



Efecto de espectros de luz visible sobre la producción de *Ganoderma lucidum* en sustrato de pulpa de Café

Effect of visible light spectra on the production of *Ganoderma lucidum* in coffee pulp substrate

Carranza-Lozano, Magdalena Luiza¹

Ruiz-Rios, Astriht¹

Liñan-Escate, Luis Freyder^{1*}

Parrera-Salazar, Adolfo¹

Diaz Visitación, Alfredo Iban¹

Borbor Vargas, Jhony Alexander¹

¹Facultad de Ecología, Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú

Recibido: 16 Mar. 2026 | Aceptado: 17 Jul. 2026 | Publicado: 20 Jul. 2026

Autor de correspondencia*: lf.linane@unsm.edu.pe

Como citar este artículo: Carranza-Lozano, M. L., Ruiz-Rios, A., Liñan-Escate, L. F., Parrera-Salazar, A., Diaz Visitación, A. I. & Borbor Vargas, J. A. (2025). Efecto de espectros de luz visible sobre la producción de *Ganoderma lucidum* en sustrato de pulpa de Café. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 5(2), e1566. <https://doi.org/10.51252/reacae.v5i2.e1566>

RESUMEN

Ganoderma lucidum es un hongo de interés medicinal y nutraceutico cuyo desarrollo puede verse influenciado por las condiciones de iluminación durante el cultivo. El objetivo fue evaluar el efecto de distintos espectros de luz visible sobre la producción de *G. lucidum* en sustrato de pulpa de café. Se implementó un diseño con tres tratamientos (luz azul, luz roja y luz natural), conteniendo ocho bolsas de 500 g de sustrato por tratamiento y dispuestas en una cámara de crecimiento por condición lumínica, evaluando días de aparición de primordios, número de primordios y diámetro del cuerpo fructífero. La colonización micelial se completó en 17 días bajo oscuridad. Se detectaron diferencias significativas entre tratamientos: La luz roja y la azul redujeron el tiempo de aparición de primordios (18,12 y 19,25 días, respectivamente) frente a la luz natural (35,13 días); la luz roja indujo mayor número de primordios, mientras que la luz azul promovió el mayor diámetro de cuerpos fructíferos (5,2 cm), con diferencia estadística respecto a los demás tratamientos. Se concluyó que los espectros lumínicos influyen significativamente sobre la fructificación de *G. lucidum*, siendo la luz azul la condición más favorable para el desarrollo del cuerpo fructífero en sustratos de pulpa de café.

Palabras clave: bioconversión; espectro lumínico; fructificación; pulpa de café; residuos agroindustriales

ABSTRACT

Ganoderma lucidum is a fungus of medicinal and nutraceutical interest whose growth can be influenced by lighting conditions during cultivation. The objective was to evaluate the effect of different visible light spectra on the production of *G. lucidum* in coffee pulp substrate. An experiment was conducted with three treatments (blue light, red light, and natural light), using eight bags of 500 g of substrate per treatment, arranged in a growth chamber according to the lighting condition. The study evaluated the number of days until primordia appeared, the number of primordia, and the diameter of the fruiting body. Mycelial colonization was completed in 17 days under dark conditions. Significant differences were detected among the treatments: red and blue light reduced the time to primordia emergence (18.12 and 19.25 days, respectively) compared to natural light (35.13 days); red light induced a greater number of primordia, while blue light promoted a larger fruiting body diameter (5.2 cm), with a statistically significant difference compared to the other treatments. It was concluded that light spectra significantly influence the fruiting of *G. lucidum*, with blue light being the most favorable condition for fruiting body development on coffee pulp substrates.

Keywords: Bioconversion; light spectrum; fruiting; coffee pulp; agro-industrial waste



1. INTRODUCCIÓN

La pérdida de cobertura forestal degrada los suelos, reduce la biodiversidad y altera los servicios ecosistémicos, siendo la expansión agrícola una de sus principales causas (Hannah, 2021). En este escenario, el café es un cultivo estratégico para economías regionales, como ocurre en San Martín (Perú), donde representa una de las principales fuentes de ingreso de las familias productoras (Haile & Kang, 2019; MIDAGRI, 2024). La sostenibilidad de esta cadena requiere no solo mejorar el rendimiento, sino también reducir impactos ambientales vinculados al procesamiento del grano.

Durante el beneficio húmedo del café se generan subproductos con alta carga orgánica (Thamaraiselvi et al., 2026; Monzón-Reyes et al., 2026); entre ellos, la pulpa representa una proporción considerable del fruto (Rodríguez y Jaramillo, 2005). Cuando este residuo se dispone sin tratamiento, puede producir lixiviados y afectar cuerpos de agua y suelos, comprometiendo la resiliencia local (Reátegui & Chilet, 2022). En consecuencia, el aprovechamiento de la pulpa mediante enfoques de economía circular resulta pertinente, pues transforma el residuo en un producto con valor agregado y reduce la presión ambiental asociada a su disposición.

