 y F3 en relación a la EB. La EB de la cepa MXLD23 fue sobresaliente en F2. La cepa 598 cultivada en F5 se caracterizó fuertemente con el R, esto representó mayor ganancia en peso seco de esporomas de la productividad obtenida. Las cepas MXLD24 cultivada en F5, MXLD23 cultivada en F5 y 598 cultivada en F1, se caracterizaron por presentar mayores ciclos de producción. La cepa MXLD24 cultivada en F2 y la cepa MXLD23 cultivada en F4 presentaron una relación directa al presentar los menores ciclos de producción.



**Figura 5.** Efecto de las formulaciones de sustrato en la productividad de las cepas MXLD23, MXLD24 y 598. Correlación cofenética = 997. F1: paja de cebada (100%). F2: hoja de caña de azúcar (100%). F3: hojas de caña de azúcar (90%) + *Arachis pintoi* (10%). F4: rastrojo de maíz (100%). F5: paja de cebada (80%) + hoja de plátano (20%). EB: eficiencia biológica. R: rendimiento. CP: ciclo de producción.

## DISCUSIÓN

### Velocidad de crecimiento micelial

Las curvas de crecimiento micelial de las cepas estudiadas sobre los diferentes sustratos lignocelulósicos (Figuras 1, 2 y 3), presentaron un adecuado ajuste de crecimiento lineal, con coeficientes de determinación  $R^2$  entre 0.9 y 0.99, la forma de crecimiento (radial) fue similar como lo describe Gaitán-Hernández (2021). El desarrollo de las cepas evidenció una etapa de latencia de dos días, esta etapa podría estar asociada a que inicialmente el hongo, sintetiza enzimas para la asimilación de nutrientes (Martínez *et al.* 2015). La etapa de crecimiento exponencial, se observó entre el tercer y sexto día después de la inoculación de las diferentes cepas en los sustratos, esto concuerda con las características propias del desarrollo microbiano, ya que en esta etapa se alcanza la velocidad máxima de crecimiento de la colonia (Campi *et al.* 2016). No fue posible determinar la etapa estacionaria del crecimiento de la cepa MXLD23 en HP, RM, PDA, AP y HCA; de la cepa MXLD24 desarrollada en HP, RM, HCA PDA y PC; de la cepa 598 desarrollada en PDA, HP y RM, esto porque la limitante física de la placa de Petri de tamaño de 9 cm de diámetro impidió determinar si la colonia fúngica había llegado a su estado estacionario (Campi *et al.* 2016). Se observó la etapa estacionaria con una disminución de la velocidad del crecimiento de la cepa MXLD23 en PC; de la cepa MXLD24 en AP; de la cepa 598 en HCA, PC y AP, esta reducción de crecimiento pudo deberse a un agotamiento de nutrientes o por la acumulación de desechos tóxicos (Martínez *et al.* 2015), también pudo deberse a menor adaptabilidad metabólica del hongo a las fuentes de carbono y nitrógeno presentes en cada sustrato (Coello-Loor *et al.* 2017). La variada velocidad de crecimiento promedio de las cepas MXLD23, MXLD24 y 598 en los diferentes sustratos, podría estar relacionada con la particular composición química y estructura física de cada sustrato empleado (Vega *et al.* 2022), como fuentes de carbono, minerales, vitaminas, aminoácidos, nitrógeno y oxígeno (Gaitán-Hernández 2021), así como por la capacidad de síntesis de enzimas de



cada cepa para biodegradar los materiales orgánicos empleados (Salmones 2017) o por cualidades genéticas de la cepa (León-Avendaño *et al.* 2013).

