



## Diversidad de hongos ectomicorrícicos en plantaciones de *Pinus patula* bajo tres pisos altitudinales en Amazonas

### Diversity of ectomycorrhizal fungi in *Pinus patula* plantations across three altitudinal zones in Amazonas

Ginary Rocío Muñoz-Izquierdo<sup>1\*</sup> , Lizette Daniana Méndez-Fasabi<sup>2</sup> 

#### RESUMEN

El estudio buscó evaluar la diversidad de hongos ectomicorrícicos asociados a plantaciones forestales de *Pinus patula*, en tres pisos altitudinales en la provincia de Chachapoyas, Amazonas. Se empleó una metodología básica, cuantitativa, descriptiva y correlacional, con un diseño no experimental. Para la recolección de hongos, se utilizó un muestreo no probabilístico estratificado en un área de 9 ha, aplicando transectos lineales de 1000 m y un método en zigzag para la toma de muestras de suelo a 30 cm de profundidad. En cuanto a los análisis realizados, se calculó la diversidad de hongos mediante el índice de Shannon y se realizaron análisis fisicoquímicos del suelo en laboratorio. Los resultados mostraron que las características fisicoquímicas del suelo no presentaron diferencias significativas entre los tres pisos altitudinales estudiados, manteniendo valores de pH levemente ácido, baja conductividad eléctrica y niveles adecuados de nutrientes. Se identificaron morfológicamente cuatro especies de hongos ectomicorrícicos pertenecientes al grupo de Basidiomycota: *Lycoperdon perlatum*, *Coltricia perennis*, *Laccaria laccata* y *Suillus luteus*. Aunque la diversidad fúngica varió entre los diferentes sectores, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. En conclusión, la diversidad de hongos ectomicorrícicos asociados a *P. patula* no está influenciada de manera significativa por la altitud o las características físico-químicas del suelo, sino que depende principalmente de factores microambientales locales específicos de cada sector.

**Palabras clave:** diversidad fúngica, hongos ectomicorrícicos, gradiente altitudinal, propiedades edáficas, *Pinus patula*.

#### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the diversity of ectomycorrhizal fungi associated with *Pinus patula* forest plantations at three altitudinal levels in the province of Chachapoyas, Amazonas. A basic, quantitative, descriptive, and correlational methodology was employed, with a non-experimental design. For fungal collection, a stratified non-probability sampling method was used across a 9 ha, employing 1000 m linear transects and a zigzag method for soil sampling at a depth of 30 cm. Fungal diversity was calculated using the Shannon index, and physicochemical analyses of the soil were performed in the laboratory. The results showed that the physicochemical characteristics of the soil did not differ significantly among the three altitudinal levels studied, maintaining slightly acidic pH values, low electrical conductivity, and adequate nutrient levels. Four ectomycorrhizal fungal species belonging to the Basidiomycota group were morphologically identified: *Lycoperdon perlatum*, *Coltricia perennis*, *Laccaria laccata*, and *Suillus luteus*. Although fungal diversity varied among the different sectors, no statistically significant differences were found. In conclusion, the diversity of ectomycorrhizal fungi associated with *P. patula* is not significantly influenced by altitude or soil physicochemical characteristics, but rather depends primarily on local microenvironmental factors specific to each sector.

**Keywords:** altitudinal gradient, ectomycorrhizal fungi, fungal diversity, soil properties, *Pinus patula*.

<sup>1</sup>Escuela profesional de Ingeniería Agrónoma, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

<sup>2</sup>Departamento Académico de Agronomía, Agroindustria, Forestal y Agroecología, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

\*Autor de correspondencia. E-mail: ginary1409@gmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

Los hongos ectomicorrícicos silvestres constituyen componentes relevantes de los ecosistemas forestales debido a su papel en la nutrición vegetal, el ciclado de nutrientes y la estabilidad del suelo, además, son utilizados tanto para el autoconsumo como para la venta (Mata et al., 2023). Estas asociaciones simbióticas favorecen la absorción de nutrientes, la tolerancia a condiciones edáficas adversas y la estabilidad funcional de las plantaciones forestales. Se ha reportado una amplia diversidad de hongos ectomicorrícicos, principalmente dentro de Basidiomycota y Ascomycota, asociados a gimnospermas y angiospermas en ecosistemas templados, boreales y tropicales. Estas especies establecen simbiosis principalmente con gimnospermas y angiospermas (Dago et al., 2023). La diversidad de los hongos ectomicorrícicos está influenciada significativamente por variables climáticas y edáficas. Su presencia es más notable en zonas templadas y boreales, aunque también se encuentra una gran variedad en ecosistemas tropicales. Esta diversidad está condicionada por factores como el pH del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el tipo de cobertura vegetal existente en cada área (Ruiz-Valencia et al., 2021).

En el ámbito latinoamericano, investigaciones realizadas en México y en países de Centroamérica han puesto en evidencia una marcada diversidad genética dentro de las comunidades de hongos ectomicorrícicos que se asocian con especies de pino, como *Pinus greggii*. Estos estudios han proporcionado evidencias de coevolución y adaptación geográfica tanto de los árboles hospedadores como de sus simbiontes fúngicos, lo que sugiere una relación muy estrecha entre estas especies. Además, en países como Guatemala y Colombia, se ha documentado una alta diversidad fúngica en ecosistemas forestales, donde se han encontrado evidencias de endemismos y asociaciones efectivas con árboles nativos. Esta diversidad refleja la riqueza biológica de la región y la importancia de las interacciones entre las especies fúngicas y sus hospedantes (Vasco, 2023).