Los hongos son actores esenciales en la descomposición de biomasa vegetal y el reciclaje de nutrientes (Hyde, 2022), además de representar uno de los grupos biológicos más diversos (Mueller et al., 2007). En particular, *Ganoderma lucidum* (Polyporales) destaca por su interés medicinal, asociado principalmente a polisacáridos y triterpenoides, y por su uso creciente en aplicaciones nutraceuticas (Adeyi et al., 2021; Niego et al., 2023). Su cultivo constituye una alternativa biotecnológica para obtener biomasa fúngica de interés y, a la vez, valorizar residuos agroindustriales disponibles en las zonas productoras (Lu et al., 2026).

El cultivo de *Ganoderma lucidum* se realiza en bolsas o troncos, utilizando sustratos lignocelulósicos como aserrín de maderas duras y diversos residuos agroforestales, cuya composición y suplementación condicionan la disponibilidad de nutrientes (Bijalwan et al., 2021; Lu et al., 2026). La fase de crecimiento micelial suele favorecerse con temperaturas templadas a cálidas y oscuridad, mientras que la fructificación requiere mantener humedad ambiental elevada y un intercambio gaseoso suficiente para evitar acumulación de CO₂ (Zhou et al., 2012; Fang et al., 2025). Asimismo, la cantidad de sustrato, su compactación y la tasa de inóculo influyen en la velocidad de colonización, y por ende en la eficiencia del cultivo.

Aunque los hongos no realizan fotosíntesis (Di et al., 2023), la luz funciona como señal ambiental capaz de regular morfogénesis, diferenciación y rutas metabólicas mediante fotorreceptores específicos (Tisch & Schmoll, 2010; Sun et al., 2022; Yu et al., 2023). Se ha reportado que la luz azul puede estimular la diferenciación y el desarrollo del cuerpo fructífero, mientras que la respuesta a otros espectros varía según especie, intensidad y fase del cultivo (Montoya et al., 2018; Li et al., 2023; Xu et al., 2025; Yu et al., 2023). Sin embargo, aún existe necesidad de evidencias que relacionen los espectros de luz visibles con la producción de *G. lucidum* empleando residuos como sustrato. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar la producción de *G. lucidum* cultivado en pulpa de café bajo diferentes espectros de luz visible (azul, rojo y luz natural), determinando su efecto sobre los días de aparición de primordios, el número de primordios y el diámetro del cuerpo fructífero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y diseño muestral

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Química y Biología de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, distrito de Moyobamba (región San Martín, Perú). Se implementaron

tres cámaras de crecimiento diseñadas para evaluar la producción de *Ganoderma lucidum* en sustratos a base de pulpa de café hidratada y esterilizada en autoclave, envasadas en bolsa de polipropileno con 500 gramos de sustrato, y sometido en autoclave a 120 °C y 20 PSI, durante 50 minutos. Siendo finalmente colocadas bajo la influencia de diferentes espectros de luz visible en cada cabina acondicionada (Figura 1). Los tratamientos consistieron en tres condiciones de iluminación: luz azul y luz roja, provistas por cintas LED comerciales monocromáticas instaladas en la parte exterior de cada cámara, y luz natural, correspondiente a radiación solar difusa que ingresaba a través de una ventana del laboratorio. Cada condición lumínica dispuso de 8 bolsas con 500 g de pulpa de café inoculadas con 50 gramos de micelio de *G. lucidum* contenida en semillas de *Hordeum vulgare* “Cebada”, en base húmeda. Cada tratamiento se asignó a una cámara de crecimiento, de modo que las ocho bolsas por tratamiento constituyeron submuestras dentro de una misma cámara y no cámaras replicadas de manera independiente.

2.2. Diseño de cámaras de crecimiento



Figura 1. Cámaras de crecimiento con medidas de 27 cm de ancho × 53 cm de largo × 30 cm de alto acondicionadas con diferentes espectros de luz visible, donde se dispusieron 8 bolsas de 500 gr de pulpa de café e inoculadas con micelio de *Ganoderma lucidum*

Las cámaras estaban equipadas con cintas LED ubicadas a 16 cm sobre el sustrato, manteniendo 12 h de luz y 12 h de oscuridad. Se adoptó un fotoperiodo de 12 h luz/12 h oscuridad para reproducir el régimen lumínico diario de la zona ecuatorial donde se ubica el estudio y por ser el ciclo referido en trabajos previos de fructificación de *G. lucidum* (Rodríguez y Jaramillo, 2005). La temperatura y la humedad se registraron tres veces al día con un termohigrómetro digital calibrado (8:00 am; 1:00 pm y 5:00 pm); estos horarios se seleccionaron por representar las condiciones térmicas extremas y media del día (mañana, mediodía y tarde), de modo que el promedio reflejara la oscilación diaria en cada cámara.

