



Aislamiento y desarrollo micelial de cepas silvestres de *Agaricus bisporus* (JE Lange) Imbach en la Región del Cusco

Citación: Aguilar *et al.* (2023). Aislamiento y desarrollo micelial de cepas silvestres de *Agaricus bisporus* (JE Lange) Imbach en la Región del Cusco Rev. Q'EUÑA 14(1): 35-40

<https://doi.org/10.51343/rq.v14i1.1152>

Recibido: 14-04-2023

Aceptado: 25-05-2023

Publicado: 29-06-2023

Copyright: © 2023 Aguilar *et al.* Este es un artículo de acceso abierto revisado por pares y publicado por la Revista Q'EUÑA de la Sociedad Botánica del Cusco y la UNSAAC (<http://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/RQ>) y distribuido bajo los términos de la licencia de atribución Creative Commons, que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Declaración de disponibilidad de datos: Todos los datos relevantes están dentro del documento y sus archivos de información de respaldo.

Conflicto de intereses: Los autor declaran no tener ningún conflicto de interese.

Frank B. Aguilar Mainicta¹, María E. Holgado Rojas¹, Anahi Cardona-Rivero², Magaly Villena-Tejada², Karina Vera Ferchau², Ivan C. Best Cuba³, Yesica M. Huayta Tintaya², Karlheni M. Portillo Guizado², Gladys Florez Huanca², Erik E. Flores Perez².

¹ Escuela Profesional de Biología, Centro de Investigación y Producción de Hongos Alimenticios y Medicinales – CIPHAM, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Avenida de la Cultura 733, Cusco, Perú.

² Escuela Profesional de Farmacia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. La Cultura 733, Cusco, Perú.

³ Ingeniería Agroindustrial y de Agronegocios – USIL- Centro Internacional

Abstract

The isolation of strains was carried out from wild specimens of *Agaricus bisporus* collected in 5 localities of the Cusco region belonging to the provinces of Anta and Cusco, obtaining 6 wild strains coded as: Ag01, Ag02, Ag03, Ag04, Ag05 and Ag06, which are stored in the CIPHAM and strain bank of the Sociedad de Micología Aplicada del Cusco - IIFAA. Subsequently, the mycelial characterization was carried out, obtaining the following characteristics as fashion: white mycelium on the obverse, pinkish cream on the reverse, irregular, flat shape, with a lobed filiform margin, velvety texture, medium density, with few aerial hyphae and with regular abundance of rhizomorphs. In addition, an outstanding characteristic in some strains was the presence of mycelial conglomerates with production of brown exudates. On the other hand, the comparative evaluation of the growth rate of the strains in 6 culture media was carried out: potato dextrose agar (PDA), PDA + yeast extract (PDAY), PDA + peptone (PDAp), malt extract agar (EMA), EMA + yeast extract (EMAY) and EMA + peptone (EMAp). The best results were presented in the EMA culture medium with the Ag03 strain (3.07 mm/day) originating from C.P. Compone, province of Anta, Cusco Region.

Keywords: *Agaricus bisporus*, Cusco, wild strains, mycelial development.

Resumen

Se realizó el aislamiento de cepas a partir de especímenes silvestres de *Agaricus bisporus* colectadas en 5 localidades de la región del Cusco pertenecientes a las provincias de Anta y Cusco, obteniendo 6 cepas silvestres codificadas como: Ag01, Ag02, Ag03, Ag04, Ag05 y Ag06, las cuales se encuentran almacenadas en el CIPHAM y banco de cepas de la Sociedad de Micología Aplicada del Cusco - IIFAA. Posteriormente se realizó la caracterización micelial, obteniendo como moda las siguientes características: micelio de color blanco en el anverso, crema rosácea en el reverso, de forma irregular, plana, de margen filiforme lobulada, textura aterciopelada, densidad media, con pocas hifas aéreas y con regular abundancia de rizomorfos. Además, una característica sobresaliente en algunas cepas fue la presencia de conglomerados miceliales con producción de exudados de color café. Por otro lado, se realizó la evaluación comparativa de la velocidad de crecimiento de las cepas en 6 medios de cultivo: papa dextrosa agar (PDA), PDA + extracto de levadura (PDAY), PDA + peptona (PDAp), extracto de malta agar (EMA), EMA + extracto de levadura (EMAY) y EMA + peptona (EMAp). Los mejores resultados se presentaron en el medio de cultivo EMA con la cepa Ag03 (3.07 mm/día) originaria del C.P. Compone de la provincia de Anta, Región del Cusco.

