

Caracterización de hongos Basidiomicetos en el municipio de Málaga,  
Santander: Diversidad y distribución de setas con potencial en alimentación animal

Jorge Alejandro Ortiz Méndez

Trabajo de grado para Optar al título de Zootecnista

Directora

Luisa Fernanda Mendoza Morales

PhD(c) Biología molecular y Biotecnología

Codirector

Daniel Felipe Torres Ruda

Ms Reproducción Animal

Universidad industrial de Santander

Instituto de proyección regional y educación a distancia IPRED

Programa de Zootecnia

Bucaramanga

2026

### **Dedicatoria**

Dedico este logro a Dios, por darme la fortaleza y sabiduría necesaria para culminar este proceso.

A mi familia por su apoyo incondicional, paciencia y motivación constante a lo largo de mi formación profesional.

A mis compañeros que durante todo el proceso hicieron que disfrutara de hacer parte de esta profesión.

A mis docentes, quienes con su conocimiento y, sobre todo, su orientación contribuyó de manera significativa a mi crecimiento académico y personal.

A mi directora de trabajo de grado por su confianza, guía, paciencia y su orientación que fue clave para este importante logro.

**Jorge Alejandro Ortiz Méndez**

## **Agradecimientos**

A Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mis papás por ser el motivo principal, su comprensión y apoyo incondicional para alcanzar este gran logro.

A mis compañeros que durante todo el proceso fueron un gran apoyo en situaciones complicadas, a mis docentes que compartieron su conocimiento con paciencia y dedicación haciendo algo especial de formarse como zootecnista.

A mi directora de tesis, que creyó, me acompañó, guio y compartió su conocimiento.

“Este logro no solo me pertenece a mí, sino también a todos los que creyeron en mí.”

**Jorge Alejandro Ortiz Méndez**

## Tabla de Contenido

	Pag.
<b>Introducción</b> .....	13
1. Objetivos .....	15
1.1. Objetivo general .....	15
1.2. Objetivos específicos .....	15
<b>2. Marco teorico</b> .....	16
2.1. Importancia de los hongos en los ecosistemas.....	16
2.2. Diversidad de hongos en bosques andinos y su relación con especies nativas .....	17
2.3. Funciones ecológicas: descomposición, micorrización y ciclado de nutrientes .....	18
2.4. Hongos macromicetos.....	19
2.4.1. Clasificación general .....	19
2.4.2. Características de los cuerpos fructíferos y su valor ecológico y económico.....	20
2.5. Estudios previos sobre diversidad de macromicetos en Colombia .....	20
2.6. Biotecnología aplicada a macromicetos .....	22
2.6.1. Clonación y propagación de cepas fúngicas.....	22
2.7. Producción de semilla micelial .....	24
2.7.1. Concepto y técnica básica para la producción de semilla .....	24
2.7.2. Sustratos usados para la producción de semilla .....	24
2.7.3. <i>Factores que afectan la calidad del inoculo</i> .....	25
2.8. Aplicaciones de los hongos en la alimentación animal.....	25
2.8.1. Uso de hongos comestibles y sus derivados .....	25
2.8.2. Micelio como suplemento en dietas animales .....	25
2.8.3. Reportes en aves de corral y otros monogastricos .....	26
<b>3. Metodología</b> .....	26
3.1. Tipo y enfoque de investigación .....	26
3.2. Áreas de estudio y recolección de muestras.....	27
3.3. Identificación de hongos macromicetos .....	29
3.4. Clonación in vitro, medios y sustrato.....	30

3.5. Producción de semilla.....	32
3.6. Producción de micelio en grano.....	33
3.7. Potencial de producción y aprovechamiento posible .....	35
3.8. Experimento con pollos de engorde suplementados con maíz micelado por <i>Pleurotus Ostreatrus</i> .....	35
3.8.1. Semilla de maíz colonizada para experimento.....	36
<b>4. Resultados</b> .....	37
4.1. Basidiomicetos caracterizados en el área de estudio .....	37
4.2. Resultados de la clonación <i>in vitro</i> y crecimiento micelial .....	59
4.3. Producción de semilla micelial.....	60
4.4. Caracterización bromatológica del maíz micelado por <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	61
4.5. Evaluación exploratoria del uso zootécnico en pollos de engorde .....	63
<b>5. Discusión</b> .....	65
5.1. Integración de la caracterización fúngica y el aprovechamiento zootécnico .....	65
<b>6. Conclusiones</b> .....	70
<b>7. Recomendaciones</b> .....	71
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	73
<b>Apéndices</b> .....	78

**Lista de Figuras**

	<b>Pag</b>
<b>Figura 1.</b> Datos sobre el sendero .....	27
<b>Figura 2.</b> Hongos en diferentes sustratos .....	28
<b>Figura 3.</b> Recolección de hongos (Ramalia y Lactarius) .....	29
<b>Figura 4.</b> Inoculo para producción .....	32
<b>Figura 5.</b> Placas usadas para la clonación y colonizadas mostrando el crecimiento micelial .....	59
<b>Figura 6.</b> Semilla micelada.....	60
<b>Figura 8.</b> Pollos de 14 días y 45 días.....	63
<b>Figura 9: Apéndice A</b> .....	78
<b>Figura 10: Apéndice B</b> .....	79

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Clonación de hongos mediante fragmentos de tejido estéril aislado de hifas regenerativas. ....	31
<b>Tabla 2.</b> Producción de semilla en granos de sorgo y maíz. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Procesos realizados durante la producción de la semilla utilizada durante la investigación. ....	34
<b>Tabla 4.</b> Proceso de división de la semilla de maíz y su debida esterilización .....	34
<b>Tabla 5.</b> Total, de hongos encontrados durante los muestreos realizados en el sendero a cueva pintada, .....	37
<b>Tabla 6.</b> Análisis bromatológico en micelio y residuos de estipo seco .....	61
<b>Tabla 7.</b> Cuento de morfotipos encontrados según el sustrato.....	67

**Lista de apéndices**

	<b>Pag.</b>
<b>Apendice A.</b> Producción de medios y semilla de los hongos clonados.....	78
<b>Apendice B.</b> Experimento con pollos de la línea Cobb .....	79

## Glosario

**Basidiomicetos:** grupo de hongos que producen esporas sexuales llamadas basidiósporas (Alexopoulos, Mins, & Blackweel, 1996)

**Basidio:** estructura reproductiva donde se forman las basidiósporas (Alexopoulos, Mins, & Blackweel, 1996)

**Basidiospora:** espora sexual producida por los basidiomicetos (Kirk, Cannon, Stalpers, & Minter, 2008)

**Basidiocarpo:** cuerpo fructífero visible del hongo (Watkinson, Boddy, & Money, 2016)

**Biodiversidad:** variedad de organismos vivos en un ecosistema (Vasco-Palacios & Franco-Molano, 2013)

**Caracterización:** proceso de identificación y descripción de organismos (James G. Cappuccino, 2017)

**Colonización:** proceso de establecimiento del micelio sobre sustrato (Miles & Chang, 2004)

**Espora:** unidad reproductiva que permite la dispersión del hongo (Kirk, Cannon, Stalpers, & Minter, 2008)

**Fermentación:** proceso metabólico realizado por microorganismos (Michael T. Madigan, 2018)

**Hifa:** filamento microscópico que forma el micelio (Deacon, 2006)

**Micelio:** conjunto de hifas que constituye el cuerpo vegetativo del hongo (Deacon, 2006)

**Micología:** rama de la biología que estudia los hongos (Alexopoulos, Mins, & Blackweel, 1996)

**Pleurotus ostreatus:** hongo comestible conocido como hongo ostra (Sánchez, 2009)

**Producción animal:** actividad orientada al aprovechamiento productivo de los animales (FAO, 2011)

**Sustrato:** material sobre el cual crece el hongo y obtiene los nutrientes necesarios para poder crecer y desarrollarse (Miles & Chang, 2004)

## Resumen

**Título:** Caracterización de hongos basidiomicetos en el municipio de Málaga, Santander: Diversidad y distribución de setas con potencial en alimentación animal\*

**Autor:** Jorge Alejandro Ortiz Méndez \*

**Palabras clave:** macromicetos, biodiversidad, clonación, biotecnologías, ecosistemas andinos.

### Descripción

El estudio sobre los hongos en ecosistemas de alta montaña representa un gran aporte para la conservación y el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad. El objetivo de esta investigación fue caracterizar los hongos macromicetos que están presentes en bosques altoandinos como robledales del municipio de Málaga Santander, en el sendero a cueva pintada, que se visitaron en dos temporadas, una durante temporada de lluvias y otra en temporada seca. Para realizar esta investigación se realizaron muestreos de campo entre marzo y junio de 2025 en cuatro tipos de hábitat: bosque alto andino, bosque húmedo premontano, en algunas partes de bosque seco tropical y en zonas agropecuarias que constaban con la misma altitud de los bosques hablados. Las especies recolectadas fueron descritas mediante análisis morfológicos con apoyo de guías y otras fuentes.

Los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio muestran un alto nivel en cuanto a su potencial ecológico y biotecnológico de la micobiota local, y así mismo buscar maneras de implementar estrategias de conservación que integren a las comunidades campesinas y demás instituciones con un fin productivo y social. Se concluye que los hongos macromicetos en Málaga conforman un recurso importante tanto para la ciencia como para el desarrollo social y desarrollo rural sostenible.

En particular, se observó que la colonización fúngica generó modificaciones en la matriz nutricional, asociadas a procesos de degradación lignocelulósica y síntesis de compuestos estructurales como  $\beta$ -glucanos y quitina. Así mismo, los resultados sugieren un potencial de estos materiales como fuente alternativa en alimentación animal, no solo por su valor nutricional, sino también por la presencia de compuestos funcionales con posible efecto inmunomodulador. Estas características posicionan a los macromicetos como una opción viable dentro de estrategias de producción más sostenibles.

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED). Programa Zootecnia. Director: Luisa Fernanda Mendoza Morales. PhD Biología molecular y Biotecnología. Codirector: Daniel Felipe Torres Ruda. Ms Reproducción Animal

## Abstract

**Title:** Characterization of basidiomycete fungi in the municipality of Málaga, Santander: Diversity and distribution of mushrooms with potential in animal feed\*

**Author:** Jorge Alejandro Ortiz Méndez \*

**Key Words:** macromycetes, biodiversity, cloning, biotechnologies, Andean ecosystems.

### Description

The study of fungi in high-mountain ecosystems represents a significant contribution to the conservation and sustainable use of biodiversity. The objective of this research was to characterize the macromycete fungi present in high-Andean forests, specifically oak groves, in the municipality of Málaga, Santander, along the trail to Cueva Pintada (Painted Cave). These forests were visited during two seasons: one during the rainy season and the other during the dry season. Field sampling was conducted between March and June 2025 in four habitat types: high Andean Forest, premontane humid forest, parts of tropical dry forest, and agricultural areas at the same altitude as the forests. The collected species were described through morphological analysis using field guides and other sources.

