

## 7. Estudio de producción de lacasa con un hongo del género *Ganoderma*



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.425.07>

OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ \*

STEPHANIE HERNÁNDEZ GONZÁLEZ \*\*

GUILLERMO MENDOZA CERVANTES \*\*\*

CITLALY ANELY MARTÍNEZ PÉREZ \*\*\*\*

### Resumen

Las enzimas lacasas obtenidas de hongos ligninocelulósicos tienen potencial en diversos procesos industriales y biotecnológicos. La cepa *Ganoderma* sp. GV81, perteneciente al grupo de hongos de pudrición blanca, es productor de lacasas, sin embargo, su rendimiento requiere ser optimizado para producciones a mayor escala. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la actividad lacasa de la cepa GV81 en cultivo sólido y líquido, determinando cualitativamente la actividad enzimática y cuantificando su producción, estableciendo las condiciones de cultivo óptimas de pH, sustrato e inductor. Se realizaron ensayos cualitativos en medio ABTS, calculando el Índice de

---

\* Doctor en Biotecnología. Académico de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7803-4513>; Scopus: [21734064200] correo electrónico: [osguzman@uv.mx](mailto:osguzman@uv.mx)

\*\* Doctora en Micología Aplicada. Académica en la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9432-6085>; correo electrónico: [steph.hernandezg@gmail.com](mailto:steph.hernandezg@gmail.com)

\*\*\* Doctor en Ciencia en Ecología y Biotecnología. Director e investigador en el Centro de Investigación en Micología Aplicada, Universidad Veracruzana campus Xalapa, México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4828-225X>; Scopus: 54791201100; correo electrónico: [guimendoza@uv.mx](mailto:guimendoza@uv.mx)

\*\*\*\* Licenciada en Ingeniería en Biotecnología en la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, México. Correo electrónico: [zS20019020@estudiantes.uv.mx](mailto:zS20019020@estudiantes.uv.mx)

Potencia (IP). La producción enzimática se cuantificó a través de ensayos espectrofotométricos en fermentación líquida. La optimización se llevó a cabo mediante un diseño experimental Box-Behnken, evaluando pH (3, 5, 7), sustrato (glucosa, paja de trigo y cereal) y concentraciones de  $\text{Cu}^{+2}$  (0.5, 1, 1.5 mM). Se detectó actividad lacasa cualitativamente con un IP máximo de 0.60. En fermentación líquida, la actividad máxima se alcanzó a los 12 días (161.60 U/L). El análisis estadístico identificó al sustrato como el factor más significativo. La combinación óptima para el sustrato cereal fue pH 7 y 0.5 mM de  $\text{Cu}^{+2}$ , incrementando la producción enzimática en un 71 % respecto a la combinación estándar. La cepa GV81 demostró un alto potencial para la producción de lacasa. La optimización estadística permitió identificar condiciones de cultivo específicas que mejoran significativamente el rendimiento enzimático, sentando las bases para su posible aplicación biotecnológica.

**Palabras clave:** *Enzimas, cultivos, sustratos, optimización*

## Introducción

El género *Ganoderma* (Basidiomycota) es mundialmente reconocido por su capacidad para producir un complejo enzimático ligninolítico, que posee la capacidad de degradar la lignocelulosa, rompiendo las estructuras aromáticas, y sus enlaces a través de reacciones oxidativas. Dentro de las enzimas que conforman este complejo destaca la lacasa (EC 1.10.3.2), esta metaloenzima que utiliza oxígeno molecular para oxidar una amplia gama de sustratos fenólicos y no fenólicos, ha cobrado relevancia en sectores de la industria textil, papelera, alimentaria, cosmética, farmacéutica y en procesos de deslignificación (Suryadi *et al.*, 2022; Anothai y Chairin, 2024). Es considerada esta enzima como un biocatalizador valioso, su capacidad para degradar diversos compuestos orgánicos tóxicos y contaminantes ha ocasionado interés en su uso para mejorar la calidad del medio ambiente y promover el bienestar humano. Esta versatilidad ha generado que los enfoques de su incorporación a procesos industriales se hayan diversificado, sobre todo

destinados a la biorremediación (Fasim *et al.*, 2020). La producción de la enzima lacasa es un proceso complejo que requiere condiciones específicas de cultivo y nutrientes para que los organismos puedan producir la enzima de manera eficiente. Pese a las ventajas que puede aportar, las condiciones de cultivo actuales, como los hongos de pudrición blanca, no son del todo eficientes y su costo de producción ralentizan su aplicación a gran escala (Arvizu de León *et al.*, 2023).

