

Evaluación de la eficiencia del crecimiento del micelio de *Ganoderma lucidum* (Ganodermataceae), un hongo con alto potencial de uso textil en Ecuador, en tres sustratos orgánicos



*Evaluation of growth efficiency of the mycelium of *Ganoderma lucidum* (Ganodermataceae), a fungus with high potential for textile use in Ecuador, in three organic substrates*

Arturo Ávila López.¹ & Patricio Yáñez Moretta.²

Recibido: 18-04-2020 / Revisado: 20-05-2020 / Aceptado: 23-06-2020 / Publicado: 03-07-2020

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1324>

The growth rate of the basidiomycete *Ganoderma lucidum* (reishi mushroom), in three agroindustrial substrates: eucalyptus sawdust (*Eucalyptus globulus*), cane bagasse (*Saccharum officinale*) and ground bark of cocoa fruits (*Theobroma cacao*) was approached and analyzed in a comparative manner, in a controlled darkroom environment located in Yaruquí (rural parish of Quito Metropolitan District). Mycelial and exudate growth was periodically evaluated over two consecutive months during July and August 2019. The best growth at the end of this period was observed in the cane bagasse substrate ($F = 52.7$; $df = 2 / 54$; $p = 0.00$), this is possibly due to the fact that such substrate has adequate levels of cellulose and lignin, as well as sufficient porosity and moisture retention, factors that ended up favoring mycelium growth. We recommend further investigations about growth characteristics of this useful fungus.

Keywords: Basidiomycetes, *Ganoderma lucidum*, Ecuador, agroindustrial waste, mycelial growth, exudate.

Resumen.

Se abordó y analizó de manera comparativa la velocidad de crecimiento del basidiomiceto *Ganoderma lucidum* (hongo reishi) en tres sustratos de tipo agroindustrial: aserrín de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), bagazo de caña (*Saccharum officinale*) y cacao molido (*Theobroma*

¹ Universidad Internacional del Ecuador, Escuela de Biología Aplicada, Quito, Ecuador. ayanez@uide.edu.ec

² Universidad Internacional del Ecuador, Escuelas de Gestión Ambiental y de Turismo, Quito, Ecuador. apyanez@hotmail.com

cacao), en un ambiente controlado de cuarto oscuro ubicado en Yaruquí (parroquia rural del Distrito Metropolitano de Quito). El crecimiento miceliar y del exudado fue evaluado periódicamente a lo largo de julio y agosto de 2019. El mejor crecimiento al finalizar este lapso fue observado en el sustrato de bagazo de caña ($F= 52,7$; $gl= 2/54$; $p=0,00$), esto posiblemente se debe a que tal sustrato tiene adecuados niveles de celulosa y lignina, así como niveles de porosidad y retención de humedad suficientes, factores que terminaron favoreciendo el crecimiento del micelio. Se recomienda continuar evaluando las características de crecimiento de este hongo útil.

Palabras Clave: Basidiomicetes, *Ganoderma lucidum*, Ecuador, residuo agroindustrial, crecimiento miceliar, exudado.

Introducción.

Los hongos son organismos que se encuentran en todos los biomas y sobre los más variados sustratos (Yáñez, 2014). Se estima que se conoce relativamente bien taxonómica y ecológicamente un 5% del total de los hongos del Planeta, los cuales se encuentran relacionados con el ser humano debido a la desintegración de materia orgánica que realizan, procesos industriales de fermentación en los que intervienen, su utilización como alimentos y medicamentos, así como por ser componentes de sistemas agroforestales (Vázquez *et al.*, 2015).

Ganoderma lucidum es un hongo basidiomiceto de la familia Ganodermataceae, conocido en japonés como “reishi”. Se encuentra distribuido en zonas de clima templado de todo el mundo. Este hongo es saprófito, su micelio vive naturalmente en la madera muerta de árboles latifoliados. Los carpóforos aparecen en la base de sus troncos, a lo largo de heridas o grietas en la corteza, también pueden desarrollarse en troncos muertos (Batra *et al.*, 2013). Es un hongo coriáceo, con un sombrero generalmente arrañonado, de color variable, generalmente marrón rojizo.

Figura 1. Cuerpo fructífero del Reizhi (*Ganoderma lucidum*)



Fuente: Notas Naturales, 2019.

En Japón, China y Corea se lo conoce como el “rey milagroso” por sus propiedades beneficiosas para la salud, ya que presenta más de 150 antioxidantes y nutrientes con

propiedades antitumorales, hepatoprotectoras, hipoglucemiantes, hipocolesterolemiantes inmunomoduladoras e inmunoterapéuticas (en sus diferentes polisacáridos, terpenos, proteínas, vitaminas y otros compuestos bioactivos aislados del micelio y cuerpos fructíferos), siendo en estos países más cotizado que cualquier otra especie de hongo, planta o hierba medicinal (Batra *et al.*, 2013). Debido a su uso como suplemento terapéutico, se han iniciado en estos países algunas experiencias de cultivo, trabajando con formas selectas del estado silvestre.

