Caracterización de cepas de *Pleurotus djamor* obtenidas por cruzamiento dicarion-monocarion

Characterization of strains of *pleurotus djamor* obtained by dicarion-monocaryon crossing

Recepción del artículo: 07/05/2025 • Aceptación para publicación: 24/08/2025 • Publicación: 01/09/2025

José Armando Arias García[1]
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7474-1878
Conrado Soto Velazco[1] †
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0216-4143

[1]Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Botánica y Zoología. Instituto de Biotecnología. Guadalajara, Jalisco, México.

*Autor para correspondencia:
armando.arias@academicos.udg.mx

Resumen

El Fenómeno Buller consiste en la dicariotización de micelios monocarióticos por micelios dicariones. Fue observada por primera vez en los hongos *Coprinus lagopus* y *Schizophyllum commune* para determinar los factores de incompatibilidad y entender los procesos de migración nuclear y la formación de fíbulas, pero no ha sido utilizado como estrategia de mejoramiento genético en Pleurotus. El objetivo del trabajo planteado fue la obtención y caracterización de cepas di-monocarion de *P. djamor* nativas de Jalisco y su cultivo en bagazo de agave tequilero. Para lograrlo, se estudió la dicariotización de micelios monospórico por medio de micelios dicarióticos de tres cepas silvestre del estado de Jalisco de *P. djamor*. En total se obtuvieron nueve cepas di-monocarióticas. A cada cepa obtenida se le evaluó el comportamiento en los medios de cultivo EMA y HIT, resultando el más adecuado este último, por lo que puede ser empleado para el manejo de estas cepas. Respecto a la producción de carpóforos de agave se determinó que pueden alcanzar hasta un 39 % en fresco y de 4.9 % en seco de eficiencia biológica. Por otro lado, se estableció un promedio del tamaño de carpóforos adecuado a nivel comercial de 5 a 11 cm, por lo que se obtuvieron porcentajes del 77 al 47 % en las cepas híbridas obtenidas.

Palabras clave: Mejoramiento genético, bagazo de agave, Fenómeno Buller, hongo comestible.

Abstract

Buller phenomenon consists of the dikaryoticization of monokaryotic mycelia by dikaryonic mycelia, was first observed in *Coprinus lagopus* and *Schizophyllum commune* to determine incompatibility factors and understand the processes of nuclear migration and clamp formation, but it has not been used as a genetic improvement strategy in Pleurotus. The objective of the proposed work was to obtain and characterize di-monokaryonic strains of *P. djamor* native to Jalisco and their cultivation in tequila agave bagasse. To achieve this, the dikaryoticization of monosporic mycelia was studied by means of dikaryotic mycelia of three wild *P. djamor* strains from the state of Jalisco. A total of 9 di-monokaryonic strains were obtained. Each strain obtained was evaluated for its performance in EMA and HIT culture media, with the latter being the most suitable and therefore suitable for use in the management of these strains. Regarding agave carpophore production, it was determined that they can reach up to 39% biological efficiency in fresh and 4.9% in dry media. Furthermore, an average commercially suitable carpophore size of 5 to 11 cm was established, resulting in percentages ranging from 77% to 47% in the hybrid strains obtained.

Keywords: Genetic improvement, agave bagasse, Buller phenomenon, edible mushroom.

Introducción

Pleurotus djamor (Rumph.: Fr.) Boedijn, es una especie de hongo pantropical comestible adecuada para cultivos intensivos en América tropical, con base en la adaptación natural a dichas condiciones, ya que fructifica en diversas ocasiones a largo del año con un ciclo de vida corto, alta producción de carpóforos y resistencia a plagas (Guzmán y Martínez-Carrera, 1985; Soto-Velasco, 1986; Salmones, 2017). En México el cultivo de *Pleurotus djamor* es incipiente y con muchas adaptaciones empíricas a lo largo del proceso, por lo que lejos se está aún de desarrollar programas de selección y mejoramiento de cepas que permitan copiosas cosechas de carpóforos con cualidades más susceptibles de comestibilidad (Salmones *et al*., 2016; López-Coba *et al*., 2005; Cedano *et al*., 1993). Por lo general las cepas que se han aislado a partir de basidiomas silvestres, producen fructificaciones de consistencia correosa a carnosa, poco adecuadas para su comercialización, lo cual ha motivado que se preste poca atención a esta especie con la finalidad de aprovechar las cualidades señaladas anteriormente y mejorando la consistencia correosa.

Algunos de los trabajos publicados sobre cepas silvestres de *Pleurotus djamor* son la de fructificaciones de Yucatán, en donde se estudió su cultivo a nivel rural en zonas tropicales (Lopez-Coba *et al*., 2005). Ancona *et al*., (2005) determinaron las preferencias en su consumo mediante la elaboración de varios platillos con fructificaciones de esta especie. Salmones *et al*., (1997) estudiaron la interacción del crecimiento micelial y su productividad. Mata y Perez-Merlo (2003) examinaron la viabilidad del inóculo para la producción de hongos después de un paso en nitrógeno líquido sin crioprotección. Salmones *et al*., (2005) compararon el cultivo de *Pleurotus* spp. sobre pulpa de café y paja de trigo y estudiaron la producción de biomasa y la biodegradación del substrato. Cetz *et al*., (2000) cultivaron una cepa silvestre de *P. djamor* en rastrojo de calabaza fermentado. Kalmis *et al*., (2008) evaluaron la capacidad de decolorar tintes textiles. Por otra parte, Valencia del Toro y Leal-Lara se han enfocado a resaltar las características de coloración de cepas de esta especie (1999, 2002) y Valencia *et al*., (2008) evaluaron la actividad antibacteriana de extractos hexanicos de carpóforos de cepas de *P. djamor*.