La producción de lacasa a nivel industrial se ve limitada por la baja producción enzimática y los altos costos de los medios de cultivo bajo condiciones estándares. Por ello, la optimización de parámetros de cultivo mediante herramientas estadísticas, como la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM), se ha convertido en una estrategia fundamental para incrementar la productividad y viabilidad económica de estos procesos (Fasim *et al.*, 2020; Balakrishnan *et al.*, 2021).

La cepa *Ganoderma* sp. GV81, aislada y conservada en el Centro de Investigación en Micología Aplicada (CIMA) de la Universidad Veracruzana, representa un recurso valioso para la exploración de su potencial enzimático. Por lo anterior, este estudio se planteó evaluar la actividad lacasa de la cepa GV81 en caja de Petri y en fermentación líquida. Los objetivos específicos fueron: 1) Determinar la actividad lacasa mediante ensayos cualitativos por halos de oxidación, 2) Cuantificar la actividad enzimática en fermentación líquida, y 3) Encontrar las condiciones óptimas (pH, inductor y sustrato) para mejorar el rendimiento enzimático. Se partió de la hipótesis de que la cepa GV81 presentaría actividad lacasa en ambos sistemas de cultivo y que sería posible optimizar las condiciones para maximizar su producción.

## **Materiales y métodos**

### **Material biológico y reactivación**

La cepa *Ganoderma* sp. GV81 fue proporcionada por la colección del CIMA. Para su reactivación, se resembró en cajas de Petri con Agar Papa Dextrosa (PDA) y se incubó a  $27 \pm 1$  °C durante 7 días en oscuridad (Nguyen *et al.*, 2023).

## Medio de cultivo

Se utilizó un medio basal (Chan-Cupul *et al.*, 2016) suplementado según el ensayo. Para los ensayos cualitativos en sólido, se añadió glucosa (10 g/L), agar (20 g/L) y ABTS (0.2 g/L). Para la fermentación líquida, se suplementó con extracto de levadura (0.5 g/L) y se emplearon distintos sustratos de optimización: glucosa, paja de trigo o cereal comercial (20 g/L cada uno). Todos los medios se esterilizaron en autoclave a 121 °C y 1.5 atm durante 15 min.

## Determinación cualitativa de la actividad lacasa

Se inocularon discos de micelio (5 mm) en el medio sólido con ABTS y se incubaron a  $27 \pm 1$  °C. La formación de halos verde-azulados se consideró positiva para la actividad lacasa (Cupul *et al.*, 2016). Durante 5 días se midió el crecimiento micelial y el diámetro del halo, calculando el Índice de Potencia (Hernández-González *et al.*, 2025).

$$IP = \frac{\text{Diámetro del halo observado}}{\text{Diámetro micelial de crecimiento}}$$

## Fermentación líquida y cuantificación enzimática

Los ensayos se realizaron por triplicado en matraces de 250 mL con 100 mL de medio. Se inocularon con 3 discos de micelio y se incubaron a  $27 \pm 1$  °C con agitación a 140 rpm durante 12 días. Diariamente, se tomó el sobrenadante como extracto enzimático crudo. La actividad lacasa se cuantificó espectrofotométricamente a 405 nm usando ABTS 3 mM como sustrato en buffer acetato de sodio (pH 4.5). Una unidad de actividad (U) se definió como la cantidad de enzima que oxida 1  $\mu\text{mol}$  de ABTS por minuto (Shrestha *et al.*, 2016).