Debido a la demanda de este hongo, en varios países actualmente se estudian diferentes formas para facilitar y/o mejorar su tasa de crecimiento en ambientes controlados y semicontrolados; actualmente, la producción mundial de este hongo es de unas 6000 toneladas y las últimas estimaciones disponibles colocan el valor anual de los productos de *G. lucidum* en unos US\$ 2500 millones (Postemsky *et al.*, 2014).

Por otra parte, además de sus elementos medicinales y nutracéuticos, también se pueden extraer otros elementos útiles del micelio de este hongo: por ejemplo, fibras textiles biodegradables a partir del exudado miceliar (MycoWorks, 2017).

MycoWorks es una de las instituciones pioneras que logra en los últimos años generar un hilo microscópico, precursor de la fibra textil, a partir del micelio de este hongo, mismo que puede crecer en sustratos en los cuales se puede manipular la textura y la forma del micelio. El elemento textil que se puede producir a partir de tal micelio es sostenible, versátil, universal y permite la reducción del uso de partes de animales para la generación de elementos textiles. Es un material muy cotizado en la industria, sobre todo en la moda, por sus gustos y cualidades semejantes a la piel o cuero de bovinos.

Es un elemento que no requiere mucho tiempo para su creación, su producción está libre del uso de químicos y es amigable con el ambiente ya que es biodegradable con el tiempo, debido a su estructura de carbono simple. En condiciones óptimas en dos semanas después de inoculado puede alcanzar el tamaño de la piel del ganado. El material se puede cultivar en diferentes formas (redondas, cuadrangulares, otras), mismas que pueden posteriormente unirse (MycoWorks, 2017).

Utilización de *Ganoderma lucidum* en Latinoamérica.

En Ecuador no se han realizado investigaciones ni estudios sistemáticos referentes a la creación de textiles de origen alternativo a base de hongos como *Ganoderma lucidum*, ya que no se encuentran bien desarrolladas las tecnologías respectivas; su uso más bien se centra en el mercado de aprovechamiento de la seta de *G. lucidum* por sus propiedades medicinales.

Incluso en esto son muy pocos los productores interesados, debido a que en Ecuador no se lo conoce adecuadamente, ni se usa este hongo como en países asiáticos y europeos. Sin embargo, su potencial y real uso como elemento medicinal y como elemento textil amigable con el ambiente está ganando adeptos; por ejemplo, ya hay una pequeña fracción de productores de *Ganoderma lucidum* como la Productora de Hongos Intiwasi en la zona andina (Salazar, 2014).

Otros países latinoamericanos que reportan un uso creciente de *G. lucidum* son Argentina y Colombia.

En Argentina, son dinámicas las nuevas tendencias de los consumidores hacia productos naturales que, además de aspectos nutricionales, aporten beneficios a la salud. El grupo del Laboratorio de Biotecnología de Hongos Comestibles y Medicinales (LBHCyM) del CERZOS (CONICET - Universidad Nacional del Sur) ha desarrollado un protocolo para cultivar y optimizar el rendimiento de *G. lucidum*, con una tecnología de bajo costo y amigable con el ambiente, a partir del uso de sustratos como la corteza de girasol, residuo abundante de la industria aceitera local.

Gracias al aporte del Ministerio de Ciencia y Tecnología ha sido posible la implementación de una nave de cultivo de hongos a escala piloto, equipada con sala de producción de sustrato e inoculación, sala de corrida de micelio y sala de fructificación, con sistema de monitoreo y control ambiental automático (Bidegain *et al.*, 2014).

En Argentina no existe producción industrial, ni desarrollo de productos a base de Reishi, probablemente porque su valor en el mercado supera al de cualquier otro hongo cultivable: por tanto, se justifica la necesidad de generar un proceso de producción adaptado a contextos locales que permitan optimizar los rendimientos para generar una actividad rentable (Bidegain *et al.*, 2014).

Por otra parte, el consumo y cultivo de hongos en Colombia es bajo; sin embargo, se ha venido registrando un aumento en la última década. Entre otros temas que allí buscan estudiar se encuentra la determinación de la capacidad antiinflamatoria y antioxidante de los extractos etanólicos de *Ganoderma lucidum* cultivado en residuos de café, y sometido a radiaciones del espectro visible de longitudes de onda específicas durante la fructificación.

Dadas las propiedades curativas de *Ganoderma* se espera un aumento en el cultivo y consumo del mismo en los próximos años. Una de las entidades que trabaja en ello es CENICAFÉ utilizando sustratos procedentes de residuos de la industria cafetera como la pulpa, el tallo y la borra (residuo que queda después de la extracción de los solubles del grano) (Tabares & Toro, 2013).

Fibras textiles de origen animal y fibras textiles provenientes de *Ganoderma lucidum*.