The results obtained in both the field and laboratory demonstrate the high ecological and biotechnological potential of the local mycobiota. Furthermore, the research aims to identify ways to implement conservation strategies that integrate rural communities and other institutions for productive and social purposes. It is concluded that macromycete fungi in Málaga constitute an important resource for both science and social and sustainable rural development.

In particular, fungal colonization was observed to generate modifications in the nutritional matrix, associated with lignocellulosic degradation processes and the synthesis of structural compounds such as  $\beta$ -glucans and chitin. Furthermore, the results suggest the potential of these materials as an alternative source of animal feed, not only due to their nutritional value but also because of the presence of functional compounds with a possible immunomodulatory effect. These characteristics position macromycetes as a viable option within more sustainable production strategies.

---

\* Thesis

\*\*Regional Extension and Distance Education Institute (IPRED). Animal Science Program. Director: Luisa Fernanda Mendoza Morales, PhD in Molecular Biology and Biotechnology. Co-director: Daniel Felipe Torres Ruda, Master in Animal Reproduction..

## Introducción

El reino *Fungi* constituye uno de los grupos biológicos más diversos y ecológicamente relevantes de los ecosistemas terrestres, debido a su papel fundamental en procesos como la descomposición de la materia orgánica, la ciclicidad de nutrientes y las interacciones simbióticas y patogénicas con plantas y otros organismos. En países megadiversos como Colombia, la riqueza fúngica es considerablemente alta; sin embargo, gran parte de esta diversidad permanece poco documentada, especialmente a escala regional, lo que limita la comprensión integral de su función ecológica y potencial biológico (Charria-Girón, et al., 2023)

La provincia de García Rovira, en el departamento de Santander, alberga ecosistemas estratégicos como bosques andinos y robledales dominados por *Quercus humboldtii*, los cuales ofrecen condiciones favorables para el desarrollo de una amplia diversidad de hongos. No obstante, los estudios micológicos en esta región son escasos y se concentran principalmente en evaluaciones puntuales, lo que evidencia vacíos importantes en el conocimiento sobre la composición y distribución de la funga local (Uyaban & Ortiz, 2024). Es por esto, que justificamos esta investigación debido a la limitada información que existe sobre la diversidad y potencial uso zootécnico de los macromicetos presentes en Málaga, Santander. Los hongos desempeñan sin duda alguna un papel fundamental en los ecosistemas al participar en procesos de degradación y reciclaje de nutrientes; sin embargo, muchas especies aún no han sido estudiadas desde un enfoque productivo y biotecnológico.

Investigaciones previas realizadas en García Rovira han reportado la presencia tanto de hongos macromicetos como de hongos microscópicos, incluyendo géneros fitopatógenos asociados a procesos de deterioro forestal, lo que resalta la relevancia ecológica y sanitaria de estos organismos en los ecosistemas locales. (Alvarado & Correa, 2023) Asimismo, iniciativas académicas recientes han enfatizado la necesidad de identificar y caracterizar la diversidad fúngica asociada a los bosques de la región, con el fin de generar información científica que respalde estrategias de conservación y manejo sostenible (Asociación Colombiana de Universidades ASCUN, 2024)

El desarrollo de esta investigación permitirá generar información sobre la caracterización y propagación *in vitro* de diferentes especies fúngicas, aportando bases científicas para futuras aplicaciones en alimentación animal y aprovechamiento sostenible de biomasa.

En este contexto, la presente tesis tiene como objetivo la caracterización de los hongos, en especial basidiomicetos, presentes en la provincia de García Rovira, Santander, mediante criterios morfotaxonómicos. (Almeida, et al., 2022) Este estudio busca aportar información primaria sobre la diversidad fúngica regional, contribuyendo al conocimiento científico de un grupo biológico poco explorado y al fortalecimiento de futuras investigaciones ecológicas y de conservación en el nororiente colombiano.

## **1.Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Caracterizar los hongos presentes en Málaga, Santander, mediante criterios morfotaxonómicos, técnicas de cultivo y clonación *in vitro*, con el fin de evaluar su potencial para un posible uso en la alimentación animal.

### **1.2. Objetivos específicos**

Identificar y caracterizar los basidiomicetos recolectados en la provincia de García Rovira, Santander, a partir de características macroscópicas, microscópicas y taxonómicas, que permitan su correcta clasificación.

Realizar la clonación *in vitro* de los hongos caracterizados mediante técnicas de cultivo en medios adecuados, con el propósito de obtener cepas viables y estables para su conservación y estudio.

Evaluar el potencial de utilización zootécnica de los hongos clonados, considerando su posible aplicación en la alimentación animal, la mejora de la salud e inmunidad, y su aprovechamiento como recurso biotecnológico en sistemas de producción.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Importancia de los hongos en los ecosistemas

Los hongos representan uno de los grupos más diversos y menos estudiados de organismos en el planeta. Se estima que existen entre 2,2 y 3,8 millones de especies fúngicas, aunque solo una fracción ha sido descrita científicamente (Hawnksworth & Lücking, 2017). Estos organismos cumplen funciones fundamentales en los ecosistemas, actuando como agentes degradadores primarios de la materia orgánica, lo que permite la liberación y el reciclaje de nutrientes esenciales como el carbono, nitrógeno y fósforo (Osono, 2007). Gracias a este papel, los hongos aseguran la continuidad de los ciclos biogeoquímicos y sostienen la productividad de los ecosistemas naturales.

Adicionalmente, los hongos mantienen relaciones simbióticas con plantas, animales y otros microorganismos. Un ejemplo relevante son las micorrizas, asociaciones entre raíces vegetales y hongos que mejoran la absorción de nutrientes del suelo y aumentan la tolerancia de las plantas frente a condiciones de estrés como sequías o suelos degradados (Smith & Read, 2008). Estas interacciones hacen de los hongos un pilar indispensable en la estabilidad ecológica y en la resiliencia de los sistemas naturales y agroecosistemas.

Los hongos constituyen uno de los grupos de organismos más interesante en los ecosistemas existiendo aproximadamente desde hace 2,15 billones de años. (Moreno, 2016). Al igual que los animales, los hongos deben buscar su propio alimento cumpliendo así un papel importante mientras los hacen. (Heredia-Abarca, 2020). Tienen funciones específicas en los diferentes ecosistemas, realizando labores de descomposición de la materia orgánica, interacciones ecológicas o parásitos. (Heredia-Abarca, 2020). Entre

ellos, los hongos macromicetos han generado mucho interés por su potencial biotecnológico y además por sus aportes medicinales, nutricionales y ecológicos. En especial los géneros como el *Pleurotus* o el *Ganoderma* han aportado no solo como alimento o medicina a la humanidad, sino que también han aportado compuestos bioactivos con efectos antioxidantes, inmunomoduladores y antimicrobianos. (Plosc, et al., 2025)

## **2.2 Diversidad de hongos en bosques andinos y su relación con especies nativas**

En los ecosistemas de montaña de los Andes, la diversidad fúngica está íntimamente ligada a la presencia de especies arbóreas nativas. Los bosques andinos colombianos, particularmente aquellos donde predomina el roble (*Quercus humboldtii*), albergan una gran variedad de macromicetos asociados a la descomposición de hojarasca, madera en descomposición y suelos ricos en materia orgánica (Vasco-Palacios & Franco-Molano, 2013).

La relación entre los hongos y el roble es especialmente relevante en regiones como Santander, Boyacá y Cundinamarca, donde esta especie constituye un elemento clave en la conformación de hábitats. Los macromicetos asociados a *Quercus humboldtii* cumplen funciones no solo en el reciclaje de nutrientes, sino también en la provisión de hábitat y alimento para insectos, aves y pequeños mamíferos (Rangel-Ch, 2017). De esta manera, los hongos actúan como mediadores en la conectividad ecológica de los bosques.

Cabe resaltar que los bosques andinos están sometidos a una fuerte presión antrópica, derivada de la expansión agrícola, la ganadería y la extracción de madera.

Esto amenaza la biodiversidad fúngica, cuyo conocimiento es todavía incipiente en comparación con la flora y fauna más estudiadas (Brummitt & Lughadha, 2003). Por lo tanto, los hongos representan un componente crítico y aún poco explorado para comprender y conservar la biodiversidad de los Andes colombianos.

### **2.3 Funciones ecológicas: descomposición, micorrización y ciclado de nutrientes**

Los hongos macromicetos cumplen un papel insustituible en las funciones ecológicas de los ecosistemas. Entre las más destacadas se encuentran:

**Descomposición:** los hongos degradan la materia orgánica compleja, como celulosa, lignina y quitina, transformándolas en compuestos simples disponibles para otros organismos (Osono, 2007). Esta función convierte a los hongos en reguladores de la disponibilidad de nutrientes en los suelos.

**Micorrización:** a través de las micorrizas, los hongos establecen una relación simbiótica con las plantas. El micelio incrementa la superficie de absorción de las raíces y facilita el acceso a nutrientes como fósforo y nitrógeno. A cambio, los hongos reciben carbohidratos derivados de la fotosíntesis (Smith & Read, 2008).

**Ciclado de nutrientes:** al descomponer residuos vegetales y animales, los hongos liberan nutrientes que son reincorporados a la red trófica, sosteniendo la productividad de los bosques. Este proceso es esencial en suelos de montaña, donde las bajas temperaturas y la alta humedad pueden limitar la descomposición realizada por otros organismos (Guzmán, 2008).

De esta forma, los hongos no solo garantizan el funcionamiento ecológico, sino que también influyen directamente en la fertilidad de los suelos, la regeneración natural de los bosques y la resiliencia frente a perturbaciones ambientales.

## **2.4 Hongos macromicetos**

### **2.4.1 Clasificación general**

Los hongos macromicetos corresponden a aquellos organismos que producen cuerpos fructíferos visibles a simple vista, comúnmente conocidos como setas, callampas o carpóforos. La mayoría pertenecen a los filos *Basidiomycota* y *Ascomycota*, que agrupan especies con relevancia ecológica, alimenticia y medicinal (Alexopoulos, et al., 1996).

En el filo *Basidiomycota* se encuentran géneros como *Agaricus*, *Pleurotus* y *Ganoderma*, caracterizados por producir basidiosporas sobre basidios en estructuras especializadas como sombreros, poros o agujijones (Kirk, et al., 2008). Este grupo incluye una gran proporción de los hongos comestibles cultivados en el mundo, así como especies con importancia medicinal y biotecnológica.