Las cámaras de crecimiento fueron acondicionadas con 4 orificios circulares de 6,5 cm de diámetro y cubiertas con cinta micropore para el intercambio de aire y evitar el ingreso de contaminantes y/o vectores. Las etapas seguidas durante el desarrollo del experimento se resumen en la Figura 2, y la distribución de unidades experimentales por tratamiento se detalla en la Tabla 1.



Figura 2. Etapas en el desarrollo del experimento

Tabla 1.

Diseño experimental en las cámaras de crecimiento

Nº	Luz azul	Luz roja	Luz natural
1	LA ₁	LR ₁	LN ₁
2	LA ₂	LR ₂	LN ₂
3	LA ₃	LR ₃	LN ₃
4	LA ₄	LR ₄	LN ₄
5	LA ₅	LR ₅	LN ₅
6	LA ₆	LR ₆	LN ₆
7	LA ₇	LR ₇	LN ₇
8	LA ₈	LR ₈	LN ₈

Nota. Los códigos identifican cada bolsa de 500 g conteniendo pulpa de café y micelio de *G. lucidum*: LA, luz azul; LR, luz roja; LN, luz natural. Cada unidad experimental estaba conformada por 01 cabina que contenía 8 bolsas con sustrato e inoculada con micelio de *G. lucidum* que correspondían a sub muestras.

2.3. Preparación de sustrato

La pulpa de café se recolectó en una finca del centro poblado de Pacayzapa, provincia de Moyobamba. Tras el secado al sol, el material se hidrató durante 12 h y se escurrió hasta eliminar el exceso de agua. Luego se envasaron 500 g de sustrato en bolsas de polipropileno y se esterilizaron a 120 °C durante 50 min. El secado al sol no tuvo como finalidad la deshidratación total del material, sino reducir el exceso de humedad superficial de la pulpa recién despulpada para facilitar su manejo y almacenamiento temporal antes del procesamiento; la humedad del sustrato se ajustó posteriormente de forma controlada mediante la hidratación por 12 h y se homogenizó durante la esterilización en autoclave.

La cepa comercial de *Ganoderma lucidum* fue obtenida de la empresa “Fungi Innova”, posterior a ello se realizó la producción masiva del micelio, utilizando 250 gr de granos de cebada, previamente remojados 24 horas, que luego de escurrir el exceso de humedad se agregó con 5 g de carbonato de calcio (CaCO₃) y 15 g de yeso agrícola (CaSO₄) por kilogramo de grano, seguidamente se esterilizó y posterior inoculación con micelio de *G. lucidum* que se acondicionó en lugar oscuro hasta invasión total del micelio. Una vez invadido el micelio en total del grano, se

añadió 50 g de micelio en grano por bolsa con sustrato a base de pulpa de café ya enfriado a menos de 25 °C.

Las bolsas inoculadas se mantuvieron en completa oscuridad durante la fase de incubación, hasta la colonización total del sustrato, lo cual se alcanzó en 17 días promedio. Posteriormente, las bolsas se trasladaron a las cámaras de crecimiento y se abrieron por la parte superior para permitir la aireación y reducir la concentración de CO₂.



Figura 3. Pulpa de café invadidas por micelio de *G. lucidum*, con cuerpo fructífero en desarrollo.

Tabla 2.

Parámetros ambientales requeridos para la producción de Ganoderma lucidum

Parámetro	Formación de primordios	Desarrollo del estípite	Crecimiento del cuerpo fructífero	Firmeza del cuerpo fructífero
Temperatura (°C)	20–30	20–30	20–30	20–30
Humedad relativa (%)	90–95	70–80	85–95	50–60
Duración de la etapa	10–20 días	10–14 días	30–60 días (desde primordio hasta cosecha)	7–10 días posteriores a la maduración del píleo
Concentración de CO ₂ (%)	0,1–0,5	0,1–1,0	< 0,1	< 0,1
Requerimiento de luz	100–200 lux	150–200 lux	12 h a 150–200 lux	12 h a 750–1500 lux

Nota. Tomado de (Rodríguez y Jaramillo, 2005, pag 44)

2.4. Condiciones ambientales

Para poder evaluar las condiciones ambientales se registraron diariamente los datos de temperatura y humedad relativa desde el término de la fase de incubación hasta antes de la aparición de los primordios, momento en el cual todas las bolsas permanecían en las cámaras de crecimiento, ya abiertas para permitir la liberación de CO₂ y mantener condiciones óptimas para el desarrollo de *G. lucidum*.