## Diseño experimental para la optimización

Se empleó un diseño Box-Behnken con tres factores en tres niveles: pH (3, 5, 7), sustrato (paja de trigo, glucosa, cereal) y concentración de  $\text{Cu}^{2+}$  (0.5, 1, 1.5 mM), generando 13 ensayos (tabla 7.1) con 3 repeticiones cada uno (45 experimentos totales). El análisis estadístico (ANOVA) y la generación del modelo se realizaron con Minitab® v.2025.

Tabla 7.1. *Ensayos diseñados mediante el método Box-Behnken considerando los factores estudiados*

<i>Ensayo</i>	<i>pH</i>	<i><math>\text{Cu}^{2+}</math>(mM)</i>	<i>Sustrato (2g/L)</i>
1	3	0.5	Glucosa
2	3	1.5	Glucosa
3	3	1	Paja de trigo
4	3	1	Cereal
5	5	0.5	Paja de trigo
6	5	1.5	Paja de trigo
7	5	0.5	Cereal
8	5	1.5	Cereal
9	5	1	Glucosa
10	7	0.5	Glucosa
11	7	1.5	Glucosa
12	7	1	Paja de trigo
13	7	1	Cereal

Fuente: Elaboración propia

## Resultados y discusión

### *Ensayos cualitativos y crecimiento micelial*

La cepa GV81 mostró actividad lacasa cualitativa confirmada por la formación de halos de oxidación verde-azulados a partir del tercer día de incubación. El Índice de Potencia (IP) aumentó progresivamente, alcanzando un valor máximo de 0.60 al quinto día (tabla 7.2). Este método, si bien es eficiente para una preselección rápida, debe complementarse con ensayos cuantitativos, ya que un IP alto no siempre se correlaciona con una alta

producción en sistemas de fermentación líquida, como se ha observado en otros estudios (Bustamante *et al.*, 2017).

Tabla 7.2. Actividad enzimática de la lacasa de *Ganoderma sp. GV81* en caja de Petri.

Día	Crecimiento micelial (cm)	Halo (cm)	IP
0	0.70 ( $\pm$ 0.0)	0.00 ( $\pm$ 0)	0.00
1	0.85 ( $\pm$ 0.05)	0.00 ( $\pm$ 0)	0.00
2	1.50 ( $\pm$ 0.08)	0.00 ( $\pm$ 0)	0.00
3	2.13 ( $\pm$ 0.12)	1.15 ( $\pm$ 0.12)	0.53
4	2.70 ( $\pm$ 0.16)	1.43 ( $\pm$ 0.25)	0.54
5	3.25 ( $\pm$ 0.20)	1.95 ( $\pm$ 0.45)	0.60

Fuente: Elaboración propia

## Optimización de la producción de lacasa en fermentación líquida

La actividad enzimática se detectó a partir del quinto día, con el pico máximo en el día 12. Los ensayos que emplearon cereal como sustrato (ensayos 7, 8 y 13) mostraron las actividades más sobresalientes, destacando el ensayo 12 con 161.60 U/L (tabla 7.3).

Tabla 7.3. Plan de muestreo y resultados de acuerdo con el diseño de Box-Behnken para la optimización de la actividad enzimática.

Experimento	pH	Cu <sup>+2</sup> (mM)	Sustrato (5 g/L)	Actividad enzimática (U/L)	Actividad enzimática predicha (U/L)
1	3	0.5	Glucosa	11.35	4.898
2	7	0.5	Glucosa	12.25	19.955
3	3	1.5	Glucosa	11.15	9.293
4	7	1.5	Glucosa	3.05	7.199
2	3	1	Paja de trigo	3.60	8.326
6	7	1	Paja de trigo	5.07	3.238