Palabras clave: *Agaricus bisporus*, Cusco, cepas silvestres, desarrollo micelial.

Introducción

Las especies del género *Agaricus* L. son hongos saprófitos conocidos como “hongos de pradera”, están representadas por taxones comestibles así como venenosos, se los puede encontrar en el suelo de bosques, en césped, praderas, montones de estiércol y restos de madera (He, y otros, 2018). *Agaricus bisporus* (JE Lange) Imbach es la especie más representativa del género y comúnmente es llamada champiñón, conocido por su

Autor Corresponsal:

Frank B. Aguilar Mainicta

frank_bio2010I@hotmail.com

Frank B. Aguilar Mainicta

frank_bio2010I@hotmail.com

– ORCID: 0000-0002-4024-9594

María E. Holgado Rojas

encarnacion.holgador@unsaac.edu.pe

– ORCID: 0000-0002-2285-8679

Anahi Cardona-Rivero

anahi.cardona@unsaac.edu.pe

– ORCID: 0000-0001-6397-9162

Magaly Villena-Tejada

magaly.villena@unsaac.edu.pe

– ORCID: 0000-0003-4756-0251

Karina Vera Ferchau

karina.vera@unsaac.edu.pe

– ORCID: 0000-0002-8073-392X

Ivan C. Best Cuba

ibest@usil.edu.pe

– ORCID: 0000-0001-6009-6575

Yesica M. Huayta Tintaya

124250@unsaac.edu.pe

– ORCID: 0009-0003-6594-2744

Karlheni M. Portillo Guizado

124252@unsaac.edu.pe

– ORCID: 0009-0007-2297-1595

Gladys Florez Huanca

140268@unsaac.edu.pe

– ORCID: 0009-0009-8527-8194

Erik E. Flores Perez

131703@unsaac.edu.pe

– ORCID: 0009-0001-8702-742X

comestibilidad y su amplia distribución en el mundo. (Zhang, y otros, 2023). A finales del siglo pasado se creía que las poblaciones de *A. bisporus* silvestres se restringían al continente europeo (Savoie, Foulongne-Oriol, Barroso, & Callac, 2013), posteriormente en la década de 80's la distribución se extendió a Norte-américa y Asia (Callac, Theochari, & Kerrigan, 2002) y en 2016 a Centro-américa (Mata, Medel, Callac, Billette, & Garibay-Orijel, 2016). Recientemente se registró en estado silvestre en la sierra norte del Perú (Roncal & Roncal, 2019).

A. bisporus es el hongo comestible más cultivado en el mundo (Amin, Wani, Gulzar, Dar, & Sheikh, 2021) y con la mayor importancia económica, representando el 61.8 % de la producción mundial con un valor estimado de 28 500 millones de USD en 2020 (Grand view research, 2022) y una producción de 4.43 billones de kg para el 2013 (Royse, Baars, & Tan, 2017). El cultivo de *A. bisporus* en Latinoamérica inició en México en 1933, para posteriormente desarrollarse progresivamente en otros países (Lahmann, 2007). En Perú se introdujo en la década de los 60's por parte de la empresa "Compass", posteriormente en los 80's se alcanzó la producción a nivel industrial por parte de las empresas "Agrícola la Chacra" y "Paccu S.A." (Chimey & Holgado, 2010). Para el 2006 la producción alcanzó las 1080 toneladas con 4 plantas en operación, representando tan solo el 1.6 % del total producido en Latinoamérica (Lahmann, 2007). Esta producción se basa en cepas obtenidas de laboratorios extranjeros como el de la Universidad de Pennsylvania, E.U.A. (Chimey & Holgado, 2010).

Por otro lado, debido al incremento en la población mundial el interés por el cultivo y posterior consumo de hongos ha aumentado progresivamente (Usman, Murtaza, & Ditta, 2021). *A. bisporus* representa un recurso importante para combatir la desnutrición debido a sus altos niveles en nutrientes: fibra dietética (quitina), aminoácidos esenciales, ácidos grasos insaturados, proteínas de fácil digestión, esteroides, compuestos fenólicos e indólicos, vitaminas (provitamina D2, B1, B2, B6, B7 y C) y minerales (Se, Zn, Mg, Cu, Fe, K, Na, Ca, P, S y Mn) (Atila, Owaid, & Shariati, 2017) (Muszyńska, Kała, Rojowski, Grzywacz, & Opoka, 2017). Además, existen diferentes estudios que confirman el uso prometedor de los principios activos aislados de *A. bisporus* contra algunas enfermedades mortales (Usman, Murtaza, & Ditta, 2021). Principios activos como: polisacáridos, lipopolisacáridos, péptidos, glicoproteínas, nucleósidos, triterpenoides, lectinas, y sus derivados; confieren propiedades antimicrobianas, anticancerígenas, antidiabéticas, antihipercolesterolemias, antihipertensivas, hepatoprotectoras y antioxidantes a los carpóforos de *A. bisporus* (Atila, Owaid, & Shariati, 2017) (Muszyńska, Kała, Rojowski, Grzywacz, & Opoka, 2017).