En cuanto a los estudios genéticos se cuenta con James *et al*., (2004) donde investigaron la estructura y diversidad genética de los genes de los tipos de apareamiento A y B. Huerta *et al.*, (2009) identificaron los grupos de interesterilidad de 31 cepas de *Pleurotus* spp. aisladas de México y por medio de apareamientos dicarión-monocarión las identificaron en especies biológicas sin llevar a cabo un proceso de selección de cepas. Martínez-Carrera *et al.*, (2016) estudiaron la fertilidad entre cruzas de cepas de *P. ostreatus*. Salmones *et al.*, (2016) seleccionaron micelios monocarióticos con rápido y buen crecimiento para obtener micelios dicarioticos. Huerta *et al*., (2009) proponen realizar dos programas de mejoramiento genético, uno para climas templados-fríos mediante el uso de cepas de *P.ostreatus* y *P. pulmonarius* y otro para climas tropicales y subtropicales con el uso de germoplasma nativo de *P. djamor*. Para iniciar con un programa de mejoramiento genético es importante contar con micelios monospóricos, los cuales se cruzan para formar un micelio fértil dicariótico (Eger, 1978; Eugenio y Anderson, 1968). Leal y Eger reportaron el método de monocariotización o formación de neohaplontes y su uso en los estudios genéticos de *P. ostreatus* (1982). Sanchez-Hernandez *et al.*, (2019) obtuvieron micelios monocarioticos por medio de dos procedimientos, la producción de neohaplontes y de protoplastos, de una cepa de *P. djamour*, donde observaron un porcentaje alto de polimorfismo en cuanto a velocidad de crecimiento de los micelios monospóricos recuperados. Jyothi y Thar (2021), reportan el efecto de la radiación gamma sobre el cultivo de *Pleurotus* entre ellas *P. djamor*, donde se identificaron tiempos de cultivo más cortos para la producción de primordios. Se han desarrollado cepas que presentan periodos cortos para la cosecha por medio del uso de cruzas entre micelios monospóricos de *P. djamor* (Shindhu *et al.*, 2024). Sin embargo, no existen estudios sobre el mejoramiento genético con fines de mejorar la producción a nivel comercial de cepas de climas tropicales como *P. djamor* silvestres de México por medio de la cruza entre micelios monocarióticos y dicarióticos.

El método convencional para la selección y mejoramiento de cepas de *Pleurotus* se ha basado en el entrecruzamiento de micelios monospóricos compatibles (Eger, 1978; Eugenio y Anderson, 1968) lo cual da como resultado una serie numerosa de dicariones muy variables entre sí. En este caso no se aprovecha la adaptación que pudo haber tenido el dicarión original que creció de forma silvestre y que puede ser transmitido a posteriores generaciones.

El Fenómeno Buller consiste en la dicariotización de micelios monocarióticos por micelios dicariones, fue observada por primera vez en *Coprinus lagopus* y *Schizophyllum commune* (Raper, 1966), ha permitido determinar los factores de incompatibilidad A y B, entender los procesos de migración nuclear y la formación de fíbulas. Por medio de dicho fenómeno un micelio dicariótico fibulado induce la formación de fíbulas en otro que no esta fibulado (monocariótico), si ambos son confrontados y son compatibles, y con ello se formara un micelio dicariotico fibulado compuesto por el nucleo del monocariotico y uno compatible del dicariotico para reunirse en una cepa común. Con la finalidad de aprovechar esta cualidad en el presente trabajo se dicariotizaron micelios monospóricos de *P. djamour* nativos del estado de Jalisco con sus respectivos dicariones parentales y así conocer la expresión fenotípica de las cepas dimonocariotas

obtenidas y contribuir a la selección de cepas con características deseadas para climas tropicales y subtropicales.

Materiales y métodos

Cepas de *P. djamor*

Se emplearon como progenitoras 3 cepas dicarióticas de *Pleurotus djamur* (IBUG-1, IBUG-3 e IBUG-9). Las cepas fueron colectadas en el estado de Jalisco, México, creciendo sobre bagazo de caña de azúcar (IBUG-1), madera (IBUG-3) y *Agave guadalajarana* en descomposición (IBUG-9). Se obtuvieron micelios dicarióticos por cultivo de tejido vegetativo en medio de cultivo extracto de malta con agar (EMA). Para cada una de ellas se obtuvieron y germinaron esporas para hacer crecer los micelios monospóricos y se les determino el tipo de apareamiento para clasificarlos en los 4 tipos de incompatibilidad de acuerdo a Eger (1978) y con ello identificar a los cuatro micelios monospórico utilizados en el estudio de apareamientos di-monocarión.

Medios de cultivo

Se utilizó el medio de cultivo EMA (Bioxon) siguiendo las instrucciones del fabricante y fue esterilizado a 121 °C por 15 min. Fue vertido en cajas de Petri de vidrio previamente esterilizadas. El medio de cultivo HIT (Harina de Trigo Integral) se preparó a base de harina de trigo integral (10 g de harina de trigo integral, 5 g de sacarosa y 15 g de agar en 1000 ml de agua destilada) y fue esterilizado a 121 °C por 15 min. Posteriormente fue vertido en cajas de Petri.

Aislamiento de micelios monospóricos

Para el aislamiento de micelios monospóricos primero se obtuvieron las esporadas en papel Bond estéril de color blanco y posteriormente, se realizaron las diluciones de las esporas de cada una de las tres cepas en agua destilada estéril. Con un hematocitómetro se contó el número de esporas hasta obtener una concentración de 300 esporas/ml, y para obtener de 20 a 30 micelios monospóricos bien separados se utilizaron 100 µl de la dilución de esporas y fueron dispersados sobre un medio de cultivo extracto de malta con agar (Bioxón®) con una asa de vidrio en L o asa de Digralsky. Los medios de cultivo inoculados fueron incubados a 28° C durante 5–8 días o hasta ver el crecimiento de los micelios monospóricos con aproximadamente 0.3 cm de diámetro del cultivo. Cada uno de los micelios monospóricos aislados fueron clasificados por tipos de incompatibilidad de acuerdo a Eger (1978).

Apareamientos dicarion-monocarion

Los apareamientos dicarión-monocarión se realizaron sobre extracto de malta con agar (Bioxón®) colocando el micelio dicariótico de la cepa parental junto al del monocarión. En total se obtuvieron 24 cruzas, evitando las cruzas entre monospóricos y su cepa parental. Se incubaron a una temperatura de 28° C y se esperó a que los micelios en crecimiento se fusionaran. La dicariotización del micelio monospórico se comprobó al tomar una porción de él y se observó bajo el microscopio (40X) la presencia o ausencia de fíbulas, características del micelio dicariótico de *P. djamor*.