El crecimiento micelial promedio que corresponde al valor de  $m$  (pendiente) de la cepa MXLD23 en el medio control PDA fue de  $1.07 \text{ cm día}^{-1}$  y para la cepa 598 fue de  $1.2 \text{ cm día}^{-1}$ , estas tasas de crecimiento fueron similares a las reportadas por Coello-Loor *et al.* (2017) en la evaluación de *P. ostreatus* en medio PDA con un valor de  $m$  de  $0.47 \text{ mm h}^{-1}$  o  $1.128 \text{ cm día}^{-1}$ ; sin embargo, la cepa MXLD24 mostró un valor de  $m$  de  $0.27 \text{ cm día}^{-1}$ . Por su parte Suárez y Holguín (2011) indicaron tasas de crecimiento radial en medio PDA para *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* de  $0.81$  y  $0.65 \text{ mm día}^{-1}$  respectivamente. El medio de cultivo PDA, por sus propiedades físico-químicas es ampliamente usado para el cultivo de hongos proveyendo un adecuado desarrollo, sin embargo, los estudios mostrados, sugieren un aprovechamiento diferencial de los nutrientes del medio, de acuerdo a la cepa cultivada. Los sustratos RM y HP resultaron con un crecimiento micelial de las cepas evaluadas en un intervalo de  $1.11$  a  $1.23 \text{ cm día}^{-1}$ , esto fue similar a lo encontrado en el medio PDA. De acuerdo con Salmones (2017), los hongos comestibles del género *Pleurotus*, entre estos *P. djamor*, pertenece a los hongos de pudrición blanca cuya característica particular, es que estos hongos poseen enzimas capaces de degradar la lignocelulosa de donde obtienen fuentes de carbono para su desarrollo. El menor crecimiento promedio de las cepas en el sustrato PC que fue de  $0.3$  a  $0.43 \text{ cm día}^{-1}$  y en el sustrato HCA de  $3.3$  a  $0.7 \text{ cm día}^{-1}$ , pudo deberse a una menor disponibilidad de nutrientes en los sustratos (Vega *et al.* 2022), principalmente fuentes de carbono (Gaitán-Hernández 2021). Los valores de crecimiento micelial en el sustrato AP fueron intermedios respecto a los otros sustratos evaluados con valores entre  $0.65$  a  $0.83 \text{ cm día}^{-1}$ ; el sustrato AP es una leguminosa y por ende, posee un mayor contenido de proteína frente a los otros sustratos empleados (Romero *et al.* 2022), sin embargo, esto no favoreció en una mayor velocidad de crecimiento micelial, pero si en una mayor producción de biomasa micelial ya que en este sustrato el micelio fue altamente denso (Gaitán-Hernández 2021).

### Productividad de las cepas MXLD23, MXLD24 y 598

La productividad de esporomas de la cepa MXLD23 y MXLD24 fue mayor en F2 mostrando una EB de  $53.6$  y  $46.09\%$ , TP de  $2.22$  y  $1.9\% \text{ día}^{-1}$ , R de  $6.66$  y  $5.72\%$  PFTE de  $187.8$  y  $161.3 \text{ g}$  y CP de  $34.2$  y  $24.2$  días respectivamente; para la cepa 598, los valores de productividad más altos fueron en F4 con una EB de  $74.07\%$ , TP de  $2.17\% \text{ día}^{-1}$ , R de  $7.59\%$  PFTE de  $240 \text{ g}$  y CP de  $41.6$  días. Pérez-Chávez *et al.* (2022) reportaron valores productivos de una cepa de *P. djamor* cultivada en paja de trigo con EB de  $167.2\%$  y TP de  $3.49\% \text{ día}^{-1}$ , PFTE de  $501.6 \text{ g}$  y CP de  $47.8$  días; esta misma cepa cultivada en aserrín de álamo suplementado con salvado de trigo obtuvieron una EB de  $109.4\%$ , TP  $1.65\% \text{ día}^{-1}$ , PFTE de  $328.3 \text{ g}$  y CP de  $66.1$  días. Por su parte, Roblero-Mejía *et al.* (2021) indicaron valores productivos de una cepa de *P. djamor* cultivada en pasto pangola con EB de  $38.2\%$  y TP de  $0.5\% \text{ día}^{-1}$  y en pulpa de café con EB de  $20.8\%$  y TP de  $0.2\% \text{ día}^{-1}$ . Estos valores productivos, sugieren una variada bioconversión del sustrato por el hongo en esporomas o cuerpos fructíferos de *Pleurotus*, lo cual puede deberse a factores intrínsecos como las propiedades genéticas del material biológico empleado (León-Avendaño *et al.* 2013). Así como propiedades físico químicas del sustrato: como el contenido de nitrógeno y de carbono, pH, humedad, minerales, el tamaño de partícula, secreción enzimática de la cepa para degradar materiales lignocelulósicos; también por factores extrínsecos como la temperatura y humedad ambiental de la cámara de incubación y fructificación, el