Se realizaron pulverizaciones con agua destilada estéril una vez por día/cámara, esto con la finalidad de mantener una humedad relativa adecuada para el desarrollo de *G. lucidum*.

2.5. Análisis de datos

Los datos fueron organizados según el tratamiento lumínico y la variable de respuesta evaluada. El factor de estudio fue el espectro de luz visible, con tres niveles: luz azul, luz roja y luz natural. Para el factor luz, la unidad experimental correspondió a la cámara de crecimiento, debido a que cada condición lumínica fue aplicada a nivel de cámara; en consecuencia, las ocho bolsas contenidas dentro de cada cámara fueron consideradas submuestras o unidades observacionales, y no réplicas experimentales independientes.

El procesamiento estadístico se realizó en SPSS Statistics versión 27. De manera exploratoria, se aplicó un análisis de varianza de un factor para comparar las variables de respuesta entre condiciones lumínicas. Previamente, se evaluaron los supuestos del ANOVA: la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, considerando un nivel de significancia de 95%. Cuando se identificaron diferencias entre medias, se aplicó la prueba de Tukey como comparación post hoc.

Debido a que cada tratamiento lumínico estuvo representado por una sola cámara de crecimiento, el análisis inferencial fue interpretado con cautela. En este sentido, los resultados estadísticos derivados de las bolsas se asumieron como una aproximación exploratoria basada en submuestras, por lo que las diferencias observadas fueron consideradas tendencias preliminares y no evidencia concluyente del efecto independiente del espectro de luz.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Condiciones ambientales en cámaras de crecimiento

Las cámaras mostraron condiciones, de temperatura estables (Figura 4), mientras que la humedad relativa mantuvo un promedio de 65,2 °C, 64,9 °C y 65,3 °C para las cámaras de luz azul, roja y natural respectivamente. Garantizando con ello que las variaciones observadas se debieran principalmente a los espectros de luz y no a factores secundarios.

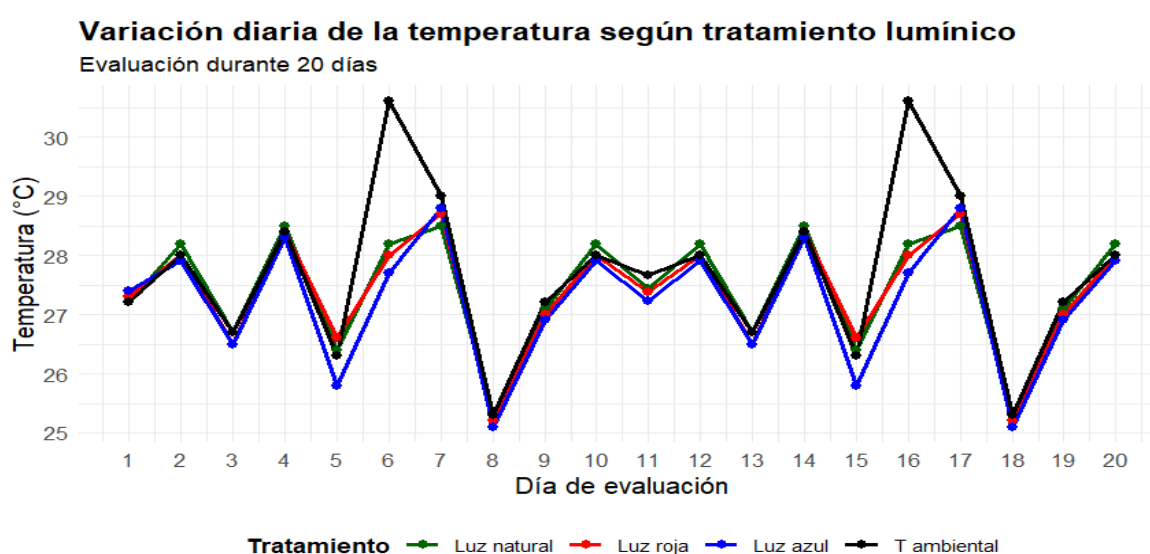


Figura 4. Temperatura y humedad promedio en cámaras de crecimiento

3.2. Periodo de incubación del micelio

La colonización completa por el micelio de *G. lucidum* en pulpa de café (500 gr/ bolsa) se alcanzó en 17 días bajo oscuridad total, sin evidencia de contaminación. En un principio se colocaron bolsas de pulpa de café recién inoculadas, expusieron a luz roja, estas mostraron mayor incidencia de contaminantes, lo que resalta la importancia de mantener condiciones de incubación oscuras para minimizar el ataque por hongos contaminantes.