Por otro lado, los *Ascomycota* comprenden especies como *Morchella*, *Tuber* y *Saccharomyces*, cuyo rasgo distintivo es la formación de ascosporas en el interior de ascos (Webster & Weber., 2007). Dentro de este grupo, algunos macromicetos presentan gran valor culinario, como las trufas y colmenillas, mientras que otros han sido aprovechados en la fermentación y la producción de metabolitos secundarios de interés farmacológico.

#### **2.4.2 Características de los cuerpos fructíferos y su valor ecológico y económico**

Los cuerpos fructíferos de los macromicetos cumplen la función principal de dispersar esporas y asegurar la continuidad del ciclo reproductivo de los hongos. Estas estructuras presentan una amplia diversidad morfológica, que incluye formas agaricoides (con sombrero y estípite), poliporoides (con poros en la superficie himenial), gasteroides (cerrados, como en los pedos de lobo) y clavarioides (ramificados) (Lodge, et al., 2004).

El valor ecológico de los cuerpos fructíferos radica en su papel como descomponedores de material lignocelulósico, micorrizógenos asociados a árboles, y en algunos casos, como patógenos que regulan poblaciones vegetales (Mueller, et al., 2007). Además, actúan como fuente de alimento para invertebrados, mamíferos y aves en ecosistemas boscosos, contribuyendo al flujo de energía en las redes tróficas.

En términos económicos, los macromicetos son de gran importancia debido a su uso como alimento, medicina y fuente de compuestos bioactivos. El mercado mundial de hongos comestibles cultivados, como *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes* y *Agaricus bisporus*, se ha expandido de manera sostenida, alcanzando miles de millones de dólares anuales (Royse, et al., 2017). Asimismo, especies medicinales como *Ganoderma lucidum* son valoradas por sus propiedades inmunomoduladoras y antioxidantes, ampliamente utilizadas en la medicina tradicional asiática (Paterson, 2006).

#### **2.5 Estudios previos sobre diversidad de macromicetos en Colombia**

En Colombia, los estudios sobre hongos macromicetos han cobrado importancia en las últimas décadas, particularmente en ecosistemas andinos y de páramo.

Investigaciones realizadas en los Andes orientales, en departamentos como Boyacá, Santander y Cundinamarca, han documentado una alta diversidad de especies, muchas de ellas con potencial alimenticio, medicinal o biotecnológico (Vasco-Palacios & Franco-Molano, 2013).

En Boyacá, se han realizado inventarios en páramos como el de Rabanal, donde se han registrado especies de géneros como *Hygrocybe*, *Clavaria* y *Mycena*, muchas de ellas indicadores de suelos conservados y de alta calidad ecológica (Garzon, 2024). Asimismo, en Cundinamarca, trabajos sobre la biodiversidad de hongos lignícolas han permitido reconocer su papel en la descomposición de madera muerta y en la salud de los bosques andinos (Vasco-Palacios et al., 2014).

En Santander, un departamento ubicado en el nororiente de Colombia sobre la cordillera oriental, se caracteriza por presentar una amplia diversidad de ecosistemas naturales y transformados, lo cual hacen que se convierta en un territorio de alta heterogeneidad ambiental, (Guerrero et al., 2019) donde las investigaciones sobre macromicetos asociados a bosques de roble (*Quercus humboldtii*) han revelado la presencia de especies ectomicorrizógenas que cumplen un papel fundamental en la dinámica y regeneración de estos ecosistemas (Rangel-Ch, 2017). Estos estudios resaltan la importancia de conservar tanto la cobertura boscosa como el microbiota fúngico asociada.

Estos avances, aunque significativos, muestran que el conocimiento de los macromicetos en Colombia sigue siendo incipiente si se compara con otros países. Esto refuerza la necesidad de continuar con investigaciones que integren la taxonomía,

ecología y aplicaciones de este grupo de organismos, los cuales son clave para la sostenibilidad de los ecosistemas altoandinos.

## **2.6 Biotecnología aplicada a macromicetos**

La biotecnología fúngica ha sido el principal promotor de la producción en escala de hongos comestibles o medicinales, combinando métodos tradicionales con herramientas modernas optimizando las producciones, sus metabolitos y diferentes aplicaciones. (Zou, et al., 2023)

### ***2.6.1 Clonación y propagación de cepas fúngicas***

**2.6.1.1 Principios de aislamiento y cultivo in vitro de hongos.** El aislamiento y el cultivo in vitro de hongos macromicetos forma la base de la biotecnología fúngica, ya que da paso para obtener cultivos puros a partir de cuerpos fructíferos o micelio silvestre. El objetivo de este proceso es separar al hongo de otros microorganismos asociados, garantizando la estabilidad genética y fisiológica de la cepa para después poderlos propagar e investigar (Sánchez, 2009)

El aislamiento generalmente se realiza a partir de tejidos internos del cuerpo fructífero, específicamente la región cercana al himenio, ya que estas zonas presentan menor contaminación microbiana. El material se desinfecta superficialmente y se transfiere a medios de cultivo estériles bajo condiciones asépticas necesarias, influyendo en el crecimiento del micelio en condiciones controladas de temperatura, humedad y pH (Miles & Chang, 2004)

El cultivo in vitro permite analizar características como la morfología del micelio, que tan rápido crece ese micelio, capacidad de adaptación a diferentes medios o

sustratos y sobre todo la respuesta a factores ambientales. Estas variables son importantes para la selección de cepas con potencial biotecnológico, ya sea para producción de biomasa, metabolitos secundarios o incluso para cultivo a gran escala (Díaz-Talamantes, Burrola-Aguilar, Aguilar-Miguel, & Mata., dic. 2017.)

Además, la clonación de cepas fúngicas garantiza la conservación de individuos con características favorables o deseables, evitando la variabilidad genética que puede presentarse cuando se trabaja con esporas. Este enfoque es ampliamente usado en hongos comestibles y medicinales como *Pleurotus spp.*, *Lentinula edodes* y *Ganoderma lucidum*. (Sánchez, 2009)

**2.6.1.2 Medios de cultivo utilizados para el cultivo in vitro y retos en la Clonación de hongos silvestres (contaminación, variabilidad, viabilidad).** El éxito del cultivo in vitro y la clonación de hongos macromicetos depende en gran medida del medio de cultivo utilizado, ya que este proporciona los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo del micelio. Los medios de cultivo incluyen agar, dextrosa, peptona, minerales que ofrecen carbono, nitrógeno, minerales, vitaminas (Carrasco, et al., 2018).

La contaminación por bacterias y mohos oportunistas representa uno de los principales obstáculos en la clonación de cepas silvestres. De esta manera, algunas especies presentan crecimiento lento o necesitan condiciones específicas de pH, temperatura y nutrientes (Lou, et al., 2020)

## **2.7 Producción de semilla micelial**

### **2.7.1 Concepto y técnica básica para la producción de semilla**

La semilla micelial es el material vegetativo del hongo utilizado como inóculo para colonizar sustratos sólidos destinados a la producción de biomasa o cuerpos fructíferos. Se obtiene a partir de cultivos puros previamente clonados y se desarrolla sobre granos esterilizados que sirven como soporte y fuente nutricional. Sin duda alguna la calidad de la semilla es el factor primordial para el éxito del proceso productivo (Picornell, et al., 2011). Las técnicas base incluyen la esterilización del sustrato, la inoculación en condiciones asépticas y la incubación bajo parámetros controlados. (Arango & Nieto, 2013)

### **2.7.2 Sustratos usados para la producción de semilla**

Entre los sustratos más utilizados para la producción de semilla micelial se encuentran granos de cereales como el maíz, trigo, sorgo y arroz; los cuales ofrecen una estructura adecuada, alto contenido de carbohidratos y buena disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento del micelio. La elección del sustrato influye en la velocidad con la que se dispersa y la calidad del inóculo producido (Miles & Chang, 2004)

Cada grano presenta características particulares en cuanto a absorción de humedad y textura, lo que puede afectar la aireación y el desarrollo micelial. Por esta razón la elección del sustrato varía según la especie fúngica y la finalidad del cultivo. (Mokochinski *et al.*, 2015)

### **2.7.3 Factores que afectan la calidad del inoculo**

Lo que realmente contribuye a una buena calidad del inoculo micelial son factores como la pureza del cultivo, el contenido de humedad del sustrato, la temperatura de incubación y el tiempo de crecimiento. Realizar un mal manejo puede generar inóculos débiles, con baja capacidad de colonización y mayor riesgo de contaminación. (Sánchez, 2009)

Un inoculo de alta calidad es esencial para garantizar su desarrollo en ensayos experimentales y la eficiencia en aplicaciones productivas, incluyendo su posible uso en sistemas zootécnicos (Arango & Nieto, 2013)

## **2.8 Aplicaciones de los hongos en la alimentación animal**

### **2.8.1 Uso de hongos comestibles y sus derivados**

Los hongos comestibles constituyen una fuente alternativa de proteína, fibra y compuestos bioactivos que pueden ser aprovechados en la alimentación animal. Su biomasa contiene aminoácidos esenciales, polisacáridos funcionales y micronutrientes que pueden contribuir a mejorar la calidad nutricional de las dietas pecuarias (Niego *et al.*, 2021)

### **2.8.2 Micelio como suplemento en dietas animales**

El micelio fungico ha sido evaluado como suplemento alimenticio debido a su contenido de proteínas, fibra dietaria, vitaminas del complejo B y minerales. Además, los  $\beta$ -glucanos presentes en la pared celular han sido asociados con efectos inmunomoduladores en animales de producción, lo que representa un interés particular para la zootecnia (Mu-Long Lu, 2024)

### **2.8.3 Reportes en aves de corral y otros monogástricos**

Estudios experimentales han reportado que la inclusión de micelio o residuos de cultivo de hongos en dietas a aves de corral puede mejorar parámetros productivos e inmunológicos, además de actuar como moduladores de la microbiota intestinal.

(Paredes C., 2020)

En algunos estudios experimentales donde el contenido nutricional de residuos de estípites de hongos comestibles presentaba un porcentaje cercano al 25% de proteína, un alto nivel de fibra y una energía metabolizable baja, relativamente, con (1.173 kcal/kg). (L. S. Erb, 2024)

El residuo del tallo de *Pleurotus ostreatus* puede utilizarse como promotor de crecimiento natural, siendo una alternativa viable a los antibióticos, ya que mejora el rendimiento productivo, la salud y la calidad de carne en pollos de engorde. (C. C. Bormon, 2024)

## **3. Metodología**

### **3.1 Tipo y enfoque de investigación**

La presente investigación se desarrolló bajo un diseño observacional descriptivo, con un muestreo no probabilístico, con alcance exploratorio y aplicado. Es descriptivo porque busca identificar y caracterizar los hongos macromicetos presentes en la provincia de García Rovira en el municipio de Málaga Santander, y experimental porque incluye procedimientos de clonación in vitro y evaluación de su potencial uso en el área de la zootecnia.