Las cepas silvestres de hongos comestibles son fuentes prometedoras de mejoras genéticas para el germoplasma utilizado en cultivos comerciales, este aspecto ha sido desarrollado en los últimos años para *A. bisporus* (Sattar, y otros, 2021). Se sabe que las cepas silvestres de *A. bisporus* presentan mejores características que el germoplasma cultivado: más alto contenido nutricional (Zheng, y otros, 2021), mayor resistencia frente a enfermedades que afectan

a la productividad (Fu, y otros, 2016) (Muhammad, y otros, 2019), mejor calidad morfológica de los carpóforos (Gao W., y otros, 2016), mayor capacidad de desarrollo en condiciones ambientales y materias primas locales (Rukaibaa, 2020) (Salmones, Gaitan-Hernandez, & Mata, 2018) (Navarro & Savoie, 2015). Sin embargo, a pesar de la amplia distribución de *A. bisporus* la diversidad no se ve representada por el germoplasma conservado (Savoie, Foulongne-Oriol, Barroso, & Callac, 2013), razón por lo cual es necesario un mayor número de accesiones de los especímenes silvestres disponibles en el mundo (Kamal, Sharma, Gupta, Barh, & Singh, 2019).

La evaluación del desarrollo micelial in vitro de cepas es un factor importante para los programas de selección y mejoramiento de germoplasma (Prakasam & Singh, 2008). La búsqueda de las condiciones óptimas para el crecimiento micelial es un prerrequisito para el cultivo comercial; por lo cual se consideran factores como el tipo de medio de cultivo, la temperatura, el pH, etc. (De Andrade, Chavari, Minhoni, & Zied, 2010). Por ello, en el presente estudio se realizó el aislamiento y la evaluación del desarrollo micelial de cepas silvestres de *A. bisporus* originarias de la Región Cusco, aportando de esta forma al conocimiento del germoplasma mundial.

Materiales y métodos

El aislamiento de cepas silvestres se realizó a través de la extracción de porciones de contexto de basidiomas de *A. bisporus* colectados, los cuales fueron inoculados en placas Petri con medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar) y EMA (Extracto de Malta Agar), para posteriormente ser incubados a 25 °C (Martínez-Carrera, y otros, 2001).

Para la caracterización micelial se consideraron las siguientes características morfológicas: color (anverso y reverso), forma de colonia, elevación, textura y densidad, presencia de hifas aéreas, presencia de rizomorfos y velocidad de crecimiento en mm/día (Cepero, Restrepo, Franco, Cárdenas, & Vargas, 2012).

Además, se evaluó comparativamente la velocidad de crecimiento considerando como factores a las cepas silvestres aisladas, una cepa comercial de *A. bisporus* y seis medios de cultivo: PDA, PDA + extracto de levadura (PDAY), PDA + peptona (PDAp), EMA, EMA + extracto de levadura (EMAY) y EMA + peptona (EMAp).

La cepa comercial de *A. bisporus* correspondió a una cepa de la variedad *brunnescens* del banco de cepas del Centro de Investigación y Producción de Hongos Comestibles y Medicinales (CIPHAM) de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), codificada como CIPHAM 079.

Se realizaron pruebas estadísticas de análisis de varianza (ANOVA) y de comparación de medias de Tukey HSD con un nivel de significancia de $p=0.05$ para las medias de velocidad de crecimiento obtenidas con los factores en estudio, con la ayuda del programa IBM SPSS v.25.

Resultados y discusión

Se colectaron especímenes de *A. bisporus* silvestres en 5 localidades de la Región del Cusco: C.P. Inquilpata, C.P. Zurite (figura 1,2), C.P. Compone (pertenecientes a la provincia de Anta), Granja Kayra y Ciudad Universitaria de Perayoc (pertenecientes a la provincia de Cusco). A partir de los cuales se lograron aislar 6 cepas codificadas como: Ag01, Ag02, Ag03, Ag04, Ag05 y Ag06 (Tabla 01).