Velocidad de crecimiento de micelios

Los micelios di-monocariones obtenidos por medio de los apareamientos, se resembraron en dos medios de cultivo, EMA y HIT, con 3 réplicas de cada medio de cultivo para observar su comportamiento en cuanto a la velocidad de crecimiento (Sharp, 1978) y una vez que el micelio cubrió los 90 mm del diámetro de la caja de Petri se determinó la textura del micelio de acuerdo a la morfología macroscópica (Watanabe, 2010).

Cultivo en bagazo de maguey tequilero

Con las cepas dicarióticas obtenidas y las parentales o dicariotizantes, se elaboró inóculo sobre granos de trigo en bolsas de polipropileno (Soto-Velazco, *et al*., 1993). Para caracterizar los carpóforos de cada una de las cepas, estas fueron sembradas en bagazo de maguey tequilero, fermentado durante 20 días (Soto-Velazco *et al*., 1991; Guzmán-Dávalos *et al*., 1987), se pasteurizó en agua a 70-75° C durante 40 minutos y posteriormente se enfrió hasta llegar a una temperatura de 28° C para llevar a cabo la siembra en 10 bolsas de polietileno transparente de 40 x 60 cm con 6 kg de substrato para cada cepa dicariótica. Se determinó la eficiencia biológica con base al peso fresco (Tchierpe y Hartman, 1977) y seco de los carpóforos (Jain *et al*., 1988). Se registró el tamaño de los cuerpos fructíferos de las diferentes cepas estudiadas de acuerdo a la siguiente clasificación: chicos (2 a 4.9 cm) medianos (5 a 11) y grandes 11.1 cm en adelante.

Análisis de datos

Se realizaron tres réplicas en las pruebas de estimación de la velocidad de crecimiento micelial en los dos medios de cultivo (EMA y HIT). Para evaluar la producción de fructificaciones en bagazo de maguey tequilero se realizaron diez réplicas. Con los datos obtenidos de velocidad de crecimiento en los medios de cultivos probados y las eficiencias biológicas determinadas en el bagazo de maguey tequilero se realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey, utilizando el programa de cómputo "SAS".

Resultados

Los monospóricos aislados e identificados con su tipo de apareamiento fueron los siguientes: para la cepa IBUG-1 fueron,

el 4 del tipo de apareamiento I, el 12 del II, el 17 del III y el 23 del IV. Para la cepa IBUG-3 se identificaron a los monocariones 10 del tipo I, el 15 del II, el 16 del III y el 17 del tipo IV; los monospóricos de la cepa IBUG-9 fueron, del tipo I el 1, del II el 8, del III el 39 y del tipo IV el 63. Las 3 cepas parentales de *P. djamour* utilizadas como agentes dicariotizantes y los monospóricos de cada tipo de apareamiento que participaron para la obtención de los di-monocariones por el método empleado se muestran en el Cuadro 1. En total se realizaron 24 apareamientos y se lograron obtener 9 micelios di-monocarióticos.

Cuadro 1. Apareamientos de los micelios monocarióticos de *P. djamour* nativos de Jalisco con los micelios dicarióticos parentales.

Cepa parental	dicariotica	Tipo de apareamiento / Número del monospórico	IBUG-1	IBUG-3	IBUG-9
		I / 4	*	+	+
IBUG-1		II / 12	*	-	-
		III / 17	*	+	+
		IV / 23	*	-	+
		I / 10	-	*	-
IBUG-3		II / 15	-	*	+
		III / 16	-	*	-
		IV / 17	+	*	+
		I / 1	-	-	*
IBUG-9		II / 8	-	-	*
		III / 39	+	-	*
		IV / 63	-	-	*

+ Formación del dicarión - No hubo formación del dicarión
* No se realizó apareamiento por ser de la misma cepa

Los resultados obtenidos en cuanto a velocidad de crecimiento y caracterización del micelio en los dos medios de cultivo empleados se presentan en el Cuadro 2. Con los datos recabados de la velocidad de crecimiento se realizó el ANVA y se observaron diferencias significativas entre las cepas, así como en los medios estudiados. Con la prueba de Tukey se determinó que, en el medio de cultivo EMA el di-monocarión 9 x 17_1, presentó la mayor velocidad de crecimiento con 10 mm/día y la más lenta fue de 3.9 mm/día para los di-monocariones 9 x 23_1 y 9 x 4_1. En el medio de cultivo HIT el di-monocarión 9 x 17_1 tuvo la velocidad de crecimiento más alta con 12.9 mm/día. Por otro lado, el di-monocarión 1 x 17_3 presentó una velocidad de crecimiento de 3.6 mm/día. Respecto a la textura en ambos medios de cultivo fueron algodonosas, aunque en el medio EMA se presentaron algunas texturas algodonosas a aborladas y en el medio HIT los dicariones 9 x 4_1, 1 x 39_9 y 9 x 17_1 presentaron micelios con textura lanosa o aborlada (Cuadro 2).

La velocidad de crecimiento de las cepas parentales fue significativamente menor (3.33 y 7.43 mm/día) en relación con los di-monocariones (5.53 mm/día y 8.02 mm/día). En el medio EMA, la cepa IBUG-9 presentó la mayor velocidad de crecimiento con 3.7 mm/día y la cepa IBUG-3, fue la de menor velocidad de crecimiento con 3.0 mm/día. En HIT las cepas IBUG-1 e IBUG-9 tuvieron una velocidad de crecimiento de 9 y 10 mm/día respectivamente y la cepa IBUG-3 con tan solo 3.3 mm/día. Las texturas en ambos medios de cultivo, fueron algodonosas, aunque la IBUG-9 presentó una textura cerosa en EMA, y lanosa en el medio HIT (Cuadro 2).

El di-monocarión que inició más pronto la fructificación fue el 3 x 17_1, con un promedio de 21 días. Le siguió el 1 x 17_3 que formó primordios en un promedio de 22 días. Los di-monocariones 1 x 39_9 y el 9 x 4_1, iniciaron la fructificación después de 30 días, con 31 y 33 días, respectivamente. En relación a las cepas dicariotizantes o parentales, estas iniciaron la fructificación en un período de 17 a 23 días (Cuadro 3).