Al inicio, el micelio mostraba un color blanco y una textura algodonosa; con el tiempo, adquirió tonos amarillentos y posteriormente manchas marrones oscuras. En las bolsas expuestas a luz roja y azul, estas manchas aparecieron más rápido, desde el décimo día tras la apertura. En cambio, bajo luz natural, el cambio de color fue más lento, observándose un tono amarillento recién después de 20 días, especialmente en zonas con menor acceso al oxígeno debido a la cobertura de la bolsa.

Este periodo es comparable con los 15–20 días reportados por Bijalwan et al. (2021) para sustratos de aserrín suplementados, y sugiere que la pulpa de café ofrece una disponibilidad de carbono y nitrógeno adecuada para el crecimiento micelial, posiblemente favorecida por su contenido de celulosa (20–30%) y la presencia de compuestos nitrogenados residuales del proceso de beneficio húmedo (Rodríguez y Jaramillo, 2005). El cambio progresivo de coloración del micelio, de blanco algodonoso a tonos amarillentos y marrón oscuro, corresponde a la acumulación de pigmentos secundarios y es un indicador reconocido de madurez metabólica previo a la fructificación (Lu et al., 2025; Zhou et al., 2012). La mayor incidencia de contaminación observada en bolsas expuestas a luz roja durante la incubación concuerda con lo señalado por Yu et al. (2023), quienes documentaron que la exposición lumínica prematura altera la integridad de la barrera micelial e incrementa la susceptibilidad a hongos competidores, lo que respalda la práctica de mantener oscuridad total durante esta fase.

3.3. Aparición de primordios

La aparición de primordios varió significativamente entre tratamientos, con los tiempos más cortos bajo luz roja (18,12 días), seguido de luz azul (19,25 días), y por último la luz natural con el promedio más alto en aparición de primordios de *Ganoderma lucidum* (35,14 días).

Tabla 3.

Días de aparición de primordios

Repeticiones	Roja	Azul	Natural
1	15	14	27
2	14	12	30
3	19	18	33
4	21	20	35
5	18	23	38
6	17	26	37
7	16	21	40
8	25	20	41
Promedio	18,12	19,25	35,13

El ANOVA evidencio diferencias significativas entre los espectros de luz visible utilizados utilizado en cada cámara (Tabla 4).

Tabla 4.*ANOVA para días de aparición de primordios*

	Suma cuadro.	gl	Media cuadro.	F	Sig.	CV (%)
Entre grupos	1446,083	2	723,042	37,841	0,000	37,11
Dentro de grupos	401,250	21	19,107			
Total	1847,333	23				

Para el supuesto de ANOVA, la aparición de primordios mostró diferencias significativas entre tratamientos, con los menores tiempos bajo luz roja ($18,12 \pm 3,5$ días) y luz azul ($19,25 \pm 4,4$ días), frente a la luz natural ($35,13 \pm 5,0$ días). La prueba de Tukey confirmó que ambos espectros artificiales no difirieron estadísticamente entre sí, pero sí respecto a la luz natural, indicando que la longitud de onda específica es el factor en la inducción para fructificación (Tabla5). En cuanto al número de primordios, la luz roja produjo mayor cantidad (12 primordios/8 bolsas/500 gr sustrato).

Tabla 5.*Numero de primordios logrados por bolsa de sustrato*

Repeticiones	Roja	Azul	Natural
1	1	1	1
2	1	1	1
3	2	1	1
4	3	1	1
5	2	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
Total	12	8	8

Estos resultados concuerdan con Montoya et al. (2018), quienes reportaron que la luz azul estimula la diferenciación de primordios en *G. lucidum* a través de la activación del complejo fotorreceptor Cuello blanco "White Collar-1", sistema ampliamente documentado en hongos del phylum *Basidiomycota* (Tisch & Schmoll, 2010; Yu et al., 2023). En el caso de la luz roja, su eficacia en la inducción de primordios podría estar mediada por fitocromos o receptores de rodopsina fúngica, cuya respuesta al espectro rojo ha sido descrita en *Flammulina filiformis* (Li et al., 2023) y que podría operar de forma análoga en *G. lucidum*, aunque este mecanismo requiere confirmación experimental específica para esta especie.

3.4. Cuerpo fructífero

Para cuerpos fructíferos, el mayor tamaño promedio se obtuvo bajo luz azul (5,2 cm), seguido por la roja (3,6 cm) y la natural (3,2 cm), teniendo en consideración que no todos los primordios lograron a completar su desarrollo (Figura 5).