Figura 1 y 2: Especímenes silvestres colectados en el C.P. Zurite (Ag06); 1: Vista lateral, 2: Detalle del himenio.

Tabla 01: Lugares de colecta de las cepas aisladas

CEPA	HÁBITAD	LOCALIDAD ORIGEN
Ag01	Humícola, a borde de carretera.	C.P. Inquilpata
Ag02	Terrícola, en pradera	Granja Kayra – UNSAAC
Ag03	Terrícola, en muro de corral de ganado vacuno	C.P. Compone
Ag04	Terrícola, en área verde (camellón)	Ciudad Universitaria de Perayoc – UNSAAC
Ag05	Terrícola, en área verde (camellón)	Granja Kayra – UNSAAC
Ag06	Humícola, en zona de pastoreo	C.P. Zurite

Las caracterizaciones morfológicas de las cepas en diferentes medios presentaron como moda un micelio de color blanco en el anverso, crema rosácea en el reverso, (Figura 3,4) de forma irregular, plana, de margen filiforme lobulada, textura aterciopelada, densidad media, con pocas hifas aéreas y con regular abundancia de rizomorfos concordando con las observaciones de (Albertó, 1995). En ocasiones el micelio formó conglomerados densos de aspecto algodónoso compacto que por lo general producen exudados de color café, (Figura 5,6,7) siendo signos de un desarrollo micelial vigoroso y adecuado (Vaca, 2009).

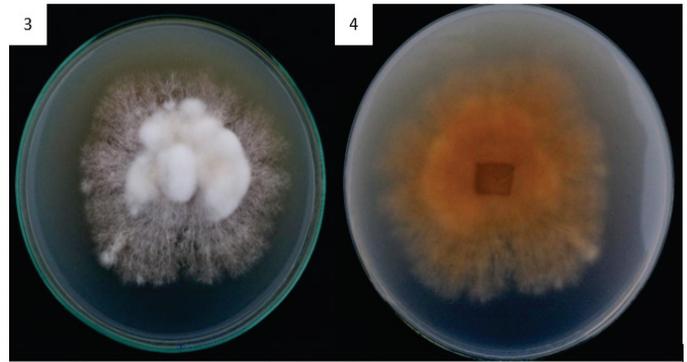


Figura 3 y 4: Desarrollo micelial de cepa Ag04 en medio PDA; 3: anverso, 4: reverso



Figura 5, 6 y 7: Detalles de la morfología micelial de las cepas silvestres; 5: rizomorfo, 6: conglomerados miceliales y 7: exudados.

Tabla 02: Velocidad de crecimiento (mm/día) de cepas silvestres en diferentes medios de cultivo.

CEPA	MEDIO DE CULTIVO						Prom.
	PDA	PDAy	PDAp	EMA	EMAY	EMAp	
Ag01	2.10	2.00	2.11	2.77	2.17	2.08	2.21
Ag02	1.77	1.74	1.50	2.11	2.10	1.69	1.82
Ag03	3.03	2.09	1.63	3.20	2.84	1.79	2.43
Ag04	2.66	2.34	2.11	2.78	2.11	1.87	2.31
Ag05	1.40	1.21	1.04	2.65	1.76	1.45	1.59
Ag06	2.12	1.77	1.79	2.55	2.07	1.56	1.98
CIPHAM 079	1.80	1.69	1.92	2.74	2.58	2.62	2.23
Promedio	2.13	1.83	1.73	2.69	2.23	1.87	2.08

En cuanto a la comparación entre medios de cultivo, EMA presentó la velocidad de crecimiento promedio más alta: 2.66 mm/día (Figura 8), presentando los mejores resultados para todas las cepas y siendo estadísticamente diferente a los otros medios de cultivo. Ulteriormente se hallan los resultados de EMAY y PDA con 2.22 y 2.11 mm/día respectivamente. En comparativa con estudios previos realizados con cepas silvestres de *A. bisporus* alrededor del mundo, se reportaron los mejores resultados con EMA en un rango entre 1.2 y 3.7 mm/día frente a medios de cultivo como PDA, EMAY y CYM (medio completo de extracto de levadura, por sus siglas en ingles) (Salmones, Gaitan-Hernandez, & Mata, 2018) (Martínez-Carrera, y otros, 2001), además en un estudio realizado con diferentes fuentes nutritivas de carbono se obtuvieron buenos resultados con almidón (2.46 mm/día) y maltosa (2.18 mm/día), principales componentes de PDA y EMA respectivamente (Yan, Chuyu, & Xianjun, 2014). Contrariamente también fue reportado un desarrollo poco eficiente en EMA y MPA (Agar Peptona de Malta)