Durante las últimas décadas se ha observado a nivel mundial un notable aumento de la producción de cuero para utilizarlo prácticamente en cualquier tipo de prenda de vestir y como material para forrar cualquier superficie, provocando un aumento de la matanza de vacunos. En Ecuador, en 2008 el faenamiento en los camales de donde provienen las carnes, los cueros y pieles afectó a 228 196 cabezas de ganado en los diferentes centros de faenamiento vacuno dentro del país (Hidalgo & Meléndez, 2012).

El cuero o piel es la estructura que recubre los cuerpos de algunos animales, es una sustancia heterogénea generalmente de pelo o lana y formada por varias capas superficiales (Paredes, 2012), la cual se obtiene con la muerte del animal, teniendo que el mejor cuero proviene de terneros ya que tiene la piel más suave y presenta menos deterioro por arañazos y parásitos. Y para el caso de vacunos adultos, se usa más la piel de una hembra que la de un macho ya que presenta una piel más suave y elástica (Adzet *et al.*, 1985).

El factor que limita la obtención del cuero es el sacrificio del ganado, el mismo que depende de la industria ganadera y la demanda de carne para consumo. En Ecuador, como en la mayoría de los países de Latinoamérica, no todas las pieles pueden ser aprovechadas de la misma manera, esto se debe al mal cuidado que se tiene en la crianza de estos animales y en su faenamiento (Hidalgo & Meléndez, 2012), ya que gran porcentaje de las reses se utiliza primordialmente para la comercialización de su carne.

Por este excesivo faenamiento, irrespeto con el ambiente en la mayoría de las empresas que obtienen cuero vacuno y por la problemática general del sector resulta necesario buscar otra materia prima para la obtención de un material similar al de este cuero.

En vista de esta situación algunas instituciones están volviendo sus ojos hacia la obtención de fibras textiles provenientes de elementos alternativos como los que genera el principal exudado del micelio de *Ganoderma lucidum*, mismo que tiene características similares a la textura del cuero vacuno tradicional y además constituye un material amigable con el ambiente en todas las etapas de su producción (Gudro & Ulme, 2011).

En este sentido, la producción propuesta de fibra textil a partir de este hongo no traería problemas ambientales ya que crece principalmente sobre troncos o elementos leñosos muertos, rara vez sobre individuos leñosos vivos cuando presentan algún tipo de herida o abertura de su corteza (Baldini & Pancel, 2002).

En zonas boscosas del Distrito Metropolitano de Quito y cantones y provincias cercanas no se ha reportado un desarrollo masivo silvestre de *Ganoderma* ya que estos ambientes parece que no presentan las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo y generación de progenie natural.

Por otra parte, cabe mencionar que la economía que se produce con el uso del cuero vacuno tradicional es lineal. En ella no se implementan metodologías de reciclado de materiales utilizados en la elaboración del producto final (chompas o chaquetas, carteras, zapatos, forros para cualquier tipo de superficie). Se dice que no hay una buena utilización del recurso ya que las reses crecen y se extrae el cuero del animal muerto, en la mayoría de los casos todo el resto del animal se desecha ya que son individuos seleccionados mayoritariamente por su cuero y, por tanto, su carne rara vez llega a comercializarse.

Hay reportes que indican que para un crecimiento adecuado del hongo se necesita una temperatura de 30°C, en condiciones de absoluta oscuridad; en poco más de un mes se desarrollan las hifas y forman micelio (Salazar, 2014).

Otros investigadores reportan como sustratos adecuados para este hongo a la corteza de girasol (Bidegain *et al.*, 2014) y a residuos de café (como la pulpa, el tallo y la borra) (Tabares & Toro, 2013). En Ecuador, el aserrín de eucalipto como sustrato está siendo utilizado por la productora de hongos IntiWasi en Tumbaco (Salazar, 2014).

Objetivos e hipótesis de la investigación.

El objetivo general fue el de evaluar el crecimiento miceliar y avance del exudado de *Ganoderma lucidum* en tres sustratos orgánicos a temperatura constante, buscando determinar el que genere mejores condiciones para tal crecimiento.

Los objetivos específicos fueron:

- Comparar las tasas de crecimiento de *Ganoderma lucidum* en tres sustratos orgánicos: aserrín de eucalipto, bagazo de caña y corteza molida de fruto de cacao.
- Determinar la presencia de exudado del micelio de *G. lucidum* en los tres sustratos.
- Determinar el mejor sustrato para el crecimiento miceliar y la producción de exudado de *G. lucidum*.

La hipótesis de trabajo fue la de que al menos uno de los tres sustratos orgánicos utilizados garantiza un crecimiento significativamente mayor de *Ganoderma lucidum*, formulada atendiendo a lo recomendado para este tipo de comparaciones por Yáñez (2010).

Metodología.

La planificación de la investigación y su contextualización teórica fueron realizadas entre septiembre a diciembre de 2018. Los viveros de ensayo (incluidos el laboratorio y el cuarto oscuro) fueron ensamblados y equipados entre diciembre de 2018 a enero de 2019.

Los ensayos de crecimiento del hongo en los diferentes sustratos se efectuaron entre julio y agosto de 2019.

Área de estudio.