7	3	1	Cereal	18.10	23.916
8	7	1	Cereal	118.20	83.096
9	5	0.5	Paja de trigo	42.45	43.854
10	5	1.5	Paja de trigo	40.35	33.163
11	5	0.5	Cereal	140.35	155.373
12	5	1.5	Cereal	161.60	149.027
13	5	1	Glucosa	4.85	
14	5	1	Glucosa	5.00	5.560
15	5	1	Glucosa	6.85	5.560
16	3	0.5	Glucosa	12.70	4.898
17	7	0.5	Glucosa	19.20	19.955
18	3	1.5	Glucosa	16.20	9.293
19	7	1.5	Glucosa	2.40	7.199
20	3	1	Paja de trigo	3.10	8.326
21	7	1	Paja de trigo	5.62	3.238
22	3	1	Cereal	16.23	23.916
23	7	1	Cereal	118.85	83.096
24	5	0.5	Paja de trigo	43.20	43.854
25	5	1.5	Paja de trigo	50.50	33.163
26	5	0.5	Cereal	123.20	155.373
27	5	1.5	Cereal	151.30	149.027
28	5	1	Glucosa	5.10	5.560
29	5	1	Glucosa	4.90	5.560
30	5	1	Glucosa	5.25	5.560
31	3	0.5	Glucosa	11.30	4.898
32	7	0.5	Glucosa	13.25	19.955
33	3	1.5	Glucosa	12.50	9.293
34	7	1.5	Glucosa	2.25	7.199
35	3	1	Paja de trigo	3.10	8.326
36	7	1	Paja de trigo	5.50	3.238
37	3	1	Cereal	17.85	23.916
38	7	1	Cereal	131.70	83.096
39	5	0.5	Paja de trigo	42.95	43.854
40	5	1.5	Paja de trigo	41.25	33.163
41	5	0.5	Cereal	122.50	155.373
42	5	1.5	Cereal	141.75	149.027
43	5	1	Glucosa	6.10	5.560

Fuente: Elaboración propia

El ANOVA del modelo de superficie de respuesta reveló que el modelo cuadrático fue altamente significativo ( $p < 0.000$ ) y explicó el 92.14% de la variabilidad en la actividad enzimática ( $R^2 = 0.9214$ ). El factor más influyente fue el sustrato ( $p = 0.000$ ), seguido de sus efectos cuadráticos y las interacciones con el pH (tabla 7.4).

Tabla 7.4. ANOVA de la metodología de superficie de respuesta para la producción de lacasa.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor P
Modelo	9	43.8153	4.8684	45.60	0.000
Lineal	3	14.0996	4.6999	44.03	0.000
pH	1	0.7038	0.7038	6.59	0.015
Cu	1	0.1332	0.1332	1.25	0.272
Sustrato	1	13.2625	13.2625	124.24	0.000
Cuadrado	3	27.0701	9.0234	84.53	0.000
pH*pH	1	2.8842	2.8842	27.02	0.000
Cu*Cu	1	6.8672	6.8672	64.33	0.000
Sustrato*	1	16.9275	16.9275	158.57	0.000
Interacción de 2 factores	3	2.6456	0.8819	8.26	0.000
pH*Cu	1	0.7009	0.7009	6.57	0.015
pH*Sustrato	1	1.9180	1.9180	17.97	0.000
Cu*Sustrato	1	0.0267	0.0267	0.25	0.620
Error	35	3.7363	0.1068		
Falta de ajuste	3	3.5339	1.1780	186.27	0.000
Error puro	32	0.2024	0.0063		
Total	44	47.5516			

Fuente: Elaboración propia

El análisis predijo puntos óptimos diferentes para cada sustrato (Tabla 7.5). Sin embargo, los resultados experimentales demostraron que la combinación que generó la máxima actividad (161.60 U/L) fue el cereal en condiciones de pH 7.0 y 0.5 mM de  $\text{Cu}^{+2}$ . Esta combinación optimizada

permitió un incremento del 71% en la producción enzimática respecto al cultivo en condiciones estándar (94.39 U/L).