con 1 mm/día (Hildén, Mäkelä, Lankinen, & Lundell, 2013). Por otro lado, con respecto a la comparación entre cepas, la cepa Ag03 presentó la velocidad de crecimiento promedio más alta con: 2.40 mm/día, sin embargo, este resultado es estadísticamente igual con Ag04, CIPHAM 079, Ag01, y Ag06; con 2.32, 2.24, 2.20 y 1.97 mm/día respectivamente (Figura 9), de acuerdo a los resultados obtenidos por la comparación de medias de Tukey HSD. (Salmones, Gaitan-Hernandez, & Mata, 2018) reportaron resultados elevados de crecimiento micelial de dos cepas silvestres frente a cepas de uso comercial obtenidos en diferentes medios de cultivo. A pesar de no obtener resultados similares en el presente estudio, los resultados muestran el potencial de las cepas silvestres originarias de la Región del Cusco frente a la cepa comercial CIPHAM 079.

Un análisis de varianza ANOVA factorial demostró que existe interacción entre los dos factores en estudio (cepa y medio de cultivo), todas las cepas muestran disminución en su velocidad cuando los medios son suplementados con extracto de levadura y peptona (Figura 10). Este resultado concuerda con lo observado por (Salmones, Gaitan-Hernandez, & Mata, 2018) (Martínez-Carrera, y otros, 2001), sin embargo, en comparación con las velocidades de crecimiento obtenidas con diferentes fuentes nutritivas de nitrógeno como son extracto de levadura (4.38 mm/día) y peptona (3.83 mm/día) (Yan, Chuyu, & Xianjun, 2014), se observa un comportamiento opuesto a lo observado.

Los resultados muestran la influencia de la cepa en estudio para la obtención de las diferentes características en el desarrollo micelial (De Andrade, Zied, Minihoni, & Filho, 2008). Por otro lado, es importante resaltar la necesidad de explorar el comportamiento de las cepas en medios de cultivo alternativos como CEA (extracto de compost agar) y WA (Salvado de trigo agar, por sus siglas en inglés), los cuales presentaron excelentes resultados con cepas silvestres (Salmones, Gaitan-Hernandez, & Mata, 2018) (Hildén, Mäkelä, Lankinen, & Lundell, 2013) (De Andrade, Chavari, Minihoni, & Zied, 2010)

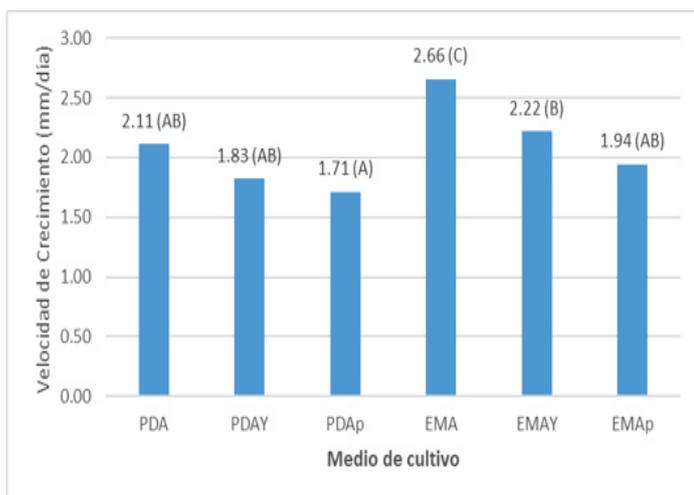


Figura 8: Comparación de velocidades de crecimiento micelial entre medios de cultivo

PDA: Papa dextrosa agar, PDAY: PDA + extracto de levadura, PDAp: PDA + peptona, EMA: Extracto de malta Agar, EMAY: EMA + extracto de levadura, EMAp: EMA + peptona.