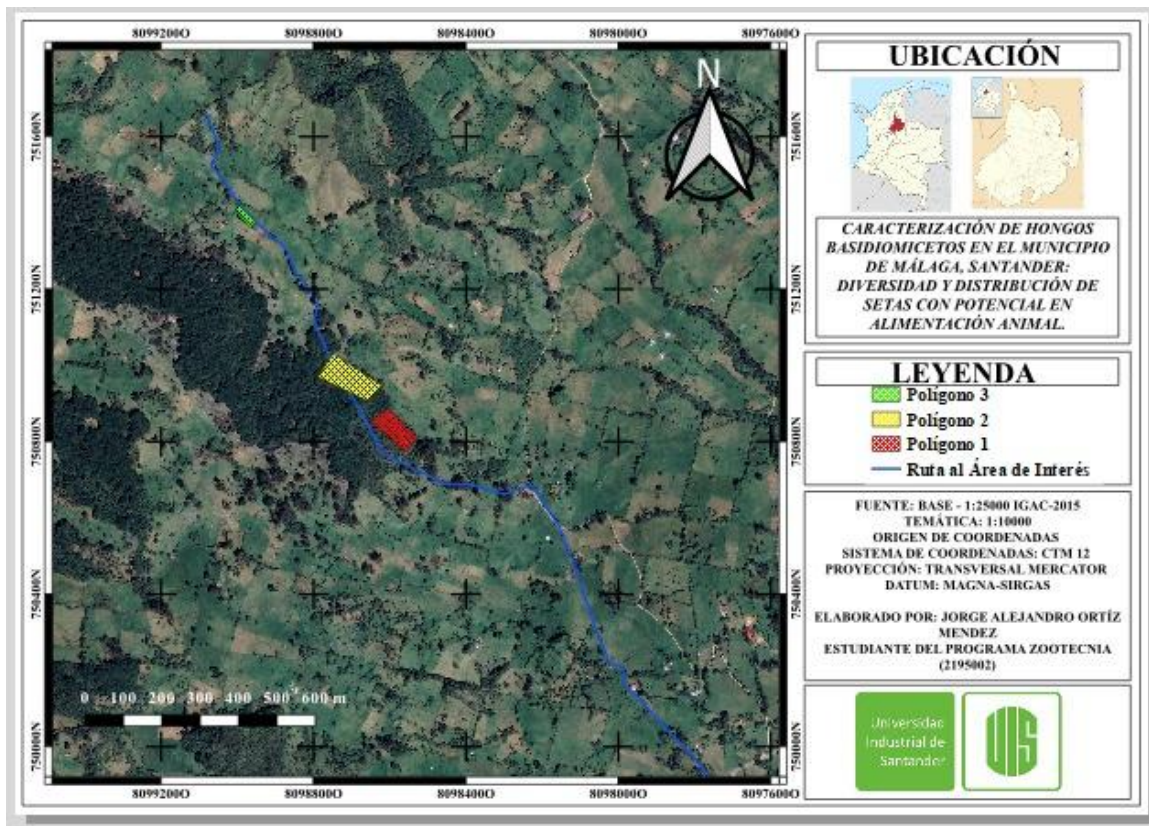
El estudio se enmarca en la investigación aplicada, ya que pretende generar conocimiento útil para el aprovechamiento biotecnológico y zootécnico de los hongos caracterizados.

### 3.2 Áreas de estudio y recolección de muestras

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Málaga, Santander, en la provincia de García Rovira, ubicada a una altitud promedio de 2235 m.s.n.m. (colombia, 2022) se seleccionaron sitios con diferentes tipos de cobertura vegetal como bosques andinos, páramo y algunas zonas agropecuarias, con el fin de analizar la diversidad ecológica del territorio.

#### Figura 1.

*Datos sobre el sendero*



*Nota:* el mapa representa el sendero realizado y también los puntos “bosques” que se usaron como zona de estudio para la investigación.

Se visitaron tres pequeños robledales presentes en el sendero a cueva pintada en los que se encontraron la mayoría de los hongos macromicetos, siendo los basidiomicetos los que fueron caracterizados y manipulados para su posible uso biotecnológico.

Las condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa, tipo de suelo y cobertura vegetal fueron registradas durante cada sesión de muestreo para establecer su relación con la presencia y abundancia de los macromicetos de manera visual y descriptiva concluyendo con estas cantidades de forma observacional.

## **Figura 2.**

### *Hongos en diferentes sustratos*

Hongo en sustrato de pino



Hongo en suelo agrícola



*Nota:* las imágenes muestran dos géneros diferentes de basidiomicetos en dos sustratos en habitat natural

La colecta de hongos se realizó mediante recorridos exploratorios realizando muestreos con búsqueda activa por recorridos. Los individuos encontrados fueron recolectados cuidadosamente con espátulas y codificados por hacer su análisis posteriormente en el laboratorio.

### 3.3 Identificación de hongos macromicetos

Cada espécimen recolectado fue analizado y descrito morfológicamente teniendo en cuenta características macroscópicas como tamaño del basidioma su forma, color, presencia de láminas, esporas, forma del pileo, lamelas, forma y contenido del estipo, tipo de volva, superficie del pileo y textura. De la mano con este análisis, se elaboró un registro fotográfico *in situ* y en laboratorio, que sirvió como apoyo para la clasificación final. Se rotularon la muestra indicando la fecha de recolección, lugar, tipo de sustrato.

#### Figura 3.

*Recolección de hongos (Ramalia y Lactarius)*



*Nota:* la recolección se realizaba de manera completa, para poder extraer por completo el cuerpo fructífero

La identificación taxonómica se llevó a cabo según la forma, tamaño, color del sombrero, tipo de himenio, presencia y características del pie, textura, olor y consistencia; esta información permitió una aproximación taxonómica preliminar

### **3.4 Clonación in vitro, medios y sustrato**





Se realizaron procesos de higienización del lugar del trabajo para poder experimentar de manera más confiable esterilizando el lugar con alcohol al 90% y realizando procesos como la preparación de medios de agar y la clonación por medio del proceso de extracción de esporas presentes en la capa interna del cuerpo fructífero, la cual haya tenido el menor contacto con el exterior.

Con el propósito de conservar y evaluar el potencial biotecnológico de los macromicetos recolectados, se realizaron clonaciones a partir de fragmentos de tejido estéril de hifas regenerativas para el aislamiento de micelio. Los fragmentos fueron sembrados en medios de cultivo sólidos, utilizando PDA, Malta y Sabouraud. La selección del medio de cultivo se efectuó según el origen del hongo: árboles vivos, madera en descomposición o suelo, con el fin de favorecer su crecimiento y adaptación in vitro.

Al realizar la extracción de la porción menos contaminada se realizaron las inoculaciones en las cajas de (*Tabla 1*) que contenían los medios utilizados, se realizaron siembras en los tres medios diferentes para cada tipo de hongo.

**Tabla 1.**

*Clonación de hongos mediante fragmentos de tejido estéril aislado de hifas regenerativas.*

Medios del cultivo	Cultivo de pleurotus spp. colonizados	Cultivo de pycnoporus spp	Replicación con fragmento clonado
			

*Nota:* técnicas usadas para la clonación

El micelio en crecimiento fue replicado a nuevas placas de cultivo y conservado en refrigeración a 4 °C (*Figura 4*). Adicionalmente, el micelio que creció en la segunda generación en placa se inoculó en semillas de sorgo y maíz quebrado, como estrategia de conservación y con el propósito de disponer de un inóculo viable para su posterior utilización en sustratos destinados a la producción de cuerpos fructíferos a escala

**Figura 4.***Inoculo para producción*

### 3.5 Producción de semilla

Se utilizaron en total 7 kg de sorgo como semilla inicial y 25 kilos de maíz, las cuales fueron previamente hidratadas por tiempos respectivos, el maíz se usó quebrado en partículas más pequeñas y luego fueron estelarizados en una autoclave.

### 3.6 Producción de micelio en grano

Para obtener la semilla micelada se utilizó maíz y sorgo previamente lavada, hidratada y esterilizada como medio para el crecimiento del micelio de *Pleurotus ostreatus*, *Pycnoporus sanguineus* y *Lentinus crinitus* (Tabla 2 y 3). Posteriormente, en esta semilla procesada fue inoculado un 10% del peso total de cada elemento usado como sustrato de la siguiente manera; en bolsas de polipropileno estériles que fueron agrupadas para el resultado final en grupos de 450 gr de semilla procesada (tabla 4) y 50 gr de semilla de sorgo micelada, las cuales se mantuvieron a temperatura ambiente, en un lugar oscuro por aproximadamente 8 a 12 días hasta observar la colonización completa de la semilla. Durante el proceso se realizaron controles de calidad para descartar contaminaciones bacterianas o fúngicas competidoras.

**Tabla 2.**

*Producción de semilla en granos de sorgo y maíz.*

Semilla de sorgo colonizada	Semilla de maíz colonizada	Diferentes pruebas con semilla de maíz
-----------------------------	----------------------------	--



**Tabla 3.**

*Procesos realizados durante la producción de la semilla utilizada durante la investigación.*

Semilla de sorgo micelada	Semilla de maíz inoculada por semilla de sorgo colonizada	Contenedor diseñado para la esterilización del material
		

Se uso la semilla de sorgo como semilla inicial para el hongo, a fin de que unos días colonizada pudiera servir como semilla para la cantidad total de maíz.

**Tabla 4.**

*Proceso de división de la semilla de maíz y su debida esterilización*

Semilla de maíz dividida en 450 gr	Semilla ya esterilizada
---------------------------------------	-------------------------



### **3.7 Potencial de producción y aprovechamiento posible**

A partir de los resultados de caracterización y clonación, se evaluó el potencial productivo y de aprovechamiento zootécnico de los basidiomicetos estudiados. En la tabla de caracterización (*Tabla 5*) se sintetiza la posible aplicación de cada género de sistemas productivos.

Se busco identificar qué géneros presentan alto potencial para la producción de biomasa de estos mismos, o tambien que otros destacan por su posible uso en la alimentación animal, mejoramiento de sustratos o como agentes ecológicos de biotransformación de residuos orgánicos.

### **3.8 Experimento con pollos de engorde suplementados con maíz micelado por *Pleurotus Ostearus***

Se realizó de manera experimental para tomar datos opservacionales o descriptivos y evaluar el potencial de la semilla de maíz micelada, considerando que el aporte de maíz como fuente de energía y la posible contribución de proteína por parte del micelio de la orellana.