fotoperiodo, el oxígeno, y la concentración de dióxido de carbono (Bellettini *et al.* 2019). Además, es posible que las cepas de *Pleurotus* evaluadas requieran menor contenido de nitrógeno, proteína cruda y relación carbono/nitrógeno para su desarrollo y fructificación, por ejemplo, Romero-Arenas *et al.* (2018) indicaron una mayor productividad en *P. ostreatus* usando paja de cebada (EB de 102%) con un contenido de proteína de 5.8% y una menor productividad en rastrojo de maíz (EB de 64.2%) con un contenido de proteína cruda de (4.9%); mientras que Roblero-mejía *et al.* (2021) obtuvieron una EB de 38% en *P. djamor* y una EB de 48% en *P. ostreatus* en un sustrato que contenía 0.5% de nitrógeno y carbono de 51%; por su parte, Vega *et al.* 2022 reportaron EB de 80 a 96% al cultivar *P. djamor* en sustratos con un contenido de nitrógeno de 1.4 a 2.2% y relación carbono/nitrógeno de 24 a 37. En el presente estudio, la humedad del sustrato en el momento de la inoculación de las cepas fue de 65%, en el estudio de Pérez-Chávez *et al.* (2022) la humedad fue de 70% y en lo reportado por Roblero-Mejía *et al.* (2021) fue de 60%; es posible que una mayor proporción de humedad en el sustrato en la etapa de incubación favorece el desarrollo vegetativo y productividad del hongo, permitiendo mejores condiciones en la biodegradación del sustrato y actividad enzimática (Salmones 2017).

En el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*, las cepas de *P. djamor* destacan por poseer ciclos cortos de producción, en contraste con cepas de las especies de *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* (Salmones 2017). El ciclo de producción para las cepas de *P. djamor* fue de 24.2 a 54.4 días. Al respecto, Abid *et al.* (2020) cultivaron *P. ostreatus* sobre paja de arroz, paja de trigo y paja de trigo combinada con *Pinus wallichiana* en una proporción de 50%, indicaron un CP de 54.5, 47.6 y 62.83 días, respectivamente. Mientras que Jaramillo-Mejía y Albertó (2019) reportan un CP entre 66 a 81 días en la producción de *P. ostreatus* empleando paja de trigo con diferentes proporciones de inóculo. Por otro lado Rugamas *et al.* (2022) reportaron un CP de 43 y 48 días en el cultivo de *P. tuber-regium* y *P. sajor-caju*. Es evidente que, la especie de *P. djamor*, presenta periodos más cortos de producción, sin embargo, es notable que este periodo productivo puede verse afectado por el sustrato en el que se cultiva el hongo. El sustrato de hojas de caña de azúcar, mostró los CP más cortos de las cepas evaluadas, lo que sugiere altas expectativas del uso de estos insumos en un sistema productivo de *Pleurotus* en regiones con clima tropical (Salmones *et al.* 2022).

La productividad más baja de las cepas estudiadas, encontrada en F1, que corresponde a paja de cebada con EB de 26.1 a 40.6%, pudiera deberse a la porosidad e intercambio de gases que provee el sustrato (Abid *et al.* 2020), ya que en la formulación F5 que corresponde a paja de cebada (80%) + hoja de plátano (20%) la EB fue de 36.1 a 59.7% y es posible que este incremento productivo se diera por la estructura del sustrato. La EB de la cepa 598 en F2 (hojas de caña de azúcar) fue de 42.2% mientras que en F3 que incluye la combinación de hojas de caña de azúcar (90%) + *A. pintoii* (10%) fue de 59%. Este incremento productivo pudiera deberse a un mayor aprovechamiento de esta leguminosa y sus fuentes de nitrógeno por el hongo, en la formación de cuerpos fructíferos, ya que en las cepas MXLD23 y MXLD24 la EB no incrementó con el uso de *A. pintoii*. De acuerdo al análisis de componentes principales, la cepa 598, presentó una relación positiva entre la EB y las formulaciones de sustrato (F3 y F4) el R con F5, esto posiblemente se deba a que la cepa posee a una mayor capacidad de síntesis de enzimas degradadoras de lignocelulosa (Salmones 2017), lo que permite una mayor bioconversión de estos materiales orgánicos en esporomas (Vega *et al.* 2022).