Se presentan los subconjuntos homogéneos resultado de la prueba ANOVA con letras entre paréntesis

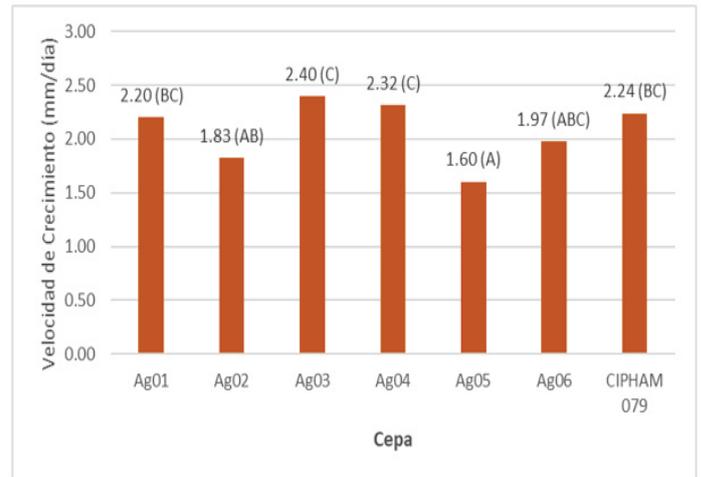


Figura 9: Comparación de velocidades de crecimiento micelial entre cepas de *A. bisporus*.

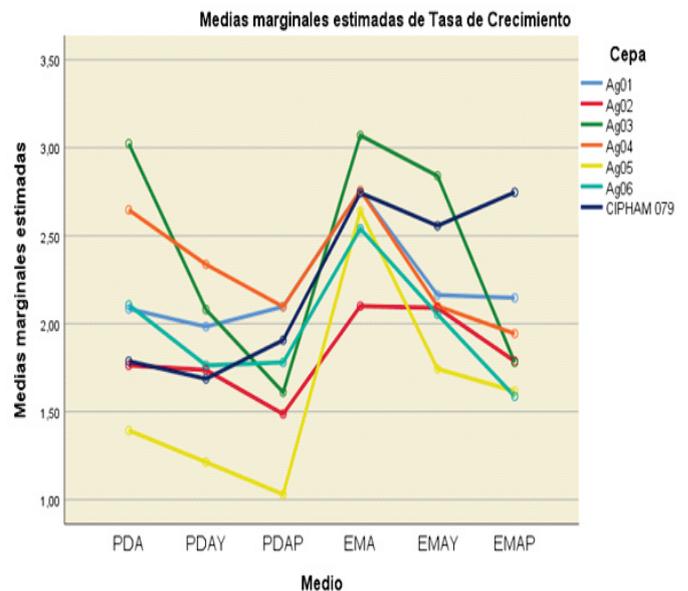


Figura 10: Comparación de medias marginales estimadas de velocidad de crecimiento micelial, considerando como factores el medio de cultivo y la cepa.

Conclusión

Se aislaron seis cepas de *Agaricus bisporus* de origen silvestre que aportaran al banco de germoplasma mundial para el mejoramiento de cepas cultivadas. La morfología micelial de las cepas es concordante con reportes previos para la especie, mientras la mejor velocidad de crecimiento se obtuvo en medio de cultivo EMA con la cepa silvestre Ag03 (3.07 mm/día) originaria del C.P. Compone de la provincia de Anta, Región Cusco.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) por el financiamiento a través del convenio CONCYTEC–UNSAAC, según contrato de subvención N° 002-2020-UNSAAC, del Esquema Financiero E041-2019-UNSAAC-01 denominado Proyectos de Investigación “ Programa Yachayninchis Wiñarinanpaq”