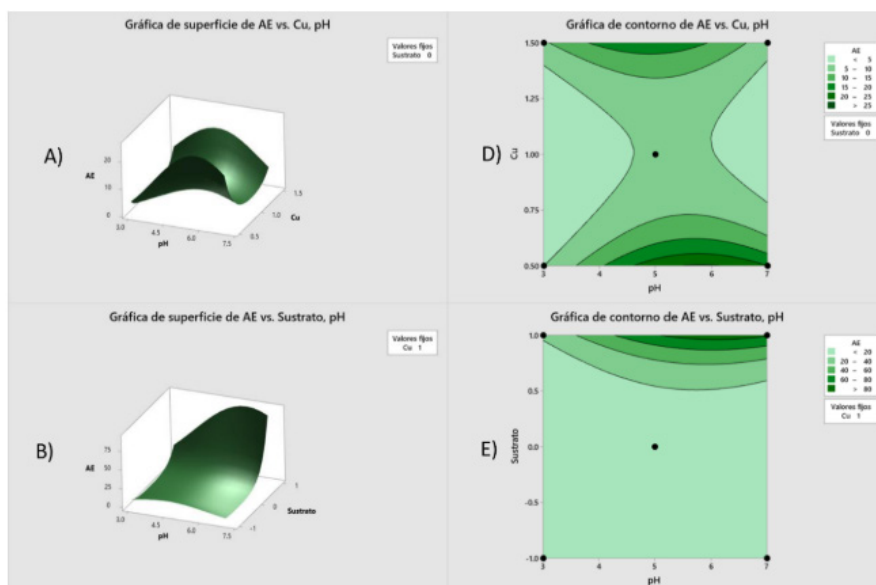
Tabla 7.5. Puntos óptimos generados por el modelo estadístico de acuerdo con el factor sustrato.

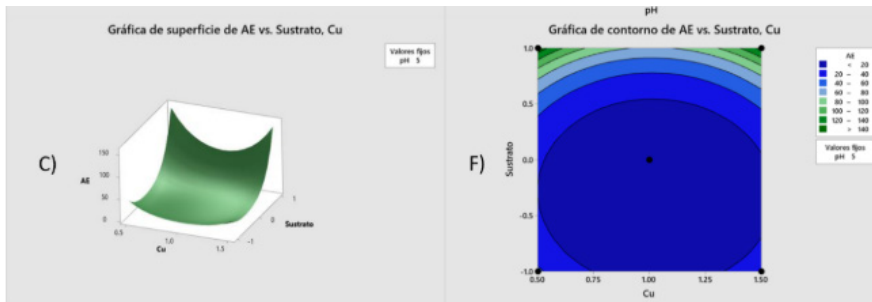
Sustrato	pH	Cu <sup>+2</sup> (mM) (mM)
Glucosa	5	1.5
Paja de trigo	5	1.5
Cereal	7	0.5

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados se observan en las gráficas de superficie y de contorno que detallan el comportamiento de los factores y sus interacciones (figura 7.1).

Figura 7.1. Gráfico de superficie (A) y de contorno (D), para la actividad enzimática de la lacasa en función de los factores nivel de Cu<sup>2+</sup> (mM) y pH, manteniendo el tercer factor (sustrato) fijo en el nivel 0. Gráfico de superficie (B) y de contorno (E), para la actividad enzimática de la lacasa en función de los factores sustrato y pH, manteniendo el factor nivel de Cu<sup>2+</sup> (mM) en el nivel 1. Gráfico de superficie (C) y de contorno (F), para la actividad enzimática de la lacasa en función de los factores sustrato y Cu<sup>2+</sup> (mM), manteniendo el factor nivel de pH en el nivel 5.





Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el modelo estadístico desarrollado, el factor que generó mayor influencia sobre la producción enzimática de la lacasa, es el sustrato. De los tres distintos sustratos incorporados en el experimento (paja de trigo, glucosa y cereal), se obtuvieron distintas respuestas en sus interacciones con los demás factores. A lo largo de la ejecución del procedimiento experimental, el cereal demostró ser el sustrato más eficiente y con mejor rendimiento para la optimización de la producción enzimática, alcanzando los niveles más altos durante sus ensayos, siendo su respuesta más alta de 161.6 U/L a los 12 días (ensayo 8), 146.6 U/L a los 11 días (ensayo 7) y de 144.85 U/L el día 10 (ensayo 13). Dentro de los sustratos lignocelulósicos disponibles, el cereal (salvado de trigo) destaca como una opción ampliamente documentada por su perfil nutricional equilibrado. Este residuo agrícola posee una elevada proporción de celulosa, hemicelulosa, proteínas y lignina, además de ser rico en factores de crecimiento y vitaminas (Revankar *et al.*, 2007).

La inducción enzimática sobresaliente del cereal como sustrato concuerda con la literatura, ya que su compleja composición de lignina, celulosa, hemicelulosa y nutrientes actúa como un inductor eficaz de las enzimas ligninolíticas (Revankar *et al.*, 2007; Fang *et al.*, 2015). El pH óptimo de 7.0, aunque ligeramente superior al rango ácido típico (4.0 – 5.0) para lacasas fúngicas, se ha mencionado en estudios que reportan una producción elevada en condiciones neutras a ligeramente alcalinas para ciertas cepas (Si *et al.*, 2021). La baja concentración óptima de  $\text{Cu}^{2+}$  (0.5 mM) sugiere que, si bien este ión es un cofactor esencial, concentraciones más altas pueden tener un efecto inhibitorio, activando posiblemente mecanismos de defensa fúngicos (Bagewadi *et al.*, 2017).

Estudios previos han demostrado la eficacia del salvado de trigo para inducir la síntesis de lacasa en distintas especies fúngicas. Por ejemplo, Revankar *et al.* (2007) observaron resultados similares con cepas de *Ganoderma* sp. en fermentación sólida. Asimismo, *Ganoderma lucidum* 77002 fue capaz de producir tres isoenzimas de lacasa con una actividad total de 141.1 U/L en tan solo seis días en fermentación líquida, utilizando una combinación de salvado de trigo y polvo de maní como fuente energética (Fang *et al.*, 2015). La funcionalidad del salvado de trigo como sustrato no se limita a cultivos a pequeña escala, Songulashvili *et al.* (2015) reportaron una actividad de 416.4 U/mL de lacasa en una escala piloto de 120 L mediante fermentación líquida utilizando *Cerrena unicolor*, lo que evidencia la viabilidad del salvado de trigo para aplicaciones industriales en biotecnología fúngica.

La producción enzimática a gran escala mediante el uso de residuos agrícolas se ha consolidado como una estrategia eficiente y sostenible. Esta modalidad ofrece múltiples ventajas técnicas y económicas, tales como un mayor crecimiento fúngico sobre sustratos lignocelulósicos en condiciones de humedad controlada, elevadas concentraciones de biomasa y producto, menor consumo energético, bajo requerimiento de inversión, escasa generación de residuos, simplicidad en el diseño de equipos y una recuperación eficiente del producto (Bagewadi *et al.*, 2017).

## Conclusión

Este estudio demuestra que la cepa *Ganoderma* sp. GV81 es una productora eficiente de la enzima lacasa. Se logró detectar y cuantificar su actividad en ambos tipos de cultivo. La aplicación de la metodología de superficie de respuesta permitió identificar con precisión las condiciones de cultivo que maximizan su producción. El uso de cereal (salvado de trigo) como sustrato, en combinación con un pH de 7.0 y una concentración de 0.5 mM de  $\text{Cu}^{+2}$ , incrementa significativamente el rendimiento enzimático. Estos resultados no solo validan la hipótesis planteada, sino que también posiciona a la cepa GV81 como un microorganismo prometedor para futuras aplicaciones biotecnológicas.