Durante el experimento fueron evaluados 100 pollos de engorde de la línea Cobb, los cuales fueron divididos de a 12 y 12 pollos en cuatro tratamientos con dos replicas, siendo:

T1 el tratamiento control

T2 inclusión de semilla micelada al 5%,

T3 inclusión de semilla al 10%

T4 inclusión de semilla al 20%,

para un total de 24 pollos por cada uno de los tratamientos.

Se suministró con la semilla micelada desde el día 14 hasta el día 45; durante el experimento se evaluó la palatabilidad y el posible uso como inmunomodulador para evitar el uso de antibióticos en tratamientos contra la bronquitis o la ascitis, esto de manera experimental y de forma descriptiva únicamente.

### ***3.8.1 Semilla de maíz colonizada para experimento***

La semilla micelada fue evaluada mediante un análisis bromatológico que se realizó al inicio del experimento de suministro de la semilla, pero cuyos resultados llegaron un poco después del inicio del experimento.

Esta semilla fue almacenada en un cuarto fresco y sin la luz directa del sol, con condiciones propias de temperatura, humedad; adicional a esto, la semilla fue suministrada en proporción del alimento diario que se daba bajo la guía de alimentación de la casa comercial ITALCOL, de manera que se calculaba el mismo peso para cada uno de los tratamientos, basándose en el porcentaje propuesto.

## 4. Resultados


### 4.1 Basidiomicetos caracterizados en el área de estudio

Durante los recorridos de campo realizados en los bosques del sendero a Cueva Pintada, municipio de Málaga, Santander, se registró la presencia de diversos hongos macromicetos, predominando especies pertenecientes a la división *Basidiomycota*. La mayor abundancia de ejemplares se observó en zonas con cobertura de bosque de *Quercus humboldtii* y en sustratos lignocelulósicos en diferentes estados de descomposición.

Los 28 géneros que fueron identificados (*Tabla 5*) incluyeron *Pleurotus*, *Trametes*, *Lentinus*, *Polyporus*, *Lepista* y *Macrolepiota*, los cuales fueron seleccionados por presentar características morfológicas con hongos de interés biotecnológico y zootécnico. La identificación se realizó a nivel de género mediante criterios macroscópicos como forma del basidioma, tipo de himenio, textura, coloración y sustrato de crecimiento. anexo 1: [GUIA MORFOLOGICA DE HONGOS.pdf](#)

#### Tabla 5.

*Total, de hongos encontrados durante los muestreos realizados en el sendero a cueva pintada,*

Foto	Género	Especie	Origen / Sustrato	Grupo funcional	Metabolitos / Enzimas relevantes	Potencial uso en producción animal
	Suillus	<i>Suillus luteus</i>	Hojarasc a de pino	Ectomicorri cico	Fofatasas, compuestos fenolicos	Posible mejora indirecta de sistemas silvopastorlies; aumento de disponibilidad nutricional del suelo



Lepista

*Lepista*  
*spp*

Hajarasc  
a de pino,  
residuos  
vegetales  
o  
potreros

Saprófito

Polisacarido  
s,  
compuestos  
antioxidante  
s

Compuestos  
nutraceuticos que  
sirven como  
alimento y medicina;  
suplemtno funcional  
experimental



Pleurotu  
s


*Pleurotu  
s spp*

Madera  
muerta o  
en  
descomp  
osicion


Saprófito  
lignocelulol  
ítico

laccasa,  
mnp, lip,  
celulasas,  
xilanasas,  
 $\beta$ -glucanos,  
proteasas


Ayuda a mejorar la  
digestibilidad,  
inmunomodulacion  
, suplementacion  
nutricional, y se ha  
usado en algunas  
dietas para  
animales

Foto	Género	Especie	Origen / Sustrato	Grupo funcional	Metabolitos / Enzimas relevantes	Potencial uso en producción animal
	Lycoper don	<i>Lucoper don perlatus</i>	Suelo y hojarasca , pastizale s y bosques	Saprófito	Polisacarido s bioactivos, compuestos antimicrobia nos	Posible potencial como inmunomodulador en la salud animal

---

Foto	Género	Especie	Origen / Sustrato	Grupo funcional	Metabolitos / Enzimas relevantes	Potencial uso en producción animal
	Hygrocybe	<i>Hygrocybe spp</i>	Pastizales y bosques	Saprófito	enzimas hidrolíticas básicas	aporta una gran importancia ecológica; no existe alguna aplicación directa en la producción animal

---

Foto	Género	Especie	Origen / Sustrato	Grupo funcional	Metabolitos / Enzimas relevantes	Potencial uso en producción animal
	Lentinus	<i>Lentinus crinitus</i>	Madera muerta o en descomp osicion	Saprófito lignocelulol ítico	laccasas, celulasas, hemicelulas as	activo como un pretratamiento de residuos agricolas; mejora digestibilidad en rumiantes



Polyporus

*Polyporus spp*

Madera muerta o en descomposicion

Saprófito lignocelulolítico

laccasas, manganeso, peroxidasa, polisacaridos

produccion de enzimas; valorizacion de subproductos fibrosos



Auricularia	<i>Auricularia auricula-judae</i>	Madera en descomposicion	Saprófito	β-glucanos, polisacáridos antioxidantes	Inmunoestimulante y prebiótico en aves y porcinos
-------------	-----------------------------------	--------------------------	-----------	---	---



Macrolepiota

*Macrolepiota colombiana*

Suelos con mucha materia organica como hojascas

Saprófito

enzimas hidroliticas, compuestos fenolicos

puede servir como fuente de proteina alternativa; su posible uso potecnial es limitado



Truncospora

*Truncospora spp*

Madera muerta o en descomp osicion

Saprófito lignocelulolítico

ligninasas, laccasas, peroxidadasas

activo degradador de residuos lignocelulosos



Sclerotinia	<i>Sclerotinia areolata</i>	Suelos con mucha materia organica como hojascas	Ectomicorrizico	polisacaridos, compuestos fenolicos	mejoramiento en suelos y en algunos forrajes indirectamente
-------------	-----------------------------	---	-----------------	-------------------------------------	---



Trametes	<i>Trametes pavonia</i>	Madera en descomposicion	Saprófito lignocelulolítico	laccasas, manganeso peroxidasa, lidnina peroxidasa	inmunomodulacion, reduccion de antinutrientes
----------	-------------------------	--------------------------	-----------------------------	--	---



Leucoagaricus	<i>leucoagaricus leucothites</i>	Pastizales y bosques	Saprófito lignocelulolítico	celulasas, amilasas	importancia ecologica como descomponedor
---------------	----------------------------------	----------------------	-----------------------------	---------------------	--



Russula	<i>Russula emetica</i>	Bosques con mucha hojascasa	Ectomicorrizico	compuestos fenolicos, lactinas, sesquiterpenos, enzimas de intercambio mineral	no es apto para alimentacion animal, si funcion es ecologica y es toxico
---------	------------------------	-----------------------------	-----------------	--	--



Fomes

*Fomes  
fomenta  
rius*

Madera  
rica en  
lignina

Saprófito  
lignocelulol  
ítico/parasi  
to

lignina  
peroxidasa,  
compuestos  
fenolicos

uso como  
pretratamiento en  
residuos fibrosos



Pluteus

*Pluteus  
cervinus*

Madera  
muerta o  
en  
descomp  
osicion

Saprófito

celulasas,  
ligninasas

reciclaje de residuos  
forestales, ayuda a  
mejorar los suelos



Cortyna  
rius

*Cortyna  
rius spp*

Raíces  
de  
algunos  
arboles

Micorrizico

enzimas de  
intercambio  
mineral,  
compuestos  
fenolicos

mejora el suelo y  
forrajes en sistemas  
forestales



Pycnoporus

*Pycnoporus sanguineus*

Madera muerta

Saprófito lignocelulolítico

lacasas de alta actividad, compuestos fenolicos

pretatamiento de forrajes, bioremediacion



Flaviporus	<i>Flaviporus liebmannii</i>	Madera en descomposicion	Saprófito	enzimas ligninolíticas	degradacion de residuos agricolas fibrosos
------------	------------------------------	--------------------------	-----------	------------------------	--



Ganoderma	<i>Ganoderma spp</i>	Madera viva y muerta	Saprófito/parasito debil	triterpenos, β-glucanos, lacasas	inmunomodulacion, reduccion de antinutrientes, promotor de la salud animal
-----------	----------------------	----------------------	--------------------------	----------------------------------	--



Daldinia	<i>Daldinia concentrica</i>	Madera viva y muerta	Saprofita lignocelulolítico	Laccasas, peroxidasas, compuestos fenilicos	Biodegradación de residuos, mejora digestibilidad de fibra
----------	-----------------------------	----------------------	-----------------------------	---	--



Russula	<i>Russula cyanoxantha</i>	Suelos con mucha materia organica como hojasrascas	Micorrízico	Polisacáridos, compuestos antioxidantes	Potencial inmunomodulador, uso indirecto en nutricion
---------	----------------------------	--	-------------	---	---



Lactarius

Suelos con mucha materia organica como hojascas

Micorrizico

Terpenos, compuestos antimicrobianos

Mejora salud intestinal



Lentinus

*Lentinus tricholoma*

Madera viva y muerta

Saprophyto

$\beta$ -glucanos(le ntinano), enzimas lignoliticas

Inmunoestimulante, mejora rendimiento en aves y cerdos



Ramaria	<i>Ramaria gracilis</i>	suelos con mucha materia orgánica	Saprophyto/micorrizico	Polisacáridos, antioxidantes	Potencial nutraceutico
---------	-------------------------	-----------------------------------	------------------------	------------------------------	------------------------



Amanita	<i>Amanita spp</i>	Suelo y hojarasca, pastizales y bosques	micorrizico	alcaloides	Toxico, intereses farmacológicos
---------	--------------------	---	-------------	------------	----------------------------------



Amanita *Amanita spp* Hojarascas Micorrizico alcaloides Toxico



laccaria *Laccaria laccata* Suelos forestales Micorrizico Polisacáridos, enzimas simbioticas Mejor salud del suelo y productividad



Amanita	Amanita flavocon ia	Hojarasc as	Micorrizico	alcaloides	Toxico
---------	---------------------------	----------------	-------------	------------	--------

**Nota:** Esta tabla muestra los hongos encontrados durante las exploraciones y su respaldo bibliográfico. (Almeida, et al 2022) (Diaz & Rincon., 2025)

#### 4.2 Resultados de la clonación *in vitro* y crecimiento micelial

A partir de los cuerpos fructíferos recolectados, se logró el aislamiento y la clonación *in vitro* de varios géneros, siendo *Pleurotus spp.*, *Lentinus crinitus*, *Pycnoporus sanguineus* y *Leatiporus spp.*; los que presentaron mayor facilidad de adaptación a condiciones de laboratorio. El crecimiento micelial se observó en los medios PDA, Malta y Sabouraud, evidenciándose diferencias en velocidad de colonización, densidad y color del micelio según el género y el medio utilizado.