Bibliografía

- Albertó, E. (1995). *Estudio taxonómico, de cultivo axenico y posibilidad de adaptación al cultivo industrial, de las especies silvestres del género Agaricus (basidiomycetes, agaricales)*. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Obtenido de http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2723_Alberto.pdf
- Amin, Z., Wani, F. F., Gulzar, H., Dar, W. A., & Sheikh, P. A. (2021). Diseases of White Button Mushroom (*Agaricus bisporus*)- A Potential Threat to Mushroom Industry. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(02): 2076-2085.
- Atila, F., Owaid, M., & Shariati, M. (2017). The nutritional and medical benefits of *Agaricus Bisporus*: A review. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(3), 281-286.
- Callac, P., Billette, C., Imbernon, I., & Kerrigan, R. (1993). Morphological, genetic, and interfertility analyses reveal a novel, tetrasporic variety of *Agaricus bisporus* from the Sonoran Desert of California. *Mycologia*, 835-851.
- Callac, P., Jacobé de Haut, I., Imbernon, M., Guinberteau, J., Desmerger, C., & Theochari, I. (2003). A novel homothallic variety of *Agaricus bisporus* comprises rare tetrasporic isolates from Europe. *Mycologia*(95:2), 222-231.
- Callac, P., Theochari, I., & Kerrigan, R. (2002). The germplasm of *Agaricus bisporus*: main results after ten years of collecting in France, in Greece, and in North America. *Acta Horticulturae*, 579:49-55.
- Cepero, M., Restrepo, S., Franco, A., Cárdenas, M., & Vargas, N. (2012). *Biología de hongos*. Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Chimey, C., & Holgado, M. (2010). Los hongos comestibles silvestres y cultivados en Perú. En D. Martínez-Carrera, N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales, & V. Mora, *Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-comsumo de los hongos comestibles y medicinales latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI* (págs. 381-395). Puebla, Mexico: Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales: Producción, Desarrollo y Consumo.
- Chimey, C., & Holgado, M. (2010). Los hongos comestibles silvestres y cultivados en Perú. En D. Martínez-Carrera, N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales, & V. Mora, *Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-comsumo de los hongos comestibles y medicinales en latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI* (págs. 381-395). Puebla, Mexico: Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales: Producción, Desarrollo y Consumo.
- De Andrade, M., Chavari, J. L., Minhoni, M., & Zied, D. C. (2010). Crescimento micelial in vitro de cinco linhagens de *Agaricus bisporus* submetidas a diferentes condições de temperatura. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32(1), 69-72.
- De Andrade, M., Zied, D., Minhoni, M., & Filho, J. (2008). Yield of four *Agaricus bisporus* strains in three compost formulations and chemical composition analyses of the mushrooms. *Brazilian journal of microbiology*, 39(3): 593-598.
- Fu, Y., Wang, X., Li, D., Liu, Y., Song, B., Zhang, C., . . . Li, Y. (2016). Identification of Resistance to Wet Bubble Disease and Genetic Diversity in Wild and Cultivated Strains of *Agaricus bisporus*. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10):1568.
- Gao, W., Baars, J., Maliepaard, C., Visser, R., Zhang, J., & Sonnenberg, A. (2016). Multi-trait QTL analysis for agronomic and quality characters of *Agaricus bisporus* (button mushrooms). *AMB Express*, 6(1), 67.
- Grand view research. (2022). *Mushroom Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Button, Shiitake, Oyster), By Form, By Distribution Channel, By Application (Food, Pharmaceuticals, Cosmetics), By Region, And Segment Forecasts, 2022 – 2030*. Mushroom Market Size & Analysis Report.
- He, M., Hyde, K., Wei, S., Xi, Y., Cheewangkoon, R., & Zhao, R. (2018). Three new species of *Agaricus* section *Minores* from China. *Mycosphere*, 9(2): 189-201.
- Hildén, K., Mäkelä, M. R., Lankinen, P., & Lundell, T. (2013). *Agaricus bisporus* and related *Agaricus* species on lignocellulose: Production of manganese peroxidase and multicopper oxidases. *Fungal Genetics and Biology*, 55, 32-41.
- Kamal, S., Sharma, V., Gupta, M., Barh, A., & Singh, M. (2019). Genetics and breeding of white button mushroom, *Agaricus bisporus* (Lange.) Imbach. - A comprehensive review. *Mushroom Research*, 28 (1): 1-22.
- Lahmann, O. (2007). Evolución de la industria del champiñón *Agaricus bisporus* en latinoamérica. En J. Sánchez, D. Royse, & H. Leal, *Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de Agaricus bisporus* (págs. 161-167). Tapachula, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Martínez-Carrera, D., Bonilla, M., Martínez, W., Sobal, M., Aguilar, A., & Pellicer-González, E. (2001). Characterisation and cultivation of wild *Agaricus* species from México. *Micología Aplicada Internacional*, 9-24.
- Mata, G., Medel, R., Callac, P., Billette, C., & Garibay-Orijel, R. (2016). Primer registro de *Agaricus bisporus* (Basidiomycota, Agaricaceae) silvestre en Tlaxcala y Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1): 10-17.
- Muhammad, I., Sossah, F., Yang, Y., Li, D., Li, S., Fu, Y., & Li, Y. (2019). Identification of resistance to cobweb disease caused by *Cladobotryum mycophilum* in wild and cultivated strains of *Agaricus bisporus* and screening for bioactive botanicals. *RSC Advances*, 9, 14758.
- Muszy ska, B., Kała, K., Rojowski, J., Grzywacz, A., & Opoka, W. (2017). Composition and Biological Properties of *Agaricus bisporus* Fruiting Bodies – a Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(3), 173-181.
- Navarro, P., & Savoie, J.-M. (2015). Selected wild strains of *Agaricus bisporus* produce high yields of mushrooms at 25°C. *Revista Iberoamericana de Micología*, 32(1), 54-58.
- Parra, L. A. (2008). *Agaricus L. Allopsalliota Nauta & Bas. I. Fungi Europaei. Vol 1*. Alassio, Italia: Edizione Candusso.
- Pavlich, M. (2001). Los hongos comestibles del Perú. *Revista de Ciencias Biológicas BIOTA*(100), 3-19.
- Prakasam, V., & Singh, R. (2008). Cultural and morphological characteristics of white button mushroom. *Annals of Plant Protection Sciences*, 16: 2, 454-457.