El vivero fue ubicado en las instalaciones de FONKIS (Mycocorp Mycorp AAA S.A.), productora de hongos ostra comestibles, ubicadas a 0°10'49"S y 78°19'35"W en la Parroquia rural de Yaruquí, Distrito Metropolitano de Quito, a una altitud de 2415 m s.n.m., en una zona de clima templado-cálido con una temperatura media anual de 15,5°C, con precipitaciones anuales de 852 mm y con la menor precipitación y humedad ambiental registradas entre julio a agosto (GAD Parroquial de Yaruquí, 2018).

En este vivero se desarrollaron todas las fases de germinación y crecimiento, incluidas las de inoculación de fragmentos de micelio, crecimiento de hifas y producción del exudado (Figuras 2 y 3).

Figura 2. Inoculación de sustratos con fragmentos micelias de *G. lucidum*.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Colocación de sustratos en cuarto oscuro a una temperatura de 30°C.



Fuente: Elaboración propia.

Fases de pre-inoculación e inoculación.

Durante la pre-inoculación se obtuvo toda la materia prima; para el caso del aserrín de eucalipto se adquirió en aserraderos del sector de Pifo, mientras que la corteza de cacao molido y el bagazo de caña fueron adquiridos en Nanegalito. Posteriormente, el bagazo de caña se redujo a trozos con ayuda de una picadora eléctrica.

En Yaruquí, los tres sustratos fueron secados completamente al sol sobre láminas estériles de plástico, buscando no solo secar el material si no también reducir agentes contaminantes como hongos y bacterias. El material ya seco ingresó al proceso de producción.

Para comenzar la producción, se procedió a enriquecer cada sustrato lignocelulósico con: suplementos nutricionales procedente de granos (afrecho de trigo), un regulador de pH (carbonato de calcio, CaCO_3) y un controlador de tamaño de partícula del sustrato (yeso, SO_4Ca más agua, H_2O) (de acuerdo con lo recomendado por Bidegain, 2017).

Las cantidades colocadas de estos elementos (Figura 4) en cada bolsita experimental atendieron a lo propuesto por Flores & Salazar (2016): 100 gr de afrecho de trigo, 63 gr de yeso, 27 gr de carbonato de calcio, 1,25 ml de melaza y 600 ml de agua.

Figura 4. Elementos añadidos a cada sustrato: afrecho de trigo, yeso, carbonato de calcio y melaza.



Fuente: Elaboración propia.

Para obtener una mezcla homogeneizada de cada sustrato se utilizó una mezcladora eléctrica durante 30 minutos; a esta mezcla se le midió el pH con papel tornasol en un recipiente que contuvo dos partes de agua destilada y una del sustrato respectivo; el pH registrado por sustrato fue: aserrín de eucalipto (**Euc**) pH 6, bagazo de caña (**Sac**) pH 6 y corteza de frutos de cacao (**The**) pH 4.

La mezcla homogeneizada por sustrato fue colocada en bolsas plásticas de polipropileno de 18 cm x 38 cm hasta alcanzar 900 gr por bolsa (Figura 5).

Para cada sustrato se prepararon 20 bolsas (total = 60 bolsas), las cuales se cerraron con ligas para proceder a pasteurizarlas en baño maría dentro de recipientes adecuados para mantener el

vapor constante por 16 horas, el interior de estos recipientes alcanzó temperaturas de 90°C (ollas grandes de acero inoxidable colocadas sobre cocinas industriales a gas).

Figura 5. Mezclas homogeneizadas a partir de sustratos de aserrín de eucalipto, bagazo de caña y corteza molida del fruto de cacao: 1 bolsa = 900 gr



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Veinte bolsas de cada sustrato sometido a pasteurización a una temperatura de 90°C



Fuente: Elaboración propia.

Ya pasteurizadas, las bolsas fueron depositadas en el cuarto estéril, cuyos pisos y mesones fueron previamente limpiados con agua y detergente (a una proporción de 1 litro + 50 gr, respectivamente); materiales como pala metálica y recipiente para semilla fueron limpiados con una mezcla similar (0,5 l de agua + 20 gr). Unos minutos después del uso de agua y detergente, mesones y materiales de inoculación fueron sometidos a alcohol incandescente de manera controlada.

Después de pasteurizadas, las bolsas fueron colocadas sobre el mesón del cuarto estéril, se les quitó la liga y se procedió a inocular en cada una de ellas 33 gr de fragmento miceliar de *Ganoderma lucidum* (adquirido en IntiWasi, Tumbaco), poco después fueron pasadas al cuarto oscuro a una temperatura y otras condiciones constantes (30°C, oscuridad, limpieza, entre otras) (Figura 7).

Figura 7. Disposición de bolsas con diferentes sustratos en cuarto oscuro los cuales se midieron 8 veces cada 5 días.



Fuente: Elaboración propia.

La temperatura en tal ambiente fue continua y controlada por *timers*, dispositivos electrónicos con sensores de mercurio que tienen la facultad de ordenar al calefactor apagarse si sobrepasa una temperatura determinada o encenderse si ella es menor a lo requerido.