Mediante supuesto de ANOVA se evidencio diferencia estadística entre los cuerpos fructíferos obtenidos de *G. lucidum* expuestos a diferentes espectros de luz, posterior a ello se aplicó la prueba de Tukey y observándose los cuerpos fructíferos expuestos a luz azul difieren estadísticamente de los demás espectros de luz, mientras que el diámetro de cuerpos fructíferos expuestos a luz roja y natural no presentaron diferencia estadística.

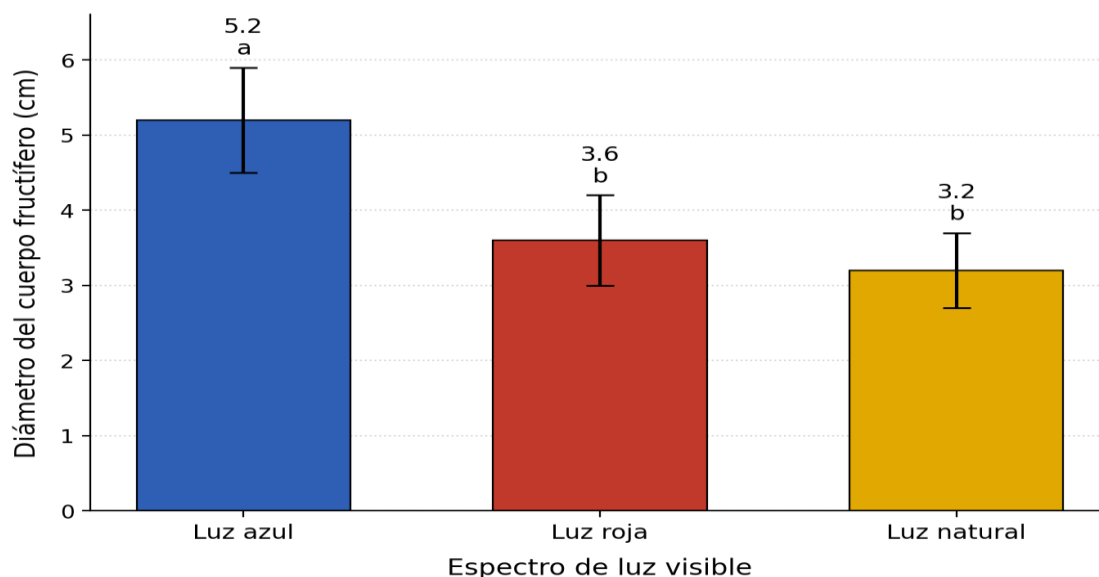


Figura 5. Tamaño de cuerpos fructíferos de *G. lucidum*, expuestos a diferentes espectros de luz

Tabla 6. Tamaño promedio de cuerpos fructíferos según espectro lumínico

Luz	Promedio (cm)	Desv. Est.	CV (%)
Azul	5,2	0,7	13,5
Roja	3,6	0,6	17,8
Natural	3,2	0,5	14,0

El diámetro promedio de los cuerpos fructíferos fue significativamente mayor bajo luz azul ($5,2 \pm 0,7$ cm; CV = 13,5%), seguido de luz roja ($3,6 \pm 0,6$ cm; CV = 17,8%) y luz natural ($3,2 \pm 0,5$ cm; CV = 14,0%), con la prueba de Tukey confirmando que el tratamiento de luz azul difiere estadísticamente de los otros dos, mientras que luz roja y luz natural no presentan diferencia entre sí. Este resultado es coherente con lo reportado por Liu et al. (2024), quienes documentaron que la luz azul incrementa la actividad de enzimas degradadoras de la pared celular en *G. lucidum*, mejorando la eficiencia de asimilación de carbono desde sustratos lignocelulósicos y derivando en mayor biomasa del cuerpo fructífero. El mecanismo subyacente involucra la fotorrecepción, que en condiciones de luz azul activa la transcripción de genes reguladores de morfogénesis y metabolismo secundario (Yu et al., 2023; Xu et al., 2025). La activación de estos fotorreceptores también explica la potencial estimulación de la síntesis de metabolitos de interés farmacológico, incluyendo polisacáridos y triterpenoides (He et al., 2023; Li et al., 2023); aunque el presente estudio no cuantificó estos compuestos, los resultados morfológicos sugieren que la luz azul podría representar una ventaja para sistemas de producción orientados tanto a biomasa como a biocompuestos activos.