#### Figura 5.

Placas usadas para la clonación y colonizadas mostrando el crecimiento micelial



Nota: placas colonizadas por *Pleurotus spp.*, *Leatiporus* y *Pycnoporus* de manera efectiva para su propagación y conservación.

El micelio de las especies utilizadas mostró una colonización rápida, homogénea y con baja incidencia de contaminación, lo que permitió su selección para etapas posteriores del estudio. En contraste, otros géneros presentaron crecimiento más lento, mayor disponibilidad de nitrógeno o mayor susceptibilidad a contaminantes, lo que limitó su propagación.

Estos resultados confirman la viabilidad del aislamiento de cepas silvestres y su potencial para procesos de conservación y aprovechamiento biotecnológico.

#### 4.3 Producción de semilla micelial

La producción de semilla micelial se realizó utilizando sorgo y maíz quebrado como sustratos, obteniéndose una colonización completa entre los 8 y 12 días de incubación. El sorgo fue utilizado como semilla inicial debido a su rápida colonización, mientras que el maíz permitió la producción de mayores volúmenes de inóculo.

#### Figura 6.

*Semilla micelada*



---

*Nota: semilla colonizada por Pleurotus spp.*

#### 4.4 Caracterización bromatológica del maíz micelado por *Pleurotus ostreatus*

El análisis bromatológico del maíz micelado evidenció una composición nutricional deficiente. El contenido de proteína cruda en base húmeda fue de 5,5%, inferior al reportado comúnmente para el maíz sin fermentar, lo que indica una disminución proteica.

Asimismo, se registraron valores insuficientes de fibra cruda (2.8% BS), extracto etéreo (2.9% BS) y cenizas (1.2% BS), junto con una energía bruta de (4.4 Mcal/kg BS, lo que confirma el aporte energético del sustrato micelado.

#### Tabla 6.

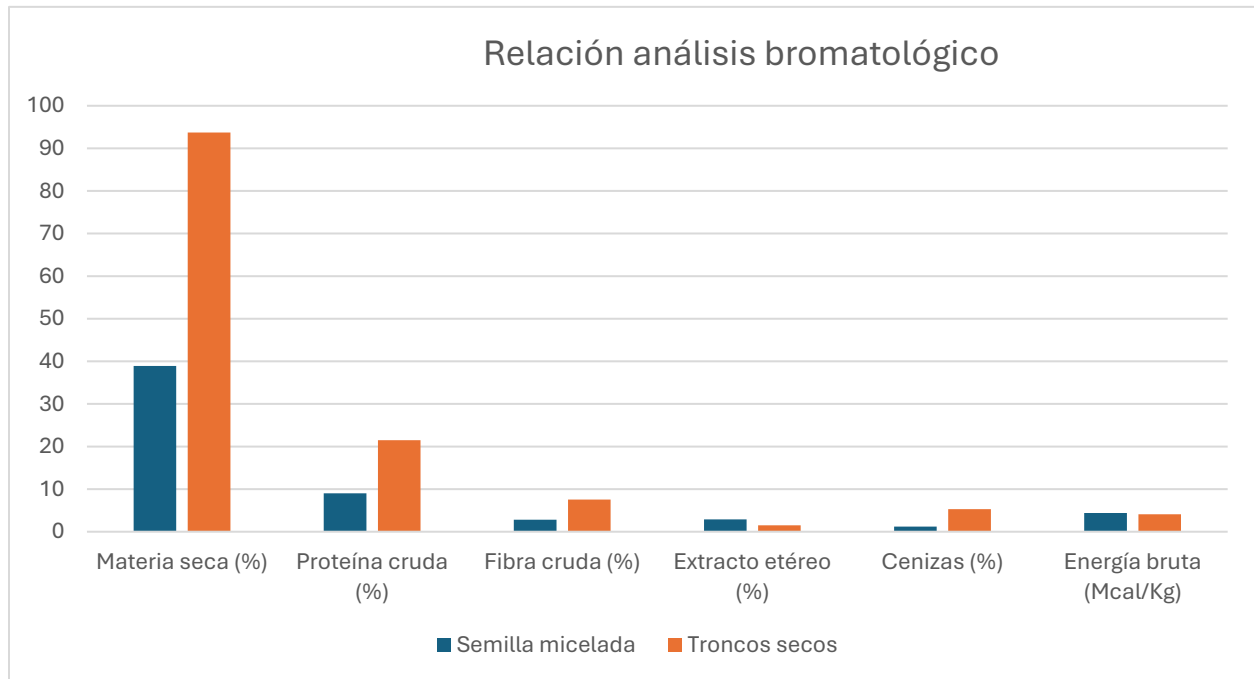
*Análisis bromatológico en micelio y residuos de estipo seco*

	<i>Semilla micelada</i>	<i>Troncos secos</i>
<i>Materia seca (%)</i>	38,9	93,7
<i>Proteína cruda (%)</i>	9	21,5
<i>Fibra cruda (%)</i>	2,8	7,55
<i>Extracto etéreo (%)</i>	2,9	1,5
<i>Cenizas (%)</i>	1,2	5,30
<i>Energía bruta (Mcal/Kg)</i>	4,4	4,1

Nota: comparación entre diferentes productos de *Pleurotus ostratus*, semilla micelada y residuos del cuerpo fructífero.

**Figura 7.**

*Comparación bromatológica entre la semilla y residuos del cuerpo fructífero*



Los datos nutricionales se obtuvieron por medio del laboratorio de Nutrición animal- UNAL en Bogotá. anexo 2: [Reportes de Laboratorio 2025 - 73. 253210400 \(1\).pdf](#). estos datos son el respaldo real del posible uso de la semilla de maíz micelada, como un posible uso en la alimentación animal.

Los  $\beta$ -glucanos presentes en el *Pleurotus ostreatus* son sin duda alguna unos de los compuestos de mayor interés para el uso zootécnico por su función de inmunomoduladores en los animales (C. Bormon, 2024). Estos compuestos son reconocidos por las células del sistema inmune, como macrófagos, células dendríticas y neutrófilos, los que desencadena una serie de respuestas inmunológicas que incluyen el

aumento de la actividad fagocítica, la producción de citoquina y la activación de linfocitos. (Salazar, 2019)

#### 4.5 Evaluación exploratoria del uso zootécnico en pollos de engorde

Durante el experimento con 96 pollos de engorde de la línea Cobb, y distribuidos en cuatro tratamientos con el suministro de maíz micelado en niveles de inclusión:

**T1:** control (0%), **T2:** 5%, **T3:** 10%, **T4:** 20%

no generó rechazo por parte de las aves, evidenciando buena palatabilidad; y este suministro se realizó desde el día 14 hasta el día 45. Los valores proporcionados se basaron en la literatura, siendo porcentajes estipulados por criterio único con respaldo científico, ya que en ese momento no se tenían los resultados de los análisis bromatológicos.

#### Figura 7.

*Pollos de 14 días y 45 días*

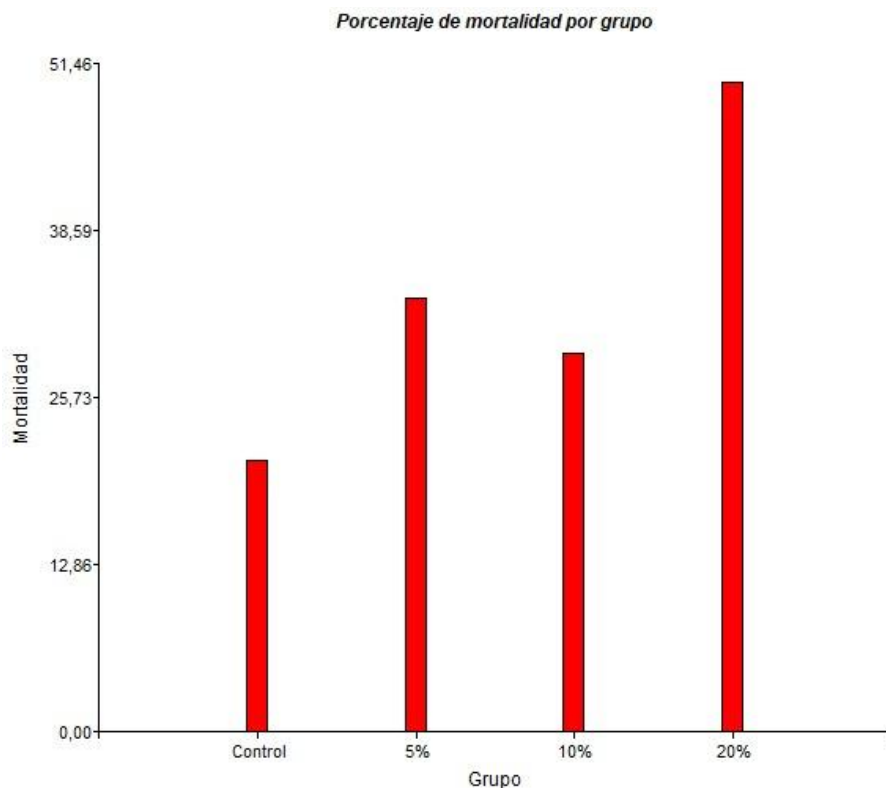


Se produjeron aproximadamente 25 kg de semilla de maíz micelada, distribuida en 55 bolsas de 450 g, las cuales presentaron colonización uniforme y ausencia en el 75% de estas bolsas, de contaminantes visibles. Este material fue utilizado tanto para conservación del micelio como para el experimento de suplementación en pollos de engorde.

Durante el desarrollo del ensayo experimental se registró una alta mortalidad acumulada, correspondiente a 80 aves, lo que represento el 80% del total del lote experimental. La mortalidad se presentó de manera progresiva y generalizada en todos los tratamientos, incluido el grupo control

**Figura 9.**

*Porcentaje de mortalidad*



De acuerdo con información suministrada posteriormente por el proveedor de las aves, la mortalidad estuvo asociada a deficiencias de la calidad genética y sanitaria del lote, lo que sin duda alguna afecta de manera significativa la viabilidad productiva del experimento. Aunque el respaldo literario habla sobre niveles de inclusión de hasta el 10% (C. C. Bormon, 2024), se consideró que valores del 10% y del 20% fueron porcentajes muy altos para el suplemento de la semilla micelada, teniendo en cuenta también la biodisponibilidad del quitosano presente en los hongos, que actúa como una fibra insoluble y un posible reductor del aprovechamiento de la proteína.