En cada unidad de sustrato (bolsa) se le dejó una abertura de 1 cm de diámetro en su parte superior para permitir la entrada de oxígeno, mismo que coadyuva al desarrollo de las hifas y posterior conformación del micelio, mismo que cuando maduro produce el exudado que brinda la rigidez y la estructura necesaria para conseguir el “cuero” del hongo; el seguimiento y registro de información del crecimiento se realizó entre abril a mayo de 2019.

Todo el procedimiento descrito buscó simular un microclima óptimo para un adecuado desarrollo del micelio del hongo y a la vez evitar plagas, agentes contaminantes y cambios ambientales excesivos no deseados debidos a variaciones por frío o por calor.

Figura 8. Cuarto oscuro



Fuente: Elaboración propia.

Fase de Registro de Información.

Después de haber efectuado la inoculación respectiva, se empezó el registro del crecimiento del micelio de manera regular a lo largo de ocho semanas en todas las bolsas correspondientes a los tres sustratos: aserrín de eucalipto (**Euc**), bagazo de caña (**Sac**) y corteza de frutos de cacao (**The**).

Para la medición del crecimiento miceliar se usó una regla curva y se midió la longitud alcanzada por el micelio de manera periódica en las cuatro caras de la bolsa, obteniendo cada vez el promedio respectivo. Esta medición se realizó cada 5 días hasta completar 8 mediciones. Al final de los dos meses se registró el volumen total que ocupó el micelio dentro de cada bolsa.

Finalmente, ya maduro el micelio produce el exudado debido a su metabolismo natural, con esto se registró el primer día de apareamiento y posteriormente se siguió registrando la presencia y ausencia del exudado en los diferentes sustratos orgánicos.

Organización y Análisis de la Información.

La información sobre el crecimiento del micelio fue registrada en hojas electrónicas. Comparaciones semanales de las longitudes miceliarias alcanzadas en los tres sustratos, como una medida indirecta del éxito de crecimiento, fueron efectuadas a través de una serie de Análisis de Varianza de Una Vía, atendiendo a lo recomendado por Yáñez (2005, 2010).

En el presente trabajo se utilizó el método *a posteriori* de Tukey después del ANOVA para determinar las diferencias significativas entre tratamientos (tres sustratos).

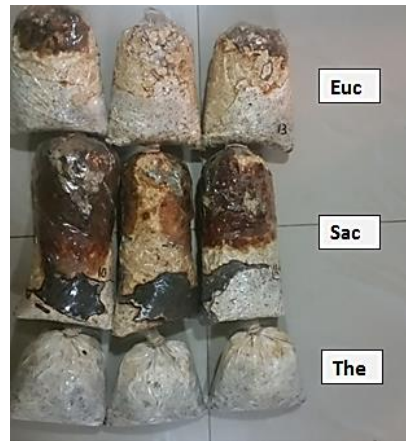
Resultados y discusión.

Resultados.

Avance del exudado miceliar.

En la Figura 9 se puede apreciar algunas bolsas experimentales al final de las ocho semanas, obsérvese la coloración café - clara y café - oscura en los sustratos de eucalipto (**Euc**) y caña de azúcar (**Sac**), mismas que denotan la aparición y avance en el sustrato por parte del exudado miceliar de *Ganoderma lucidum*; asimismo, puede apreciarse la ausencia de producción del exudado en el sustrato procedente de cacao (**The**).

Figura 9. Bolsas experimentales correspondientes a los tres sustratos al final de las ocho semanas de observación.

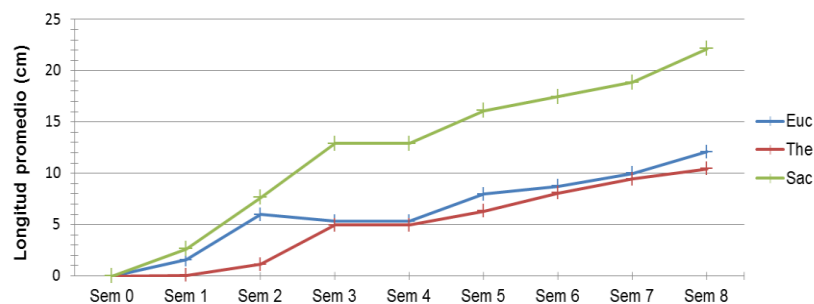


Fuente: Elaboración propia.

Crecimiento miceliar.

En la Figura 10 se puede apreciar la evolución del crecimiento miceliar en los tres sustratos a lo largo de las ocho semanas. El sustrato en el que la dinámica de crecimiento fue siempre mayor y más rápida fue el de bagazo de caña (**Sac**); el sustrato con menor dinámica fue la corteza molida de cacao (**The**).

Figura 10. Evolución de crecimiento del micelio de *Ganoderma lucidum* en los tres sustratos a lo largo de los 40 días. Notas: 1. Sustratos: **Euc** (aserrín de eucalipto), **Sac** (bagazo de caña), **The** (corteza molida de fruto de cacao). 2. Sem = semana.