En relación a la eficiencia biológica con base al peso seco y húmedo de los cuerpos fructíferos se observaron diferencias significativas (Cuadro 3). El di-monocarión 9 x 4_1 presentó17 % y 2.4 % con base húmeda y seca respectivamente, le siguió el di-monocarión 3 x 17_1 con 26 % con base húmeda y 3.5 con base seca. Los di-monocariones 9 x 23_1 y 9 x 17_3 tuvieron una eficiencia biológica del 30 % con base al peso húmedo, pero diferente con base al peso seco de las fructificaciones, que fue de 4.9 % y 2.9 %, respectivamente. Con los di-monocariones 1 x 39_9, 3 x 4_1 y 9 x 17_1 la eficiencia biológica fue de 37 % en base húmeda y de 4.0, 4.4 y 3.5 % con base al peso seco de las fructificaciones, respectivamente. El di-monocarión que presentó la eficiencia biológica más alta con base húmeda fue el 9 x 15_3 con 39 %, pero con 3.4 % con base al peso seco. En el caso de las cepas parentales, la eficiencia biológica obtenida fue de 29 a 38 % con base al peso húmedo y con base en el peso seco las eficiencias fueron desde 2.7 % a 4.9 %.

El tamaño promedio que presentaron los carpóforos se estableció

Cuadro 2. Velocidad de crecimiento y caracterización de los micelios de los di-monocariones y cepas dicarioticas parentales en los medios de cultivo EMA y HIT.

	VELOCIDAD DE CRECIMIENTO				TEXTURA	
	Medio EMA		Medio HIT		Medio EMA	Medio HIT
Cepa	Días*	mm/día	Días*	mm/día		
1 x 17_3	20.0 ± 0.0	4.5 ± 0.0 c	24.7 ± 0.5	3.7 ± 0.1 d	1	1
1 x 39_9	19.3 ± 0.6	4.7 ± 0.1 c	10.0 ± 0.8	9.1 ± 0.7 b	1-3	3-1
3 x 4_1	18.0 ± 1.0	5.0 ± 0.2 c	13.0 ± 0.8	7.0 ± 0.4 c	1	1
3 x 17_1	19.0 ± 1.0	4.7 ± 0.2 c	21.3 ± 0.5	4.2 ± 0.1 d	1-3	1
9 x 17_1	9.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0 a	7.0 ± 0.8	13.0 ± 1.5 a	1-3	2
9 x 23_1	23.3 ± 0.6	3.9 ± 0.1 d	12.0 ± 0.0	7.5 ± 0.0 c	1	1
9 x 4_1	23.0 ± 1.0	3.9 ± 0.1 d	11.0 ± 1.0	8.2 ± 0.7 b	1	3
9 x 15_3	16.0 ± 0.0	5.6 ± 0.0 c	10.3 ± 0.5	8.7 ± 0.4 b	1-2	1
9 x 17_3	12.0 ± 1.0	7.5 ± 0.5 b	9.0 ± 0.0	10.0 ± 0.0 b	1	1
IBUG-1	27	3.3 e	10 ± 0.0	9.0 ± 0.0 b	1	1
IBUG-3	30	3.0 e	27.0 ± 0.8	3.3 ± 0.1 e	1	1-3
IBUG-9	24	3.7 d	9.3 ± 0.5	9.7 ± 0.5 b	4	2

1 Algonodosa 2 Lanosa 3 Aborlada
* Total de días en cubrir los 90 mm de una caja de petri

como porcentaje, en un rango de 5 a 11 cm diámetro, que es el aceptado a nivel comercial. En el cuadro 3 se presentan los resultados en donde el di-monocarión 1 x 39_9 fue el que presentó mayor número de carpóforos dentro del rango establecido, con el 77%. Le siguió el di-monocarión 3 x 4_1 con el 65 %. Por otro lado, los di-monocariones 9 x 23_1 y 1 x 17_3 presentaron los porcentajes más bajos con solo 48 y 47 % de sus carpóforos dentro del rango, las cepas parentales presentaron del 24 al 56 % de sus carpóforos del tamaño de 5 a 11 cm de diámetro.

la obtención de cepas con mejores características que los parentales, lo que coincide con los resultados de las cepas de *P. djamor* de este estudio.

La producción de micelio abundante y con una velocidad de crecimiento rápido de las cepas de *P. djamor* se logró con el uso del medio HIT y esto permite contribuir en los objetivos de los programas de mejoramiento genético de hongos comestibles del género *Pleurotus* que involucran obtener cepas con características de crecimiento vegetativo que incluya una producción de micelio abundante y algodonoso, así como una

Cuadro 3. Iniciación de la fructificación, producción de hongos frescos, eficiencia biológica y tamaño de los cuerpos fructíferos de los di-minoraciones y las cepas parentales de *P. djamor*.

Cepa	Inicio de la fructificación (días)	Total en 4 cosechas (g)	Eficiencia Biológica Peso húmedo (%)	Eficiencia Biológica Peso seco (%)	Tamaño de carpóforos (5-11 cm) | (%)
9 x 4_1	33 ± 4	170	17 ± 3 a	2.4 ± 0.3 a	53 ± 3
3 x 17_1	22 ± 2	260	26 ± 3 b	3.5 ± 04 b	49 ± 5
9 x 23_1	29 ± 3	300	30 ± 2 b	4.9 ± 0.5 c	48 ± 4
9 x 17_3	28 ± 4	300	30 ± 3 b	2.9 ± 0.3 a	51 ± 3
1 x 17_3	23 ± 0	330	33 ± 2 b	3.4 ± 0.4 b	47 ± 4
1 x 39_9	30 ± 2	370	37 ± 1 c	4.0 ± 0.2 b	77 ± 3
3 x 4_1	25 ± 3	370	37 ±.2 c	4.4 ± 01 c	65 ± 6
9 x 17_1	28 ± 2	370	37 ± 3 c	3.5 ± 0.2 b	54 ± 7
9 x 15_3	29 ± 2	390	39 ± 2 c	3.4 ± 0.3 b	49 ± 5
IBUG-1	22 ± 0	290	29 ± 3.8 b	2.7 ± 0.2 a	56 ± 7
IBUG-3	18 ± 1	300	30 ± 6.3 b	4.9 ± 0.3 c	24 ± 3
IBUG-9	21 ± 2	380	38 ± 0.8 c	3.8 ± 0.2 b	40 ± 4