Debido a esta situación, no fue posible evaluar de manera concluyente parámetros productivos como ganancia de peso, consumo diario o conversión alimenticia. Sin embargo, se observó que el maíz micelado fue consumido por las aves sin algún rechazo aparente, evidenciando una alta palatabilidad.

## **5. Discusión**

### **5.1 Integración de la caracterización fúngica y el aprovechamiento zootécnico**

La diversidad de basidiomicetos registrada en los bosques de Málaga confirma el alto potencial biológico de los ecosistemas andinos de la provincia de García Rovira. La presencia predominante de hongos lignícolas coincide con estudios previos realizados en bosques de *Quercus humboldtii*, donde estos organismos cumplen funciones clave en la descomposición y el reciclaje de nutrientes. (Uyaban & Ortiz, 2024)

Estos resultados evidencian una alta diversidad funcional, destacando hongos saprófitos lignícolas con capacidad de degradación de residuos vegetales, lo que coincide con lo reportado para ecosistemas andinos y bosques de roble en Colombia. (Almeida, et al 2022)

La clonación exitosa de *Pleurotus ostreatus* respalda su uso como modelo biotecnológico, dado su rápido crecimiento, adaptabilidad y amplio respaldo en la literatura científica. Este comportamiento concuerda con reportes que destacan a este género como uno de los más eficientes para procesos de biotransformación de sustratos agrícolas. (Lou, et al., 2020)

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian una buena diversidad de hongos macromicetos en los ecosistemas altoandinos del municipio de Málaga, Santander, lo cual coincide con lo reportado por (Vasco-Palacios & Franco-Molano, 2013), quienes destacan que los bosques andinos colombianos albergan una considerable riqueza fúngica asociada a especies arbóreas nativas como *Quercus humboldtii*. La presencia predominante de basidiomicetos en áreas boscosas sugiere una fuerte relación con la disponibilidad de materia orgánica lignocelulósica, condición que favorece el desarrollo de hongos saprófitos y lignícolas.

La variabilidad observada en la distribución de los macromicetos entre los diferentes tipos de cobertura vegetal puede estar influenciada por factores ambientales como la humedad, temperatura y composición del sustrato, tal como lo menciona (Osono, 2007), quien señala que la actividad fúngica está estrechamente relacionada con las condiciones micro climáticas del ecosistema. En este estudio, los bosques de roble

presentaron una mayor abundancia de especies, lo cual puede explicarse por la acumulación de hojarasca y la estabilidad ecológica de estos sistemas.

**Tabla 7.**

*Conteo de morfotipos encontrados según el sustrato*

Zona	<i>Rusula</i>	<i>Pycnoporus</i>	<i>Amanita</i>	<i>Lentinus</i>	<i>Lactarius</i>	<i>Ramaria</i>	<i>Trametes</i>	<i>Marcolepiota</i>
<b>Bosque</b>	15	1	8	3	10	8		2
<b>Roble</b>								
<b>Potrero</b>	0	5	0	6	0	1	4	0

Nota: la tabla muestra la diferente población por diferentes géneros durante épocas climáticas diferentes

En cuanto al proceso de clonación in vitro, los resultados obtenidos demuestran que especies como *Pleurotus ostreatus* presentan una alta capacidad de adaptación a medios de cultivo como PDA, Malta y Sabouraud, lo cual concuerda con lo reportado por (Sánchez, 2009), quien indica que este género posee un crecimiento micelial rápido y una alta plasticidad fisiológica. No obstante, se evidenciaron limitaciones relacionadas con la contaminación microbiana, lo que coincide con lo descrito por (Carrasco, et al 2018), quienes señalan que la contaminación es uno de los principales desafíos en el aislamiento de cepas silvestres.

La producción de semilla micelial en granos como maíz y sorgo mostró ser eficiente para la propagación del micelio, destacándose el maíz como un sustrato favorable debido a su contenido de carbohidratos y su estructura física, lo cual facilita la colonización. Estos resultados son consistentes con lo reportado por (Miles & Chang,

2004), quienes indican que los cereales son ampliamente utilizados en la producción de inóculo debido a su disponibilidad y valor nutricional.

Desde el punto de vista zootécnico, la utilización de maíz micelado con *Pleurotus ostreatus* representa una alternativa innovadora en la alimentación animal. Diversos estudios han demostrado que el micelio de hongos comestibles contiene compuestos bioactivos como  $\beta$ -glucanos, los cuales poseen efectos inmunomoduladores en animales de producción (Niego et al, 2021). En aves de corral, la inclusión de derivados fúngicos en la dieta ha sido asociada con mejoras en parámetros productivos, salud intestinal y respuesta inmune utilizando niveles de inclusión máximo de 3% (Paredes C., 2020).

Adicionalmente, el proceso de colonización del maíz por el micelio puede generar una modificación en su perfil nutricional, incrementando la digestibilidad de la fibra y la disponibilidad de nutrientes, debido a la acción enzimática del hongo sobre componentes lignocelulósicos. Este fenómeno ha sido documentado en estudios donde el uso de residuos de cultivo de *Pleurotus ostreatus* mejoró el aprovechamiento nutricional en monogástricos (L. S. Erb, 2024).

En este sentido, los resultados de esta investigación sugieren que los hongos macromicetos no solo cumplen un papel ecológico fundamental en los ecosistemas altoandinos, sino que también representan un recurso con alto potencial biotecnológico y zootécnico. Sin embargo, es necesario profundizar en estudios experimentales que incluyan análisis bromatológicos detallados y evaluaciones productivas con diseños estadísticos robustos, con el fin de validar su aplicación a escala comercial.

La confirmación de problemas relacionados con la calidad genética y sanitaria del lote experimental permite descartar al maíz micelado como factor principal causal directo de la mortalidad observada. Este tipo de situaciones ha sido reportado en sistemas avícolas cuando los animales presentan deficiencias de origen genético o sanitario, lo cual compromete la respuesta a cualquier estrategia nutricional implementada. Aunque esto pueda ser una posible causa fundamental, los niveles de inclusión mayores al 5% pudieron haber sido también factores influyentes por ser porcentajes muy altos para la semilla micelada y además de ser formados por compuestos como el quitosano que inhibe la biodisponibilidad de los nutrientes.

La elevada mortalidad registrada durante el experimento constituye una limitación importante para la evaluación productiva del uso del maíz micelado en pollos de engorde. Sin embargo, es relevante destacar que dicha mortalidad no estuvo asociada a un tratamiento específico, ya que se presentó de forma similar en todos los grupos experimentales, incluyendo el tratamiento control. (C. Bormon, 2024)

A pesar de esta limitación, el ensayo permitió obtener información relevante desde un enfoque exploratorio, particularmente en relación con la aceptación y palatabilidad del maíz micelado. La ausencia de rechazo al suplemento en los tratamientos evaluados concuerda con estudios previos que reportan una buena aceptación de sustratos micelados o residuos de *Pleurotus ostreatus* en dietas de monogástricos. (C. Bormon, 2024)

La variación en el contenido de proteína cruda en sustratos micelados se debe a diversos procesos asociados al crecimiento fúngico. Durante la colonización, el micelio utiliza compuestos nitrogenados del sustrato para la síntesis de biomasa y metabolitos, lo que puede reducir la fracción de proteína disponible. Asimismo, la acumulación de componentes estructurales como la quitina y los  $\beta$ -glucanos incrementa la fracción fibrosa, generando un efecto de dilución que disminuye la concentración relativa de proteína en la materia seca. (Zadrazil, 1997) Adicionalmente, factores como la humedad, la esterilización y la hidrólisis pueden favorecer la solubilización y pérdida de nitrógeno. En conjunto, estos cambios reflejan un equilibrio entre la degradación del sustrato, la síntesis de biomasa fúngica y las modificaciones estructurales, las cuales dependen de la especie fúngica y de las condiciones del proceso. (Georgios Koutrotsios, et al 2014)

No obstante, al tratarse de un estudio exploratorio, se reconoce como limitación la ausencia de mediciones productivas cuantitativas, lo que abre la posibilidad de desarrollar investigaciones futuras con diseños experimentales más robustos. Actualmente se está desarrollando un proyecto investigativo utilizando troncos del hongo seco con porcentajes de inclusión del 1% y del 2%, con un énfasis también en el aprovechamiento de residuos industriales en producciones de orellanas.

## 6. Conclusiones

La ausencia de información sobre los basidiomicetos presentes en la provincia de García Rovira, Santander, fue abordada mediante la caracterización morfotaxonómica de los hongos recolectados, permitiendo identificar especies con potencial biotecnológico

y evidenciando la importancia de la biodiversidad fúngica local como recurso aprovechable.

Frente a la limitación en la disponibilidad de cepas fúngicas estables para investigación y aplicación productiva, las técnicas de cultivo y clonación *in vitro* empleadas demostraron ser efectivas para la obtención de micelio viable, confirmando la factibilidad de conservar y multiplicar algunos hongos caracterizados, específicamente para cepas como el *Pleurotus sp* silvestre, el *Leatiporus sp*, *Lentinus crinitus* y *Pycnoporus sanguineus*

Ante la necesidad de evaluar alternativas biotecnológicas para la alimentación animal, el uso de maíz micelado con *Pleurotus ostreatus* mostro una baja eficiencia nutricional, aunque si una buena palatabilidad en pollos de engorde; sin embargo, la alta mortalidad asociada a deficiencias en la calidad genética del lote experimental limito la evaluación de parámetros productivos, aunque se puede concluir que funciona como suplemento pero no funciona como ingrediente porque su composición nutricional es limitada.

## 7. Recomendaciones

Se recomienda continuar con estudios orientados a la caracterización y aprovechamiento de los basidiomicetos presentes en la provincia de García Rovira, Santander, ampliando el número de muestreos y empleando herramientas moleculares que permitan una identificación taxonómica más precisa. Asimismo, se sugiere optimizar y estandarizar los protocolos de cultivo y clonación *in vitro* con el fin de consolidar bancos

de cepas viables y estables que faciliten su conservación y uso en investigaciones futuras.

Para la evaluación del potencial zootécnico de los hongos clonados, se recomienda realizar ensayos experimentales empleando animales con adecuada calidad genética y certificación sanitaria, así como diseños experimentales con mayor control y replicación, que permitan evaluar de manera concluyente el efecto del uso de sustratos micelados sobre parámetros productivos, nutricionales e inmunológicos.