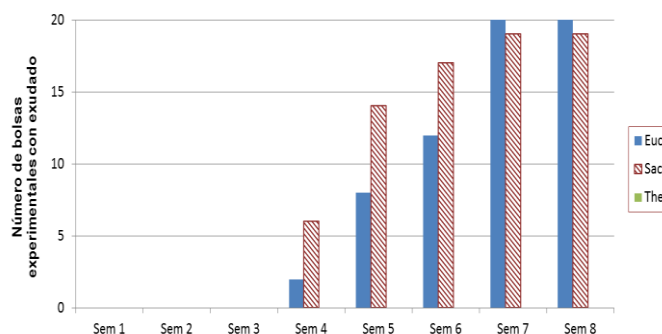
Fuente: Elaboración propia.

Presencia del exudado miceliar.

El exudado miceliar es un conjunto de sustancias liberadas al espacio extracelular del tejido del micelio del hongo, mediante vesículas de la membrana plasmática situadas en tal micelio (Conesa *et al.*, 2001), estas sustancias extracelulares se producen por el metabolismo propio del hongo (López, 2019) y en el caso de *Ganoderma lucidum* tal exudado tiene importantes propiedades textiles.

Al inicio, el exudado miceliar se presentó con mayor frecuencia en **Sac** y algo menor en **Euc**. Al final del ensayo las frecuencias de colonización fueron similares en **Sac** y **Euc**. Cabe mencionar que el exudado nunca llegó a desarrollarse en el sustrato **The**.

Figura 11. Frecuencia de aparición del exudado miceliar de *Ganoderma lucidum* a lo largo de los 40 días en los tres sustratos. Notas: 1. Sustratos: **Euc** (aserrín de eucalipto), **Sac** (bagazo de caña), **The** (corteza molida de fruto de cacao). 2. Sem = semana. 3. N máximo = 20 bolsas por sustrato.



Fuente: Elaboración propia.

Comparación del crecimiento miceliar.

Los resultados de la serie de cuatro pruebas de Análisis de Varianza efectuados con los datos de crecimiento miceliar (Figura 10), así como la interpretación de la Prueba *a posteriori* de Tukey, se presentan en la Tabla 1.

A los diez días de la inoculación de *Ganoderma lucidum* en los tres sustratos (**Sac**, **Euc**, **The**), todos mostraron valores de crecimiento significativamente diferentes entre sí, evidenciándose asimismo que en el que mejor crecimiento hubo fue en el de bagazo de caña (**Sac**).

Este mismo escenario de crecimiento significativamente superior en **Sac** volvió a repetirse a los 20, 30 y 40 días después de la inoculación (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis cualitativos y cualitativos de los resultados de la investigación

Tiempo transcurrido desde la inoculación (días)	Promedios de Crecimiento Miceliar (cm) y tamaño muestral (número de bolsas experimentales) por sustrato			Valores del Análisis de Varianza			Conclusión considerando la Prueba a Posteriori de Tukey
	Euc	The	Sac	F	G1	P	
10	$\bar{x} = 6,0;$ n = 20	$\bar{x} = 1,1;$ n = 20	$\bar{x} = 7,6;$ n = 20	410	2/57	0,00	Sac mostró un crecimiento significativamente mayor a los otros dos sustratos.

20	$\bar{x} = 5,3;$ n = 20	$\bar{x} = 5,0;$ n = 20	$\bar{x} = 12,9;$ n=20	124	2/57	0,00	Sac mostro más eficiencia.
30	$\bar{x} = 8,7;$ n = 20	$\bar{x} = 8,1;$ n = 18	$\bar{x} = 17,5;$ n=19	62.2	2/54	0,00	Sac mostro más eficiencia.
40	$\bar{x} = 12,1;$ n = 20	$\bar{x} = 10,4;$ n = 18	$\bar{x} = 22,1;$ n = 19	52.7	2/54	0,00	Sac mostro más eficiencia.

Nota: 1. Sustratos: Euc (aserrín de eucalipto), Sac (bagazo de caña), The (corteza molida de fruto de cacao). 2. F = Estadístico del Análisis de Varianza, Gl = Grados de libertad y P = valor de la Probabilidad asociada al estadístico.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión.

Considerando que se ha reportado para *Ganoderma lucidum* en éste y otros estudios (Gudro y Ulme, 2011; MycoWorks, 2017) un rápido crecimiento, esto lo vuelve bastante competitivo para la obtención de un textil que pueda reemplazar al tradicional cuero vacuno.