CONCLUSIONES

La producción de *Ganoderma lucidum* en sustrato de pulpa de café demostró que los espectros de luz visible influyen de manera significativa sobre la fructificación: La luz roja y azul redujeron el tiempo de aparición de primordios (18,12 y 19,25 días, respectivamente) frente a la luz natural (35,13 días), sin diferencias estadísticas entre sí. La luz roja favoreció un mayor número de primordios (12 primordios en 8 bolsas, frente a 8 primordios para luces azul y luz natural), mientras que la luz azul promovió el mayor diámetro de cuerpos fructíferos (5,2 cm), con diferencia estadística respecto a los demás tratamientos; y la colonización micelial se completó en 17 días bajo oscuridad, evidenciando la viabilidad del sustrato sin

suplementación adicional. Estos resultados confirman que la pulpa de café constituye un sustrato lignocelulósico adecuado para el cultivo de *G. lucidum*, ofreciendo una alternativa de valorización de este residuo agroindustrial generado en las zonas cafetaleras, con potencial de integración en sistemas de producción sostenible de hongos medicinales. No obstante, la humedad relativa registrada durante el experimento (~65%) se situó por debajo del rango óptimo (85–95%), lo que pudo haber limitado el rendimiento total; por ello, se recomienda implementar control automatizado de humedad en estudios futuros.

Una limitación del diseño es que cada tratamiento de luz se mantuvo en una sola cámara de crecimiento, por lo que las ocho bolsas de un mismo tratamiento no constituyen réplicas verdaderas, sino submuestras que comparten un mismo microclima (intensidad lumínica, ventilación, temperatura y humedad). En consecuencia, el efecto del espectro luminoso queda confundido con cualquier diferencia propia de la cámara, y el análisis de varianza aplicado sobre las bolsas incurre en pseudorreplicación; por ello, las diferencias estadísticas observadas deben interpretarse como tendencias preliminares y no como una prueba concluyente del efecto del espectro. Para confirmar estos resultados, los estudios futuros deberían incluir varias cámaras independientes por tratamiento o repetir el experimento en el tiempo, de modo que la cámara constituya la unidad experimental y el tratamiento disponga de réplica real.

FINANCIAMIENTO

Los autores declaran no haber recibido ningún tipo de financiamiento en lo referente al presente artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores del presente trabajo declaran no presentar ningún tipo de conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

1. Conceptualización: Luis Freyder Liñan-Escate, Magdalena Luiza Carranza-Lozano.
2. Análisis formal: Magdalena Luiza Carranza-Lozano, Luis Freyder Liñan-Escate.
3. Investigación: Magdalena Luiza Carranza-Lozano, Astriht Ruiz-Rios, Luis Freyder Liñan-Escate, Adolfo Parrera-Salazar, Alfredo Iban-Díaz Visitación, Jhony Alexander Borbor-Vargas.
4. Metodología: Astriht Ruiz-Rios, Alfredo Iban Díaz Visitación, Luis Freyder Liñan-Escate.
5. Redacción - borrador original: Jhony Alexander Borbor-Vargas, Luis Freyder Liñan-Escate, Adolfo Parrera-Salazar.
6. Redacción - revisión y edición: Magdalena Luiza Carranza-Lozano, Astriht Ruiz-Rios, Luis Freyder Liñan-Escate, Adolfo Parrera-Salazar, Alfredo Iban Díaz-Visitación, Jhony Alexander Borbor-Vargas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeyi, A., Adedoyin, S., Adeyi, O., James, S., & Adenipekun, C. (2021). Ganoderma lucidum ethanol extract abrogates metabolic syndrome in rats: In vivo evaluation of hypoglycemic, hypolipidemic, hypotensive and antioxidant properties. *Obesity Medicine*, 22(September 2020), 112. <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2021.100320>
- Bijalwan, A., Bahuguna, K., Vasishth, A., Singh, A., Chaudhary, S., Dongariyal, A., Kumar, T., Kaushik, S., Javed, M., Alfarraj, S., Ali Alharbi, S., Skalicky, M., & Brestic, M. (2021). Growth performance of Ganoderma lucidum using billet method in Garhwal Himalaya, India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2709–2717. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.030>