## Referencias

- Anothai, J., y Chairin, T. (2024). Development of integrated factor modeling: Inhibiting *Ganoderma* lignocellulosic enzymes while promoting *Trichoderma* sporulation for enhanced plant disease control. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 133, 102382. doi.org
- Arvizu de León, I., García Reyes, B., y García González, A. (2023). Inmovilización covalente de lacasas en nanopartículas de ZnO, TiO<sub>2</sub> y CuO para diferentes aplicaciones biotecnológicas. *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina*, 4(Suplemento 1), 29. <https://rcfb.uanl.mx/index.php/rcfb/article/view/391>
- Bagewadi, Z. K., Mulla, S. I., y Ninnekar, H. Z. (2017). Optimization of laccase production and its application in delignification of biomass. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(4), 351-365. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0184-4>
- Balakrishnan, M., Jeevarathinam, G., Kumar, S. K. S., Muniraj, I., y Uthandi, S. (2021). Optimization and scale-up of  $\alpha$ -amylase production by *Aspergillus oryzae* using solid-state fermentation of edible oil cakes. *BMC Biotechnology*, 21(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12896-021-00686-7>
- Bustamante, S. R. M., Fernández, I. M., Caro, R. B. R., Gutiérrez, L. A. G., De los Santos Villalobos, S., Montenegro, M. M. M., y De Jesús Balderas Cortés, J. (2017). Selección de cepas productoras de enzimas ligninolíticas nativas del Valle del Yaqui. *Nova Scientia*, 9(19), 1-24. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.893>
- Chan-Cupul, W., Heredia-Abarca, G. P., y Rodríguez-Vázquez, R. (2016). Aislamiento y evaluación de la actividad enzimática ligninolítica de macromicetos del Estado de Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3), 339-351. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.03.08>
- Fang, Z., Liu, X., Chen, L., Shen, Y., Zhang, X., Fang, W., Wang, X., Bao, X., y Xiao, Y. (2015). Identification of a laccase Glac15 from *Ganoderma lucidum* 77002 and its application in bioethanol production. *Biotechnology for Biofuels*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0235-x>
- Fasim, A., More, V. S., y More, S. S. (2020). Large-scale production of enzymes for biotechnology uses. *Current Opinion in Biotechnology*, 69, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.12.002>
- Hernández-González, S., Guzmán-López, O., y Mendoza-Cervantes, G. (2025). Lignocellulolytic activity of *Ganoderma* spp. strains isolated from the central region of Veracruz, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28(1), 1-10. <https://doi.org/10.56369/tsaes.5705>
- Nguyen, L. T., Van Le, V., Nguyen, B. T. T., Nguyen, H. T. T., Tran, A. D., y Ngo, N. X. (2023). Optimization of mycelial growth and cultivation of wild *Ganoderma sinense*. *BioTechnology*, 104(1), 65-74. <https://doi.org/10.5114/bta.2023.125087>

- Revankar, M. S., Desai, K. M., y Lele, S. S. (2007). Solid-state fermentation for enhanced production of laccase using indigenously isolated *Ganoderma* sp. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 143(1), 16–26. doi.org
- Shrestha, P., Joshi, B., Joshi, J., Malla, R., y Sreerama, L. (2016). Isolation and physicochemical characterization of laccase from *Ganoderma lucidum*-CDBT1 isolated from its native habitat in Nepal. *BioMed Research International*, 2016, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/3238909>
- Si, J., Wu, Y., Ma, H., Cao, Y., Sun, Y., y Cui, B. (2021). Selection of a pH- and temperature-stable laccase from *Ganoderma australe* and its application for bioremediation of textile dyes. *Journal of Environmental Management*, 299, 113619. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113619>
- Songulashvili, G., Spindler, D., Jimenéz-Tobón, G. A., Jaspers, C., Kerns, G., y Penninckx, M. J. (2015). Production of a high level of laccase by submerged fermentation at 120-L scale of *Cerrena unicolor* C-139 grown on wheat bran. *Comptes Rendus Biologies*, 338(2), 121-125. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2014.12.001>
- Suryadi, H., Judono, J. J., Putri, M. R., Eclessia, A. D., Ulhaq, J. M., Agustina, D. N., y Sumiati, T. (2022). Biodelignification of lignocellulose using ligninolytic enzymes from white-rot fungi. *Heliyon*, 8(2), e08865. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08865>