Discusión

La optimización del cultivo de hongos comestibles requiere del mejoramiento de los procesos de cultivo así como del proceso de mejoramiento genético de las cepas a utilizar. El mejoramiento genético del hongo comestible *Pleurotus* se ha realizado por medio de la recombinación y para ello se realizan cruzas entre micelios monospóricos (Gaitan-Hernandez y Salmones 2008; Pan *et al.*, 2024; Sindhu *et al*., 2024) como es el caso de este trabajo en las cepas de *P. djamor* silvestre del estado de Jalisco. Sin embargo, se han utilizado otras metodologías, como la inducción de mutantes por radiación gamma mutación (Jyothi *et al*., 2021), la fusión de protoplastos (Dhitaphichit y Pornsuriya, 2005; Selvakumar *et al*., 2015) y la producción y combinación de neohaplontes (Ramirez-Carrillo *et al*., 2011), asi como técnicas genéticas moleculares (Tarafder *et al*., 2024). El apareamiento entre micelios dicarioticos y monocarióticos se ha realizado en muy pocas especies de *Pleurotus*, por ejemplo, en *P. eryngii* (Pyung-Gyun *et al*.,2004), *P. ostreatus* (Lee *et al*.,2013, Oh *et al*., 2015, Oh *et al*., 2016), *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* (Shin *et al*., 2014), donde reportan velocidad de crecimiento rápido, que permita una identificación y selección de los mejores genotipos para participar en estos programas de mejoramiento genético (Sindhu, 2024). Otras características importantes a considerar son las que se refieren a los procesos de producción, entre ellos una velocidad de crecimiento rápido que evite la contaminación del sustrato, una producción de cuerpos fructíferos temprana y con ello un periodo de cosecha corto, un rendimiento alto, un tamaño adecuado de las fructificaciones, entre otras características (Sindhu, 2024). Estas características permiten mejorar la información genética de las cepas y reducir los costos de producción y entre ellas se encuentra el periodo corto de producción y el alto rendimiento en la producción de cuerpos fructíferos, como las más buscadas en los programas de mejoramiento genético (Avin e*t al*., 2016). Por tal motivo se obtuvieron cepas di-monocarioticas que presenten características importantes para la producción comercial y su consumo.

De los apareamientos di-monocarioticos entre las cepas IBUG-1 e IBUG-9 el 50 % fueron positivos, lográndo dicariotizar 4 micelios monospóricos de las ocho combinaciones posibles.

Los cruzamientos entre las cepas IBUG-1 e IBUG-3 el 37.5 % fueron positivos y se obtuvieron 3 micelios monospóricos dicariotizados. Con los cruzamientos entre la IBUG-9 e IBUG-3 el 25 % de ellos fueron positivos y se dicariotizaron 2 micelios monospóricos. En total se obtuvieron 9 micelios di-monocarióticos, lo cual sugiere que existen factores de incompatibilidad idénticos que pudieran presentar las cepas parentales (Eugenio y Anderson, 1968). Estos factores evitan el entrecruzamiento entre especímenes de una misma población y fomentan el intercambio de genotipos entre poblaciones distintas (Bresinksy *et al*., 1987).

La velocidad de crecimiento de los di-monocariónes y las cepas parentales fue mayor en el medio HIT (8.02 mm/día y 7.43 mm/día), en comparación con el medio EMA (5.53 mm/día y 3.33 mm/día), a excepción de los di-monocariones 1 x 17_3 y 3 x 17_1 que presentaron una velocidad de crecimiento mayor en el medio EMA. Estos resultados no son consistentes con lo reportado por Salmones *et al*., (1997) que indicaron mayor velocidad de crecimiento de cepas de *P. djamor* en medio EMA, pero además no encontraron una relación entre la velocidad de crecimiento y la eficiencia biológica. A diferencia del medio de cultivo comercial EMA que presenta una composición química simple y definida, el HIT es un medio de cultivo no sintético y complejo que contiene harina de trigo integral que incluye los nutrientes del endospermo, el salvado y el germen lo que ayuda a mejorar el valor nutricional de la harina de trigo blanca (Shevchenko *et al*., 2025) y al estar en el medio proporciona una mejor disponibilidad y distribución de nutrientes necesarios para un mayor crecimiento de las cepas de *P. djamor*.

La velocidad promedio de las cepas parentales fue de 7.43 mm/día en HIT y de 3.33 mm/día en EMA. El di-monocarión 9 x 17_1, fue el que presentó la mayor velocidad de crecimiento en ambos medios de cultivo con 10 mm/día en EMA y 12.9 mm/día en HIT, después de 9 días de incubación en EMA y 7 días en HIT. De las cepas parentales la IBUG-9 fue la que presentó una mayor velocidad de crecimiento de 3.7 mm/día en 24 días en EMA y de 10 mm/día y solo 9 días en HIT. Las cepas dicariotizadas mostraron en promedio una mayor velocidad de crecimiento, en comparación con sus cepas parentales, lo que se ha observado en otros estudios con otras cepas de *P. djamor* (Pan *et al*., 2024) y de *P. ostreatus* (Martínez-Carrera *et al*., 2016; Mohammadi *et al*., 2007). Por otro lado, las cepas parentales presentaron una mejor velocidad de crecimiento y con ello una mejor genética, lo que ayudó a la obtención de micelios di-monocarioticos con mejores velocidades de crecimiento que los parentales, así como los reportados para otras cepas nativas de *P. djamor* de Oaxaca por León-Avendaño *et al*., (2013). En cuanto a su textura, esta fue de lanosa a algodonosa en la mayoría de los casos, lo cual contrasta con un crecimiento micelial escaso y laxo en medios de cultivo a base de maíz o avena (Sindhu *et al*., 2024). Considerando los resultados obtenidos y comparándolos con otros estudios se puede concluir que el medio de cultivo HIT es adecuado para el manejo de cepas de *Pleurotus djamor*, tal como Soto-Velazco *et al*., (1993) lo recomendaron para cepas de *Pleurotus* spp.

Algunos di-monocariones iniciaron la fructificación a los 20 días después de la siembra del micelio en el bagazo de maguey tequilero, pero otros tardaron aproximadamente un mes. Estos tiempos de formación de primordios coinciden con Ahmed (1998), quienes reportan un periodo de tiempo entre 23 y 27 días después de la siembra de *P. djamor* en el sustrato. Este periodo de tiempo es mayor si se compara con paja de arroz como sustrato, en donde se logra la formación de primordios desde los 9 días de siembra (Sindhu *et al*., 2024) o en paja de cebada (Gaitan-Hernández y Salmones, 2016). Con base en lo anterior, a los di-monocariones 1 x 17_3 y 3 x 17_1 se les consideró de fructificación temprana ya que formaron los primordios en un lapso de 20 días, y los di-monocariones 1 x 39_9 y 9 x 4_1 que fructificaron después de 30 días se les consideraron de fructificación tardía.