Los sustratos que contienen compuestos de lignina, celulosa y hemicelulosa parecieran ser los mejores para *Ganoderma lucidum*, ya que este hongo necesita dichos compuestos para su crecimiento y desarrollo miceliar, debido a que es un hongo lignocelulítico. Sin embargo, análisis químicos realizados en el presente trabajo ponen en evidencia que no es imprescindible tener sustratos con altos porcentajes de celulosa y lignina, ya que el aserrín de eucalipto presentó 60,4 % de celulosa y 24,0 % de lignina y el bagazo de caña presentó 33,3 % de celulosa y 17,3 % de lignina; A su vez, el análisis presentó también mayores porcentajes de humedad en el bagazo de caña (5,9) que en el aserrín de eucalipto (4,2) (Trujillo & Bonilla, 2019). Dichos análisis no se realizaron para el cacao molido ya que éste mostró ineficiencia generando desarrollo miceliar. En el presente estudio, el bagazo de caña (**Sac**) mostró ser el mejor sustrato para el hongo posiblemente por su alto contenido de humedad y niveles medios de celulosa.

Cabe mencionar también, que resulta recomendable en la preparación del sustrato el añadir sales estabilizadoras durante el cultivo del hongo (en el presente trabajo se utilizó carbonato de calcio con tal objeto) lo cual suele coadyuvar a la actividad fúngica que mineraliza el sustrato y solubiliza las macromoléculas de lignocelulosa (Postemsky & López, 2016).

Con respecto al pH se debe mencionar que, de acuerdo a lo observado en el presente trabajo, los pH ligeramente ácidos (5-6) facilitan igualmente el desarrollo de *Ganoderma lucidum*. El crecimiento de micelio de *G. lucidum* casi nulo, así como de producción nula de exudado, en

el sustrato de corteza de cacao molido posiblemente se deba a que este sustrato produce un microambiente demasiado compacto en las bolsas experimentales (a partir de las partículas molidas) como para que se produzca una buena aireación y a su vez una adecuada retención de agua, evento también observado por Gurung *et al.* (2012).

Para un buen crecimiento miceliar de *Ganoderma lucidum*, por tanto, parecen necesitarse sustratos más blandos y con mayor tamaño de partícula, mismos que puedan brindar suficiente aireación y flujo de agua, lo cual sí ocurrió con el sustrato **Sac**.

Considerando lo anterior, podemos mencionar que un buen sustrato para *G. lucidum* sería aquel que garantice simultáneamente una buena cantidad de agua y elementos nutricionales necesarios, así como la captura fácil de los mismos por parte del hongo; asimismo, que tenga un adecuado tamaño de partícula que permita un anclaje adecuado para las hifas y el micelio en general y a la vez una buena aireación, principalmente. Algunos de estos elementos han sido también propuestos por investigadores como Torres *et al.* (2011) y Postemsky & López (2016).

A su vez concordamos con otros investigadores como Salazar (2014), en torno a que el desarrollo del hongo se ve favorecido a una temperatura de 30°C, en condiciones de absoluta oscuridad.

Agradecimientos.

Al biólogo Andrés Salazar de Intiwasi por haber cooperado con su experiencia y comentarios técnicos para la producción orgánica de hongos. A las instalaciones de FONKIS (Mycocorp Mycorp AAA S.A.), las cuales hicieron posible el desarrollo de todas las fases de crecimiento de *Ganoderma lucidum*. Finalmente, se agradece a la familia del primer autor por el apoyo en procesos de producción y otras actividades logísticas.

Conclusiones:

- El sustrato que permitió mejor crecimiento del micelio, así como mayor generación del exudado miceliar fue el de bagazo de caña (Sac). Este sustrato reunió las condiciones necesarias, de entre los tres utilizados, para el óptimo desarrollo de *Ganoderma lucidum*.
- Asimismo, cabe recalcar que para el cultivo y desarrollo de este hongo se pueden aprovechar residuos agroindustriales (provenientes de otras actividades económicas) tales como el bagazo de caña u otro de características similares; evitando que estos residuos no sean mal dispuestos ni considerados como no utilizables, pudiendo dárseles un nuevo uso y provecho, coadyuvando a que la producción de *Ganoderma lucidum* pueda generar una dinámica de economía circular, meta referencial a alcanzar en una adecuada gestión de especies vegetales y fúngicas silvestres no maderables de interés comercial (Yáñez, 2012).

Referencias Bibliográficas.