- Di, P., Sun, Z., Cheng, L., Han, M., Yang, L., & Yang, L. (2023). LED Light Irradiations Differentially Affect the Physiological Characteristics, Ginsenoside Content, and Expressions of Ginsenoside Biosynthetic Pathway Genes in *Panax ginseng*. *Agriculture*, 13(807).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture13040807>
- Fang, T., Chen, L., Yao, H., Li, Y., Liu, G., Wu, S., Lan, J., & Chen, X. (2025). Combined Transcriptomic and Metabolomic Analyses of the Response of *Ganoderma lucidum* to Elevated CO₂. *Journal of Fungi*, 12(5), 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jof12010005>
- Haile, M., & Kang, W. H. (2019). The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. *Journal of Food Quality*, 2019, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>
- Hannah, R. (2021). *Deforestation and Forest Loss*. OurWorldinData.Org.
<https://ourworldindata.org/deforestation#article-citation>
- Hyde, K. D. (2022). The numbers of fungi. *Fungal Diversity*, 114(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s13225-022-00507-y>
- Li, J., Xu, C., Jing, Z., Li, X., Li, H., Chen, Y., Shao, Y., Cai, J., Wang, B., Xie, B., & Tao, Y. (2023). Blue light and its receptor white collar complex (FfWCC) regulates mycelial growth and fruiting body development in *Flammulina filiformis*. *Scientia Horticulturae*, 309(August 2022).
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111623>
- Lu, X., Li, H., Cao, L., Liang, R., He, W., Wei, F., & Guo, X. (2026). A review of *Ganoderma lucidum* : Cultivation , active ingredients and its application as functional ingredients. *Journal of Food Composition and Analysis*, 149, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108822>
- MIDAGRI. (2024). Perfil productivo regional. *Estadística Agrícola*.
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiN2U3NTdkYTktOTk5Ny00NjQ5LTg0ZjEtMmIzYzlmZWlWMDhlliwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>
- Montoya, S., López, D., & Segura, B. (2018). Influencia de la luz azul sobre la productividad del cultivo sólido de *Ganoderma lucidum*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 51–58.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73674>
- Monzón-Reyes, L. B., Vera-Puerto, I., Vergara Florez, V., López Méndez, M. C., Álvarez Month, A. E., Meléndez-Armenta, R., & Sandoval Herazo, L. C. (2026). Municipal and coffee wastewater treated by a full-scale Constructed Wetlands using ornamental plants under tropical climate. *Ecological Engineering*, 222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107809>
- Mueller, G. M., Schmit, J. P., Leacock, P. R., Buyck, B., Cifuentes, J., Desjardin, D., Halling, R. E., Hjortstam, K., Iturriaga, T., Karl-henrik, L. D., Jean, L., May, T., Minter, D., Rajchenberg, M., Redhead, S. A., Ryvarden, L., Trappe, J. M., Watling, R., & Wu, Q. (2007). Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodivers Conserv*, 16, 37–48. <https://doi.org/10.1007/S10531-006-9108-8>
- Niego, A., Rapior, S., Thongklang, N., Raspé, O., Hyde, K. D., & Mortimer, P. (2023). Reviewing the contributions of macrofungi to forest ecosystem processes and services. *Fungal Biology Reviews*, 44, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.11.002>
- Reátegui, R., & Chilet, S. (2022). *La planificación ambiental*. Fondo editorial EDUNI.
- Rodríguez, N., & Jaramillo, C. (2005). Cultivo de Hongos medicinales en residuos agrícolas de la zona cafetera. In *Cenicafé* (Vol. 28). <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot028.pdf>
- Sun, L., Liu, L. P., Wang, Y. Z., Yang, L., Zhang, C., Yue, M. X., Dabbour, M., Mintah, B. K., & Wang, L. (2022).

- Effect of ultrasonication on the metabolome and transcriptome profile changes in the fermentation of *Ganoderma lucidum*. *Microbiological Research*, 254(July 2021), 126916.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126916>
- Thamaraiselvi, C., Athira, S. T., Vasanthi, M., Sahayarayan, J., Gnanajothi, K., & Chandrasekaran, R. (2026). Sustainable management of coffee cherry pulping wastewater using biogenically synthesized calcium oxide nanoparticles. *Next Materials*, 10, 1–10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2025.101393>
- Tisch, D., & Schmoll, M. (2010). Light regulation of metabolic pathways in fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5), 1259–1277. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2320-1>
- Xu, Y., Huang, X., Wang, Z., Zhao, Y., Lv, D., & Xu, J. (2025). Blue Light Receptor WC-2 Regulates Ganoderic Acid Biosynthesis in *Ganoderma lingzhi*. *Fungi*, 11, 1–16.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jof11090646>
- Yu, W., Pei, R., Zhang, Y., Tu, Y., & He, B. (2023). Light regulation of secondary metabolism in fungi. *Journal of Biological Engineering*, 17(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13036-023-00374-4>
- Zhou, X., Su, K., & Zhang, Y. (2012). Applied modern biotechnology for cultivation of *Ganoderma* and development of their products. *Appl Microbiol Biotechnol*, 93, 941–963.
<https://doi.org/10.1007/s00253-011-3780-7>