En relación a la eficiencia biológica, estas fueron muy inferiores, del 17 % al 39 % con base al peso de los carpóforos frescos y de 2.4 % a 4.9 % tomando el peso seco de las fructificaciones. Las cepas parentales mostraron eficiencias biológicas de 29 % a 38 % con base al peso húmedo y de 2.7% a 4.9 % con base al peso seco de los carpóforos. El di-monocarión 9 x 15_3, presentó la eficiencia biológica más alta con 39 %, y le siguieron los di-monocariones 1 x 39_9, 3 x 4_1 y 9 x 17_1 con una eficiencia biológica de 37 % con base al peso fresco de los carpóforos. Estos resultados están dentro de los reportados para *P. djamor* por Gaitán y Salmones (2016), y Jyothi y Thara (2021) y coinciden con los reportados por otros autores en donde identificaron una cepa mejorada por medio de cruzamientos con mejores EB que las cepas parentales (Salmones, *et al*., 1997). Sin embargo, son menores a los obtenidos para *P. ostreatus* y *P. floridanus*, en donde se registran EB de menos de 65% (Guzmán-Dávalos *et al*., 1987, Soto-Velazco *et al*., 2016), o bien a los reportados por Rodríguez *et al*., (1991) en donde emplearon dicariones obtenidos por cruzamientos entre monospóricos y obtuvieron eficiencias biológicas de hasta 42% con base al peso fresco de los carpóforos y bagazo de agave como sustrato. Son muy bajos si se comparan con otros sustratos como es la paja de arroz en donde las EB son mayores al 100% (Sindhu, *et al*., 2024), pero es mayor a la EB de *P. ostreatus* en agave con rastrojo al 20% en donde se logró una EB de 26.4% (Larios-Ulloa y Ramírez-Muñoz, 2024).

Al tomar en cuenta la eficiencia biológica con base al peso seco resulta que los di-monocariones con mayor eficiencia biológicas fueron 9 x 23_1, 3 x 4_1 y 1 x 39_9 con valores de 4.9 %, 4.4 % y 4.0 %. Es importante señalar que, para decir que un di-monocarión posee una eficiencia biológica alta debe tomarse

en cuenta el peso seco de los carpóforos, ya que nos indica la biomasa formada a partir del substrato en que está creciendo. La eficiencia biológica en peso húmedo nos da una idea de la producción de hongos frescos formados, expresados como porcentaje. Sin embargo, la cantidad de agua presente en el cuerpo fructífero, varía de acuerdo a las condiciones del cultivo. Como resultado de esto es mejor analizar la eficiencia biológica de una cepa en un sustrato, con base al peso seco de la biomasa formada.

A nivel comercial la aceptación de los hongos está en gran medida en función de su tamaño, por tal motivo se evaluó el porcentaje del tamaño que presentaron los carpóforos de los di-monocariones y se comparó con los de las cepas parentales y/o dicariotizantes. Se encontró que algunos di-monocariones superan el porcentaje de los parentales, tal es el caso del 1 x 39_9 que tuvo hasta un 77 % de carpóforos en un promedio de 5 a 11 cm de diámetro, y el 3 x 4_1 con el 65 %. En cambio, los parentales presentaron del 24% hasta 56% de carpóforos con un tamaño adecuado para el comercio. Estos resultados coinciden con Gaitán y Salmones (2016), donde encontraron una mayor frecuencia de cuerpos fructíferos con un tamaño entre 5 y 10 cm.

Conclusión

En conclusión, los mejores di-monocariones que se lograron obtener fueron 3 x 4_1, 1 x 39_9 y 9 x 23_1, en cuanto a la eficiencia biológica obtenida y el mayor porcentaje de carpóforos con tamaño adecuado. Con base a los resultados obtenidos podemos decir que el empleo de este método para la selección de cepas de *Pleurotus djamour*, resultó adecuado, por lo que se sugiere realizar más estudios que apoyen estos y otros resultados. Asimismo, por este método se podrían obtener cepas con una alta eficiencia biológica, al realizar apareamientos con cepas con características deseables o en el mejor de los casos combinar características como una fructificación temprana, hongos carnosos y de tamaño idóneo, con mayor porcentaje de proteína, cepas resistentes a altas o bajas temperaturas, a plagas y enfermedades, etc. Por otro lado, este estudio reveló, que dentro de las cepas estudiadas, se tenían poblaciones con genomas relacionados, por la presencia de factores comunes y poblaciones genéticamente diferentes. Dichas poblaciones diferentes son las que deben ser estudiadas profundamente, en busca de características de índole práctica, las cuales podrían conjuntarse en una o varias cepas, a través de apareamientos dicarión-monocarión.