## CONCLUSIONES

El estudio reveló un rápido desarrollo micelial de las cepas MXLD23, MXLD24 y 598 en rastrojo de maíz y hojas de plátano; productividad más alta en la cepa 598 cultivada en rastrojo de maíz con valores de EB de 74%, TP de 2.17% día<sup>-1</sup>, R de 7.59% y PFTE de 240 g. La paja de cebada combinada con 20% de hoja de plátano incrementó la EB de la cepa 598 en 19%. La leguminosa forrajera *Arachis pintoi* incrementó la EB de la cepa 598 en 17%; por lo que, el uso de esta leguminosa como suplemento en el cultivo de *Pleurotus* representa un alto potencial. En la región centro del estado de Veracruz, es viable iniciar un sistema de producción de *Pleurotus* empleando como insumos cepas silvestres y sustratos locales.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, por la beca otorgada (783900). Al Laboratorio de Biotecnología de Cultivo de Hongos Comestibles y Medicinales de la Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, por la capacidad técnica y académica para la realización del estudio. Se agradece a los técnicos Ely Gutiérrez Dávila y Marcelino Villagrán Méndez por los equipos y materiales proporcionados.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Todos los autores están de acuerdo y expresan que no existe conflicto de intereses en competencia en el presente estudio.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ventura DA, Serna-Lagunes R, Chen J, Llarena-Hernández RC (2024) Implicaciones biotecnológicas del cultivo de *Pleurotus* en la formación académica y la capacitación a productores de Las Montañas, Veracruz. *Bioagrociencias* 17(1): 128-135. <http://doi.org/10.56369/BAC.5590>
- Abid AH, Hamid A, Naz RMM, Shah SZA, Anjum S, Khan MT, Ilyas M (2020) Impact of different lignocellulose substrates on growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Pure and Applied Biology* 9(1): 768-775. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2020.90083>
- Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW (2008) *InfoStat: Software Estadístico: Manual del Usuario*. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. 336p.
- Bellettini MB, Fiorda FA, Maieves HA, Teixeira GL, Ávila S, Hornung PS, Júnior AM, Ribani RH (2019) Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences* 26: 633-646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>

- Campi M, Grassi E, Armoa J, Campuzano E, López T, Mancuello C, Martínez M (2016) Evaluación del crecimiento de macrohongos de interés biotecnológico en residuos agroindustriales y maderero. *Steviana* 8(2): 59-67. [https://doi.org/10.56152/StevianaFacenV8N2A3\\_2016](https://doi.org/10.56152/StevianaFacenV8N2A3_2016)
- Coello-Loor CD, Avellaneda-Cevallos JH, Barrera-Álvarez AE, Peña-Galeas MM, Yépez MPF, Racines-Macías ER (2017) Evaluación del crecimiento y producción de biomasa de dos cepas del género *Pleurotus* spp., cultivadas en un medio agar con diferentes sustratos. *Ciencia y Tecnología* 10(2): 33-39. <https://doi.org/10.18779/cyt.v10i2.205>
- Di-Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW (2020) InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>. Fecha de consulta 27 de febrero de 2024.
- Ejigu N, Sitotaw B, Girmay S, Assaye H (2022) Evaluation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) biomass supplemented with agricultural wastes. *International Journal of Food Science* 9289043: 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/9289043>
- Gaitán-Hernández R (2021) Caracterización *in vitro* del crecimiento micelial de hongos comestibles cultivados. En: Mata G, Salmenes D (eds) Técnicas de aislamiento cultivo y conservación de cepas de hongos en el laboratorio. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México. pp. 37-45.
- Gaitán-Hernández R, Silva-Huerta A (2016) Aprovechamiento de residuos agrícolas locales para la producción de *Pleurotus* spp., en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Micología* (43): 43-47.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5a Edición. Editorial del Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. México. 92p.
- Huacash-Pale S, Ocampo-Guzmán A (2021) El territorio y actores sociales del sistema de producción de hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*, sp) en Aldama Chiapas. *Horizontes Territoriales* 1(2): 1-25.
- INEGI (2023) Censo Agropecuario 2022 resultados definitivos Veracruz. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022\\_rdVER.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdVER.pdf). Fecha de consulta: 09 de septiembre de 2024.
- Jaramillo-Mejía S, Albertó E (2013) Heat treatment of wheat straw by immersion in hot water decreases mushroom yield in *Pleurotus ostreatus*. *Revista Iberoamericana de Micología* 30(2): 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2012.11.004>
- Jaramillo-Mejía S, Albertó E (2019) Incremento de la productividad de *Pleurotus ostreatus* mediante el uso de inóculo como suplemento. *Scientia Fungorum* 49: e1243. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1243>
- León-Avendaño H, Martínez-García R, Caballero GP, Martínez-Carrera D (2013) Caracterización de dos cepas de *Pleurotus djamor* nativas de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (6): 1285-1291. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1291>
- Martínez DA, Buglione MB, Filippi MV, Reynoso LC, Rodríguez GE, Agüero MS (2015) Evaluación del crecimiento micelial de *Pleurotus ostreatus* y *Agrocybe aegerita* sobre orujos de pera. *Anales de Biología*. 37: 1-10. <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.37.1>
- Mayett MY, Martínez-Carrera D (2019) El consumo de los hongos comestibles y su relevancia en la seguridad alimentaria de México. En: Martínez-Carrera D, Mayett MY, Maimone CMR (eds) Los hongos comestibles, funcionales y medicinales: Aportación a la dieta, la salud la