- Adzet, J., Bonet, J., & Soler, J. (1985). *Química Técnica de Tenería*. Barcelona: Romanya / Valls. Disponible en: <http://www.cueronet.com/tecnica/quimica_tecnica.htm#biblio>.
- Baldini, A., & Pancel, L. (2002). *Agentes de daño en el bosque nativo*. Santiago de Chile: Edit. Universitaria. 170pp.
- Batra, P., Sharma, A., & Khajuria, R. (2013). Probing Lingzhi or Reishi Medicinal Mushroom *Ganoderma lucidum* (Higher Basidiomycetes): A Bitter Mushroom with Amazing Health Benefits. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 15(2), 127–143.
- Bidegain, M., Postemsky, P., González, R., Figlas, D., Devalis, R., Delmastro, S., Pereyra, C., Curvetto, N., & Cubitto, M. (2014). Optimización de la producción del hongo medicinal Reishi (*Ganoderma lucidum*) para el desarrollo de nutraceuticos y fitoterápicos. Bahía Blanca: Laboratorio de Biotecnología de Hongos Comestibles y Medicinales, Universidad Nacional del Sur.
- Bidegain, M. (2017). Optimización del cultivo de *Ganoderma lucidum* para evaluación de actividad y desarrollo de nutraceuticos. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur. Tesis de doctorado en ciencias y tecnología de los alimentos.
- Conesa, A., Punt, P., Van Lujik, N., & Van den Hondel, C. (2001). The secretion pathway in filamentous fungi: a biotechnological view. *Nederland. Fungal Genet Biol*, 3, 155-171.
- Flores, J., & Salazar, A. (2016). *Curso de Cultivo de Hongos*. Quito. Disponible en: <<http://cultivarhongos.simplesite.com>>.
- GAD Parroquial - Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Rural de Yaruquí. (2018). *Fundación, hitos y ubicación histórica de la parroquia de Yaruquí*. Quito. Disponible en: <<http://www.yaruqui.gob.ec/web/index.php/contenido/item/historia>>.
- Gudro, I., & Ulme, A. (2011). Opportunities of Raw Hide Using as a Sustainable Material in Latvia. *Sustainable Spatial Development*, 3, 103-107.
- Gurung, O., Budathoki, U. & Parajuli, G. (2012). Effect of Different Substrates on the Production of *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) Karst. *Our nature*, 10(1), 191-198.

- Hidalgo, M., & Meléndez, J. (2012). Diseño de un modelo para medir la productividad para una empresa manufacturera de cueros. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Trabajo de Titulación.
- López, B. (2019). Excreción en hongos: procesos y características. Disponible en <<https://www.lifeder.com/excrecion-en-hongos/>>
- MycoWorks. (2017). Transformamos el micelio y los subproductos agrícolas en cuero. San Francisco. Disponible en: <<http://www.mycoworks.com/portfolio/technology/>>.
- Notas Naturales. (2019). Reishi: beneficios y contraindicaciones del *Ganoderma lucidum*. Disponible en: <<https://www.notasnaturales.com/reishi-contraindicaciones-beneficios-dosis/>>.
- Paredes, L. (2012). Obtención de cuero anapado para vestimenta con la utilización de diferentes niveles de aceites sintéticos en combinación con aceite de pescado hidrogenado. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Trabajo de Titulación.
- Postemsky, P., Delmastro, S., & Curvetto, N. (2014). Effect of edible oils and Cu (II) on the biodegradation of rice by-products by *Ganoderma lucidum* mushroom. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 93, 25–32.
- Postemsky, P., & López, R. (2016). Aplicación de sustratos residuales del cultivo de hongos en la producción hortícola. Buenos Aires: ASAHO.
- Salazar, W. (2014). Diversidad de los géneros *Ganoderma* y *Amauroderma* en el Ecuador. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Trabajo de Titulación.
- Tabares, F., & Toro, C. (2013). Actividad antiinflamatoria y antioxidante del extracto etanólico del hongo *Ganoderma lucidum* cultivado en residuos de la industria cafetera y fructificado bajo radiaciones del espectro visible de longitudes de onda específica. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Trabajo de grado.
- Torres, A., Quintero, J. & Atehortua, L. (2011). Efectos de nutrientes sobre la producción de biomasa del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*. Bogotá. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13, 103-109.

- Trujillo, H. & Bonilla, O. (2019). Análisis de contenido de grasas, ceras y resinas: celulosa y lignina en fibras de aserrín de eucalipto y bagazo de caña de azúcar. Quito: Departamento de Ingeniería Química. Escuela Politécnica Nacional.
- Vázquez, J., Romero, O., Tello, I., Rivera, A., & Bernal, H. (2015). Evaluación de granos agrícolas para la elaboración artesanal de inóculo de *Ganoderma lucidum*. Octubre-2015 (La Plata). V Congreso Latinoamericano de Agroecología - SOCLA. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 5p.
- Yáñez, P. (2005). *Biometría y Bioestadística fundamentales. Analizando la estructura numérica de la información en proyectos ecológicos*. Quito. 130pp.
- Yáñez, P. (2010). Análisis de Varianza. En P. Yáñez, *Biometría y bioestadística fundamentales* (pág. 58). Quito.
- Yáñez, P. (2012). Consideraciones para el diseño y aplicación de planes de manejo de especies vegetales silvestres no maderables de interés comercial. *Qualitas*, 4, 31-40.
- Yáñez, P. (2014). *Ecología y biodiversidad: un enfoque desde el neotrópico*. Quito-Ecuador. UNIBE/UIDE. 172pp.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Ávila López, A., & Yánez Moretta, P. (2020). Evaluación de la eficiencia del crecimiento del micelio de *Ganoderma lucidum* (Ganodermataceae), un hongo con alto potencial de uso textil en Ecuador, en tres sustratos orgánicos. *Ciencia Digital*, 4(3), 210-228. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1324>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