Literatura citada

- Ahmad, I., Fuad, Z. K. K., y Khan, I. (2015). Mycelia Growth of Pink Oyster (*Pleurotus djamor)* Mushroom in Different Culture Media y Environmental Factors. *Agriculture and Food Sciences Research, 2*, 6-11.
- Ancona, L., Medina, S., y Cetz, G. (2005). Preferencia en el consumo de Pleurotus djamor en Baca, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Micología, 20*, 39-44. https://doi.org/10.33885/sf.2005.3.939
- Avin, F. A., Bhassu, S., Rameeh, V., Rameeh, Y. S., y Vikineswary, S. (2016). Genetics and hybrid breeding of Pleurotus pulmonarius: heterosis, heritability and combining ability. *Euphytica, 209*, 85–102. https://doi.org/10.1007/s10681-016-1638-x
- Bresinsky, A., Fisher, M., Meixner, B., y Paulus, W. (1987). Speciation in *Pleurotus*. *Mycologia, 79*(2), 234–245. https://doi.org/10.2307/3807657
- Cedano, M., Martínez, M., Soto-Velazco, C., y Guzmán-Dávalos, L. (1993). Pleurotus ostreatoroseus (Basidiomycotina. Agaricales) in Mexico and its growth in agroindustrial wastes. *Cryptogamy Botany, 3*, 297-302.
- Cetz, G., Ancona, L., y Belmar, R. (2016). Cultivo de *Pleurotus djamor* en rastrojo de calabaza. *Scientia Fungorum, 3,* 41–43. https://doi.org/10.33885/sf.2000.3.900
- Dhitaphichit, P., y Pornsuriya, C. (2005). Protoplast fusion between *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 27*, 975–982.
- Eger, G. (1978). Biology and breeding of Pleurotus. En S. T. Chang y W. A. Hayes (Eds.), *The biology and cultivation of edible mushrooms* (pp. 497–519). Academic.
- Eugenio, C. P., y Anderson, N. A. (1968). The genetics y cultivation of Pleurotus ostreatus. Mycologia, 60(3), 627-634. https://doi.org/10.2307/3757430
- Gaitán-Hernández, R., y Salmones, D. (2008). Obtaining and characterizing Pleurotus ostreatus strains for commercial cultivation under warm environmental conditions. *Scientia Horticulturae, 118*(2), 106-110. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.05.029
- Gaitán-Hernández, R., y Salmones, D. (2016). Análisis de la producción de cepas de *Pleurotus djamor*. *Scientia Fungorum, 3,* 115–118. https://doi.org/10.33885/sf.1999.3.891
- Gharehaghaji, A. N., Goltapeh, E. M., Masiha, S., y Gordan, H. R. (2007). Hybrid Production of Oyster Mushroom Pleurotus ostreatus (Jacq: Fries) Kummer. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 10*(14), 2334-2340. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.2334.2340
- Guzmán, G., y Martínez-Carrera, D. (1985). Planta productora de hongos comestibles sobre pulpa de café. *Ciencia y Desarrollo* (CONACYT), 65, 41-48.
- Guzmán-Dávalos, L., Martínez-Carrera, D., Morales, P., y Soto, C. (1987). El cultivo de hongos comestibles (Pleurotus) sobre el bagazo del maguey de la industria tequilera. *Revista Mexicana de Micología, 3*, 47-49. https://doi.org/10.33885/sf.1987.3.685
- Huerta, G., Martínez-Carrera, M. D., y Leal-Lara, H. (2009). Grupos de interesterilidad y productividad de cepas de Pleurotus de regiones tropicales y subtropicales de México. *Scientia Fungorum, 3*(30), 31–42. https://doi.org/10.33885/sf.2009.3.1052
- Jain, S. K., Gujral, G. S., Bisaria, R., y Vasudevan, P. (1988). Cultivation of Pleurotus sajor-caju on aquatic weeds. *Aquatic Botany, 30*(3), 245-251. https://doi.org/10.1016/0304-3770(88)90055-1
- James, T. Y., Shian-Ren, L., y Vilgalys, R. (2004). The genetic structure and diversity of the A and B mating-type genes from the tropical oyster mushroom, *Pleurotus djamor*. *Fungal Genetics and Biology, 41*(9), 813-825. https://doi.org/10.1016/j.fgb.2004.04.005
- Jyothi, K. R., y Thara, S. S. (2021). Development of improved strain in species of Pleurotus by gamma irradiation. *Journal of Food Science and Technology, 58*(9), 3540–3547. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05059-8
- Kalmis, E., Azbar, N., y Kalyoncu, F. (2008). Evaluation of two wild types of Pleurotus ostreatus (MCC07 and MCC20) isolated from nature for their ability to decolorize Benazol Black ZN textile dye in comparison to some commercial types of white rot fungi: Pleurotus ostreatus, *Pleurotus djamor*, and Pleurotus citrinopileatus. *Canadian Journal of Microbiology, 54*(5), 366-370. https://doi.org/10.1139/W08-025
- Larios-Ulloa, M., y Ramírez-Muñoz, D. (2024). Bagazos de Agave tequilana, A. angustifolia y A. salmiana Para Cultivo Del Hongo *Pleurotus ostreatus. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15*(7), e3394. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i7.3394
- Lee, J., Han, Y., y Cheong, J. (2013). Characteristics of a new cultivar "Hwaseong 5ho" in *Pleurotus ostreatus. Journal of Mushroom, 11*(4), 244–248.
- León-Avendaño, H., Martínez-García, R., Caballero Gutiérrez, P., y Martínez-Carrera, D. (2013). Caracterización de dos cepas de *Pleurotus djamor* nativas de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4*(spe6), 1285-1291. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.129
- López, E. H., Ancona, L., y Medina-Peralta, S. (2016). Cultivo de *Pleurotus djamor* en condiciones de laboratorio y en una casa rural tropical. *Scientia Fungorum, 3*(21), 93–97. https://doi.org/10.33885/sf.2005.3.962
- Martínez Carrera, D., Sobal, M., y Quirarte, M. (2016). Obtención y caracterización de híbridos de cepas mexicanas de *Pleurotus ostreatus*. *Scientia Fungorum, 3(*2), 227–238. https://doi.org/10.33885/sf.1986.3.679