Finalmente, se sugiere considerar el aprovechamiento de subproductos agrícolas locales en procesos de micelización, como estrategia de economía circular que contribuya al desarrollo de alternativas sostenibles para la alimentación animal y la producción agropecuaria regional.

### Referencias Bibliográficas

- Alexopoulos, C. J., Mins, C. W., & Blackweel, M. (1996). *Introductory mycology*. New York: Jhon Wiley and sons.
- Almeida, R. F., Lücking, R., Vasco-Palacios, A., Gaya, E., & Diazgranados, M. (2022). *Catalogue of Fungi of Colombia*. British Library Cataloguing.
- Alvarado, L. X., & Correa, Y. A. (2023). Diagnóstico sanitario de robledales (*Quercus humboldtii* Bonpl.) empleando técnicas de laboratorio y teledetección en García Rovira. *Universidad Industrial de Santander*.
- Amado Antonio Guerrero Rincón, J. K. (2019). *Santander : territorio dinámico, complejo y diverso: una perspectiva desde la geografía física y sus interacciones ecosistémicas*. Bucaramanga.
- Ana Esperanza Franco-Molano, M. P.-M. (2022). *Diversity of Basidiomycota in Colombia*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Arango, C. S., & Nieto, I. J. (2013). Biotechnological cultivation of edible macrofungi: An alternative for obtaining nutraceuticals. *ScienceDirect*.
- Asocioacion Colombiana de Universidades ASCUN. (8 de abril de 2024). Obtenido de Asocioacion Colombiana de Universidades: <https://ascun.org.co/noticias-ies/sede-uis-malaga-lidera-investigacion-sobre-los-insectos-y-hongos-patogenos-que-afectan-los-bosques-en-garcia-rovira/>
- Boa, E. (2004). *Wild edible fungi A global overview of their use and importance to people*. Rome: FAO.
- Brummitt, N., & Lughadha, E. M. (2003). BIODIVERSITY: WHERE'S HOT ANDA WHERE'S NOT. *Conservation Biology*, 1442-1448.
- C. Bormon, G. A. (2024). Effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) stem residue supplementation on growth performance, meat quality and health status of broilers. *Poultry Science*.
- C. C. Bormon, \*. G. (2024). Effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) stem residue supplementation on growth performance, meat quality and health status of broilers. *Poultry Science*.
- Carrasco, J., Zied, D. C., Pardo, J. E., Preston, G. M., & Pardo-Gimenez, A. (2018). Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. *AMB Express*.

- Charria-Girón, E., Vasco-Palacios, A. M., Moncada, B., & Marín-Félix, Y. (2023). Diversidad de hongos colombianos: potencial sin explotar para diversas aplicaciones. *Investigación en microbiología*. doi:<https://doi.org/10.3390/microbiolres14040135>
- colombia, m. d. (2022). *municipios de colombia*. Obtenido de municipios de colombia: <https://www.municipio.com.co/municipio-malaga.html>
- David L. Hawksworth, R. L. (2017). Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *AMERICAN SOCIETY FOR MICROBIOLOGY*, 1-17.
- Deacon, J. (2006). *Fungal Biology* (4th edition ed.). Edinburgh: BLACKWELL. Obtenido de <https://yeastwonderfulworld.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/10/fungal-biology.pdf>
- Díaz-Talamantes, C., Burrola-Aguilar, C., Aguilar-Miguel, X., & Mata., G. (dic. 2017.). Crecimiento micelial in vitro de hongos comestibles silvestres de alta montaña en el centro de México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*.
- FAO. (2011). *Guide to good dairy farming practice. Animal Production and Health Guidelines*. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
- Garzon, E. R. (2024). reconocimiento de la diversidad de macrohongos en el parque nacional natural pisba para la promocion de practicas de cuidado colectivo (Boyaca Colombia). *universidad pedagogica nacional*.
- Georgios Koutrotsios, K. C. (2014). Bioconversion of lignocellulosic residues by *Agrocybe cylindracea* and *Pleurotus ostreatus* mushroom fungi – Assessment of their effect on the final product and spent substrate properties. *ScienceDirect*.
- Guzmán, G. (2008). Diversity and use of traditional mexican medicinal fungi. A review. *international journal of medicinal mushroom*, 17(1) 165-180.
- Hawksworth, D. L., & Lücking, R. (2017). FUNGAL DIVERSITY REVISITED: 2.2 TO 3.8 MILLION SPECIES. *ASM JOURNALS*, 1-17.
- Heredia-Abarca, G. (2020). *Bioagrocencias*. Obtenido de Bioagrocencias: <https://pdfs.semanticscholar.org/b4ea/3684a79a733459f23af44a8ce83c9de7509c.pdf>
- James G. Cappuccino, C. T. (2017). *Basic Laboratory Techniques for Isolation, Cultivation, and Cultural Characterization of Microorganisms* (11 ed.). Pearson Educación.

- Kirk, P. M., Cannon, P., Stalpers, J., & Minter, D. (2008). Dictionary of the fungi: 10th ed.
- L. S. Erb, C. M. (2024). Effects of mushroom stump waste inclusions to broiler diets on amino acid digestibility and d1-21 performance. *APPLIED POULTRY RESEARCH*.
- Lodge, D. J., Ammirati, J., & Mueller, G. M. (2004). Collecting and describing macrofungi. *ResearchGate*.
- Lou, A., Lopez, S., & Puga, C. (2020). Cultivo in vitro y preservación de macrohongos silvestres; salvando las potenciales especies comestibles y medicinales. *SCIENTIA*.
- Mădălina-Paula Plosca, M. S. (2025). Ganoderma lucidum—From Ancient Remedies to Modern Applications: Chemistry, Benefits, and Safety. *Antioxidants (Basel)*, 1.
- Michael T. Madigan, K. S. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (Fifteenth Edition). Pearson Education Limited 2019. Obtenido de [https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292235196\\_A31976983/preview-9781292235196\\_A31976983.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292235196_A31976983/preview-9781292235196_A31976983.pdf)
- Miles, P. G., & Chang, S.-T. (2004). *MUSHROOMS Cultivation, Nutritional value, Medicinal Effect, and Environmental impact (2th. ed.)*.
- Mircea Selegan, M. V. (17 de August de 2009). Effect of the Polysaccharide Extract from the Edible Mushroom Pleurotus ostreatus against Infectious Bursal Disease Virus. *International Journal of Molecular Sciences*.
- Mokochinski, J. B., Lopez, B. G., Sovrani, V., Dalla Santa, H. S., Sawaya, P. P.-B., Schmidt, E. M., . . . Torres, Y. R. (2015). Production of agaricus brasiliensis mycelium from food industry residues as a source of antioxidants and essential fatty acids. *INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD SCIENCE + TECHNOLOGY*.
- Moreno, J. A. (2016). LOS HONGOS: HÉROES Y VILLANOS. *Revista digital universitaria RDU*, 3 - 4.
- Mueller, G. M., Schmit, J. P., & Patrick R. Leacock, e. a. (2007). Global diversity and distribution of macrofungi. *SPRINGER NATUR LINK*, 37 - 48.
- Mu-Long Lu, G.-H. Y.-C.-H.-W.-I.-S. (2024). Effects of spent substrate of oyster mushroom (pleurotus ostreatus) in feed utilization and liver serum indices of hu sheep from the perspective of duodenal microorganisms. *MDPI*.
- Niego, A. G., Rapior, S., Thongklang, N., Raspe, O., Jaidee, W., Lumyong, S., & Hyde, K. D. (2021). Macrofungi as a Nutraceutical Source: Promising Bioactive Compounds and Market Value. *MDPI*.

- Osono, T. (2007). Ecology of ligninolytic fungi associated with leaf litter decomposition . *ECOLOGICAL RESEARCH*.
- Paredes C., J. S. (2020). Efecto del *Ganoderma lucidum* en el desempeño productivo y características de la canal de pollos de engorde.
- Paterson, R. R. (2006). *Ganoderma* - A therapeutic fungal biofactory. *ScienceDirect*, 1985-2001.
- Picornell, M. R., Pardo-Gimenes, A., Navarro, M. J., & Gea, F. J. (s.f.). Updates on substrate preparation for the cultivation of oyster mushroom *pleurotus* spp.
- Plosca, M.-P., Chis, M. S., Fărcas, A. C., & Păucean, A. (2025). *Ganoderma lucidum*—From Ancient Remedies to Modern. *Antioxidants (Basel)*, 1.
- Rangel-Ch, J. O. (2017). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA*. Obtenido de EDITORIAL UNAL: <https://portaldelibros.unal.edu.co/gpd-colombia-diversidad-biy-tica-xv-los-bosques-de-robles-fagaceae-en-colombia-composiciy-n-floryustica-estructura-diversidad-y-conservaciy-n-9789587832426.html>
- Regmi, P. (10 de enero de 2025). *modern poultry*. Obtenido de <https://modernpoultry.media/stocking-density-and-broiler-behavior/?mp=1757612678340>
- Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. *WILEY*.
- Salazar, J. J. (2019). Respuesta del sistema inmune de las aves al estímulo con  $\beta$ -glucanos. *Veterinaria y Zootecnia ISSM 2011*.
- Sánchez, C. (2009). cultivo de *pleurotus ostreatus* y otros hongos comestibles. *SPRINGER NATURE Link*, 1321-1337.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *MYCORRHIZAL SYMBIOSIS* . *ACADEMIC PRESS*.
- Sohail Hassan Khan, N. M. (2018). El papel de los hongos como suplemento dietético en el rendimiento de las aves de corral.
- Uyaban, S. L., & Ortiz, W. R. (2024). Caracterización de hongos macromicetos asociados al roble *Quercus humboldtii* Bonpl en dos bosques de la provincia de García Rovira. *Universidad Industrial de Santander*.
- Vasco-Palacios, A. M., & Franco-Molano, A. E. (2013). Diversity of Colombian macrofungi (Ascomycota - Basidiomycota).

Watkinson, S. C., Boddy, L. e., & Money, N. P. (2016). *the fungi* (third ed.). Sara Tenney. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouis-ebooks/reader.action?docID=4188455&c=RVBVQg&ppg=1>

Webster, J., & Weber., R. (2007). introduction to fungi. *CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS*.

Zadrazil, F. (1997). Changes in in vitro digestibility of straw during fungal growth and its effect on nutritive value. Applied Microbiology and Biotechnology. *Journal of Applied Animal Research*.

Zou, G., Zhu, J., & Zhao, M. (2023). Biotechnology of Edible Fungi. *MDPI*.

## Apéndices

### Apéndice A.

*Producción de medios y semilla de los hongos clonados*

**Figura 8:**

### Apéndice A



**Apendice B.**

*Experimento con pollos de la línea Cobb*

**Figura 9:**

**Apéndice B**