- cultura y al sistema agroalimentario de México. Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. México. pp. 293-329.
- Pérez-Chávez AM, Alberti MM, Albertó E (2022) Evaluation of ligninolytic activity in spent mushroom substrate from four cultivated mushrooms. *Journal of Bioresources and Bioproducts* 7: 288-294. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.09.001>
- Pérez-Moreno J, Mortimer PE, Xu J, Karunarathna SC, Li H (2021) Global perspectives on the ecological, cultural and socioeconomic relevance of wild edible fungi. *Studies in Fungi* 6: 4.8-424. <http://dx.doi.org/10.5943/sif/6/1/31>
- Piña-Guzmán AB, Nieto-Monteros DA, Robles-Martínez F (2016) Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32: 141-151. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.10>
- Roblero-Mejía DO, Aguilar-Marcelino L, Sánchez JE (2021) Efecto de la variación del sustrato en la productividad de dos cepas de *Pleurotus* spp. *Scientia Fungorum* 52: e1377. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1377>
- Roggero-Luque JM, Rugolo M, Rajchenberg M, Barroetaveña C (2021) Assessment of lignocellulosic residues from Northern Patagonian Andes (Argentina) for cultivation of *Pleurotus ostreatus*. *Universitas Scientiarum* 26(2): 159-177. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC262.aolr>
- Romero DG, Aguirre L, Flores MER (2022) Aceptación y preferencia animal de leguminosas (*Arachis pintoi*, *Stylosanthes guianensis* y *Centrocema macrocarpum*) en el trópico. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 33(5): e20745. <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i5.20745>
- Romero-Arenas O, Valencia-De Ita MÁ, Rivera-Tapia JA, Tello-Salgado I, Villarreal Espino-Barros OA, Damián-Huato MÁ (2018) Productive capacity of *Pleurotus ostreatus* using dehydrated alfalfa as supplement in different agricultural substrates. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 15: 145-160.
- Royse DJ, Sánchez JE (2017) Producción mundial de setas *Pleurotus* spp. con énfasis en países Iberoamericanos. En: Sánchez JE, Royse DJ (eds) *La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas Pleurotus spp.* El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. pp.17-25.
- Rugamas JAT, Min KJ, Park HS, Ha TM, Lee EJ (2022) Evaluation of promising oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) for production in tropical regions. *Journal of Mushrooms*. 20(4): 193-198. <http://dx.doi.org/10.14480/JM.2022.20.4.193>
- Salmones D (2017) *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Scientia Fungorum* 46: 73-85. <https://doi.org/10.33885/sf.2017.46.1177>
- Salmones D, Chen J, Llarena-Hernández RC, Mata G, Gaitán-Hernández R, Cruz VI (2022) Actualidades sobre la sistemática, genética y genómica de los géneros *Agaricus* y *Pleurotus*, con énfasis en especies que crecen en México: estrategias para identificar nuevas especies o variedades de interés comercial. En: Martínez-Carrera D, Mayett MY, Maimone CMR (eds) *Los Hongos comestibles, funcionales y medicinales: Aportación a la dieta, la salud, la cultura, al ambiente, y al sistema agroalimentario de México.* Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. México. pp. 337-358.

- Suárez AC, Holguín HMS (2011) Evaluación de medios de cultivo sintéticos y cereales para la producción de semilla de setas comestibles. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 5(1): 130-140. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i1.1259>
- Vega A, De León JA, Miranda S, Reyes SM (2022) Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of *Pleurotus djamor*. *Cleaner Waste Systems* 2: 100018. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100018>
- Zar JH (2010) *Biostatistical analysis*. 5ta Edición. Editorial Pearson. New Jersey, USA. 931p.