- Mata, G., y Perez-Merlo, R. (2003). Spawn viability in edible mushrooms after freezing in liquid nitrogen without a cryoprotectant. *Cryobiology, 47*(1), 14-20. https://doi.org/10.1016/S0011-2240(03)00064-6
- Oh, M. J., Kim, E. J., Jung, J. H., Shin, P. G., Kim, E. S., Oh, Y. L., Jang, K. Y., y Kong, W. S. (2015). Characterization of a new commercial strain "Mongdol" by intra-specific hyphal anastomosis in *Pleurotus ostreatus. Journal of Mushroom, 13*(3), 212–216. https://doi.org/10.14480/JM.2015.13.3.212
- Oh, M. J., Shin, P. G., Oh, Y. L., Jang, K. Y., Sung-I, W., y Won-Sik, K. (2016). Characteristics and breeding of a new cultivar of *Pleurotus ostreatus* "Soltari". *Journal of Mushroom, 14*(4), 202–206. https://doi.org/10.14480/JM.2016.14.4.202
- Pan, J., Zhang, J., Wei, H., Liu, Q., Xu, W., y Bao, Y. (2024). Optimizing mycelial protein yield in *Pleurotus djamor* via ARTP mutagenesis and hybridization strategies. *Journal of Biotechnology, 386,* 64-71. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2024.03.008
- Pyung-Gyun, S., Young-Bok, Y., Won-Sik, K., Chang-Hyun, Y., y Se-Jong, O. (2004). Characterization of intraspecific hybrids by di-mon crossing in *Pleurotus eryngii. Journal of Mushroom, 2*, 109–113.
- Ramirez-Carrillo, R., Marroquin-Corona, C., Leal-Lara, H., Savoie, J. M., Foulongne-Oriol, M., Largeteau, M., y Barroso, G. (2011). Strain improvement of edible fungi with Pleurotus eryngii neohaplonts. En *Proceedings of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products* (pp. 62–70). Institute National de la Recherche Agronomique (INRA).
- Raper, J. R. (1966). *Genetics of Sexuality in Higher Fungi.* Ronald Press.
- Rodríguez, O., Soto-Velazco, C., y Villaseñor, L. (1991). Evaluación de la producción de carpóforos de dicariones de *Pleurotus ostreatus* en bagazo de maguey tequilero. En IV Congreso Nacional de Micología (resúmenes).
- 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., Mata, G., y Waliszewski, K. N. (2005). Comparative culturing of Pleurotus spp. on coffee pulp y wheat straw: biomass production y substrate biodegradation. *Bioresource Technology, 96*(4), 537-544. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.019
- Salmones, D., Mestizo-Valdéz, L., y Gaitán-Hernández, R. (2016). Entrecruzamiento y evaluación de la producción de las variedades de *Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn. *Scientia Fungorum, 3*(18), 21–26. https://doi.org/10.33885/sf.2004.3.910
- Salmones, D., Gaitán-Hernández, R., Pérez, R., y Guzmán, G. (1997). Studies on genus *Pleurotus*. VIII. Interaction between mycelial growth and yield. *Revista Iberoamericana de Micología, 14*, 173-176.
- Sanchez-Hernández, A., Valenzuela Cobos, J. D., Herrera, J., Villanueva, R., Gomez, Y., Zarate, P., Garín, M., Leal, H., y Valencia, G. (2019). Characterization of *Pleurotus djamor* neohaplonts recovered by production of protoplasts and chemical dedikaryotization. *3 Biotech, 9*, 24. https://doi.org/10.1007/s13205-018-1532-4
- Selvakumar, P., Rajasekar, S., Babu, A. G., Periasamy, K., Raaman, N., y Reddy, M. S. (2015). Improving biological efficiency of Pleurotus strain through protoplast fusion between P. ostreatus var. florida and *P. djamor* var. roseus. *Food Science and Biotechnology, 24*, 1741–1748. https://doi.org/10.1007/s10068-015-0226-5
- Sharp, R. F. (1978). *Investigative Mycology*. Heinemenn Educational Books.
- Shevchenko, A., Drobot, V., Litvynchuk, S., y Galenko, O. (2025). Application of Lamium album Leaves Powder in Wheat Bread Technology. *Plant Foods for Human Nutrition, 80*, 106. https://doi.org/10.1007/s11130-025-01328-5
- Shin, P.-G., Yoo, Y.-B., Kong, W.-S., y Oh, Y.-L. (2014). Characteristics and breeding of a new cultivar Pleurotus eryngii var. ferulae, "Beesan No. 1". *Journal of Mushroom, 12*(1), 52–57. https://doi.org/10.14480/JM.2014.12.1.52
- Sindhu, S., Theradimani, M., Vellaikumar, S., Paramasivam, M., y Ramamoorthy, V. (2024). Development of novel rapid-growing and delicious *Pleurotus djamor* strains through hybridization. *Archives of Microbiology, 206*, 13-24. https://doi.org/10.1007/s00203-023-03739-x
- Soto-Velazco, C., Guzmán-Dávalos, L., y Villaseñor, L. (1991). Substrates for cultivation of *Pleurotus* in Mexico, I. Tequila maguey bagasse *(Agave tequilana). Mushrooms Journal for the Tropics, 11,* 29-33.
- Soto-Velazco, C., Arias, A., y Fausto, S. (1993). Cultivo de Pleurotus spp. en diversos medios de cultivo sencillos. En *Memorias I Simposio Latinoamericano de Micología.*
- Soto-Velazco, C., Arias, A., y Fausto, S. (1993). Efectividad de bolsas de polipapel para la elaboración de inoculo de *Pleurotus, Lentinus y Auricularia,* en comparación con otros materiales. *Boletín IBUG, 1,* 347-354.
- Soto-Velazco, C., Guzmán-Dávalos, L., y Rodríguez, O. (2016). Cultivo del hongo comestible Pleurotus ostreatus sobre bagazo de maguey tequilero fermentado y mezclado con paja de trigo. *Scientia Fungorum, 3*(5), 92–101. https://doi.org/10.33885/sf.1989.3.743
- Tarafder, E., Nizamani, M. M., Karunarathna, S. C., Karunarathna, D., Das, X., Zeng, R. A., Rind, R. A., Wang, Y., y Tian, F. (2024). Advancements in genetic studies of mushrooms: a comprehensive review. *World Journal of Microbiology and Biotechnology, 40*, 275. https://doi.org/10.1007/s11274-024-04079-8

- Tchierpe, H. J., y Hartman, K. (1977). A comparison of different growing methods. *Mushroom Journal, 60*, 404-416.
- Valencia del Toro, G., Garín-Aguilar, M. E., Téllez-Jaimes, M. A., y Durán-Páramo, E. (2008). Actividad antibacteriana de extractos hexánicos de cepas de *Pleurotus djamor. Scientia Fungorum, 3*(28), 119–123. https://doi.org/10.33885/sf.2008.3.1038
- Valencia del Toro, G., y Leal-Lara, H. (1999). Estudios de compatibilidad entre cepas de *Pleurotus* spp. con cuerpos fructíferos de diversos colores. *Scientia Fungorum, 3*(15), 65–71. https://doi.org/10.33885/sf.1999.3.885
- Valencia del Toro, G., y Leal-Lara, H. (2002). Fruit body color in *Pleurotus* spp. hybrid strains obtained by matings of compatible neohaplonts. En *Proceedings of the 4th international conference on mushroom biology and mushroom products* (pp. 151–159).
- Watanabe, T. (2010). *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: morphologies of cultured fungi and key to species.* CRC Press.