- Roncal, M. S., & Roncal, M. R. (2019). Identificación y utilidad de algunos hongos superiores del ecosistema de la Sierra Norte del Perú. *Caxamarca*, 18 (1- 2): 69-81.
- Royse, D., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current Overview of Mushroom Production in the World. En D. Zied, & A. Pardo-Giménez, *Edible and medicinal mushrooms : technology and applications* (págs. 5-13). Wiley-Blackwell.
- Rukaibaa, A. (2020). Optimal Conditions for Production of the Mother Culture for Cultivated Mushrooms *Agaricus bisporus* (White Iraqi Strain). *Indian Journal of Ecology*, (12): 225-230.
- Salmones, D., Ballesteros, H., Zulueta, R., & Mata, G. (2012). Determinación de las Características Productivas de Cepas Mexicanas Silvestres de *Agaricus bisporus*, para su potencial uso comercial. *Revista Mexicana de Micología*(36), 9-15.
- Salmones, D., Gaitan-Hernandez, R., & Mata, G. (2018). Cultivation of Mexican wild strains of *Agaricus bisporus*, the button mushroom, under different growth conditions in vitro and determination of their productivity. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 22(1), 45-53.
- Sattar, M., Iftikhar, S., El-Masri, I., Aldine, N., El-Sebaaly, Z., & Sassine, Y. (2021). Breeding of *Agaricus bisporus*: strains, spawns, and impact on yield. En Y. N. Sassine, *Mushrooms: Agaricus bisporus (Crop Production Science in Horticulture)* (págs. 190 - 239). CABI International.
- Savoie, J., Foulongne-Oriol, M., Barroso, G., & Callac, P. (2013). Genetics and Genomics of Cultivated Mushrooms, Application to Breeding of *Agaricus*. En K. Esser, *The mycota. Vol XI: Agricultural Applications* (págs. 3-33). Berlin, Germany: Springer.
- Sonnenberg, A., Baars, J., Hendrickx, P., Lavrijssen, B., Gao, W., Weijn, A., & Mes, J. (2011). Breeding and strains protection in the button mushroom *Agaricus bisporus*. En J. Savoie, M. Foulongme-Oriol, M. Largeteau, & G. (. Barroso, *Proceeding of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushrooms Products* (págs. 7-15). Arcachon.
- Usman, M., Murtaza, G., & Ditta, A. (2021). Nutritional, Medicinal, and Cosmetic Value of Bioactive Compounds in Button Mushroom (*Agaricus bisporus*): A Review. *Applied Sciences*, 11, 5943.
- Vaca, L. (2009). *Efecto de la composición de diferentes medios de cultivo y sustratos en la reproducción de micelios y semilla de hongos comestibles (Agaricus sp. y Agaricus bisporus)*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera Ingeniería Agronómica.
- Vedder, P. (1996). *Cultivo moderno del champiñón*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Yan, M., Chuyu, G., & Xianjun, M. (2014). Biological characteristics for mycelial growth of *Agaricus bisporus*. *Applied Mechanics and Materials*, 508: 297-302.
- Zhang, M.-Z., Xu, J.-P., Callac, P., Chen, M.-Y., Wu, Q., Wach, M., . . . Zhao, R.-L. (2023). Insight into the evolutionary and domesticated history of the most widely cultivated mushroom *Agaricus bisporus* via mitogenome sequences of 361 global strains. *Genomics*, 24:182.
- Zheng, H.-q., Guo, Z.-j., Cai, Z.-x., Lu, Y.-p., Liao, J.-h., & Chen, M.-y. (2021). Analysis and Evaluation of Nutrient Components in *Agaricus bisporus* Wild Germplasm Resource. *Biotechnology Bulletin*, (11): 109-118.