En Perú, los estudios sobre hongos micorrícicos

se han concentrado principalmente en micorrizas arbusculares; por ello, la información sobre hongos ectomicorrícicos asociados a plantaciones forestales continúa siendo limitada. En la región Amazonas, se ha estudiado la presencia de estos hongos en provincias como Bagua, Utcubamba y Chachapoyas y, como resultados, encontraron una alta variabilidad en la composición de comunidades fúngicas, probablemente relacionada con diferencias en las características químicas del suelo y las condiciones ambientales (Llanos et al., 2023).

En la provincia de Chachapoyas, Amazonas, se desconoce si las asociaciones de hongos ectomicorrícicos con *Pinus patula* varían entre sectores altitudinales, dado que estas asociaciones pueden contribuir a la nutrición vegetal y al funcionamiento ecológico de las plantaciones. No obstante, existe limitada información sobre estos organismos en la zona, lo que evidencia la necesidad de estudios más detallados. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo evaluar la riqueza, abundancia y diversidad de hongos ectomicorrícicos asociados a *Pinus patula* en tres niveles altitudinales en la provincia de Chachapoyas, Amazonas, así como analizar las características físico-químicas del suelo, realizar la identificación taxonómica de los hongos y evaluar su diversidad en relación con las condiciones del suelo.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio

Este estudio se realizó en plantaciones de *Pinus patula*, distribuidas en las zonas de Pipus, Nuevo Olmal y Huanca Urco, ubicadas en los distritos de Huancas, Sonche y San Francisco de Daguas, Chachapoyas, Amazonas. La ubicación geográfica de los sectores evaluados se presenta en la Figura 1.

**Tabla 1.** Ubicación del área de estudio

Sector	Coordenadas Geográficas		
	Altitud	Latitud	Longitud
Huanca Urco	2506 m s.n.m.	6°8'48" Sur	77°52'48" Oeste
Pipus	2360 m s.n.m.	6°13'56" Sur	77°44'01" Oeste
Nuevo Olmal	2079 m s.n.m.	6°13'09" Sur	77°46'30" Oeste

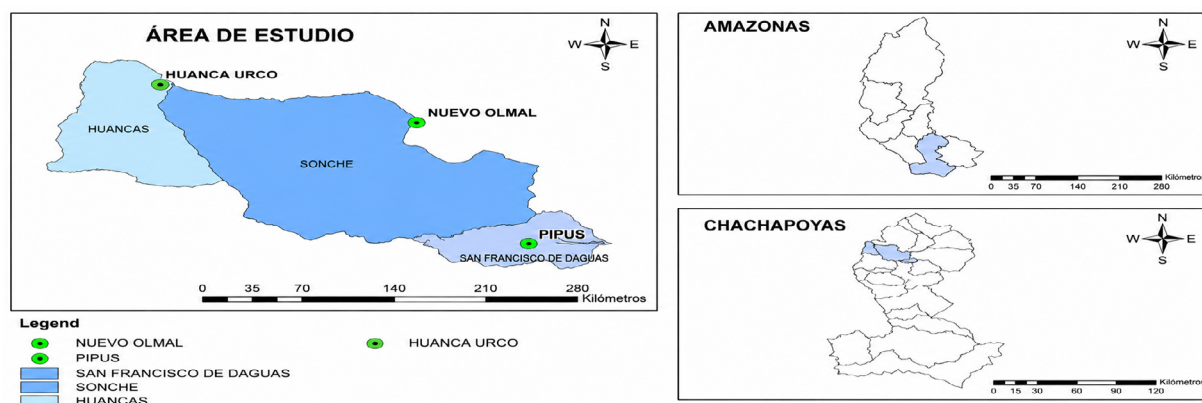


Figura 1. Área de ubicación del estudio

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional, comparativo y transversal en tres plantaciones de *Pinus patula* ubicadas a diferentes altitudes (Higashide et al., 2024), generando conocimiento sobre diversidad de hongos ectomicorrícicos sin aplicación práctica inmediata. Fue cuantitativo, respaldado en recolección de datos cuantificables realizando inferencias basadas en la hipótesis planteada (Arias, 2021). Por su nivel fue descriptivo y correlacional: caracterizó la diversidad de hongos ectomicorrícicos asociados a *Pinus patula* y propiedades físico-químicas del suelo en tres pisos altitudinales, estableciendo asociaciones entre diversidad fúngica y factores ambientales (Villanueva, 2022). El diseño fue no experimental, ya que no se manipularon las condiciones ambientales ni las comunidades fúngicas evaluadas (Arias et al., 2022).

### Diseño de investigación

Las muestras de suelo se recolectaron siguiendo a Ávila et al. (2021), se obtuvieron 10 submuestras por hectárea para conformar una muestra general de 1 kg, además de tres muestras generales en 3 ha por cada sector, totalizando nueve muestras en los tres sectores. El muestreo se realizó entre julio y setiembre de 2022, periodo correspondiente a la época seca en la zona de estudio. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la UNTRM.

Para el análisis físico-químico del suelo, las muestras se secaron en estufa a 40 °C hasta alcanzar humedad adecuada para el análisis, se trituraron y depositaron en recipientes de plástico codificados. Se realizó caracterización mediante: pH y conductividad eléctrica (método relación suelo-agua 1:1), CIC (método acetato de amonio 1 N, pH 7.0), potasio disponible (método saturación con acetato de amonio 1N, pH 7.0), fósforo disponible (método Olsen modificado), carbono orgánico (método Walkley y Black) y clase textural (método Bouyoucos).

En cuanto a la recolección de hongos se realizó basándose en Olivas (2017) y Guzmán (1997), se utilizaron 3 transectos lineales de 1000 m por sector. Se recolectaron hongos cada 20 m con un ancho de recolección de 1 m a ambos lados del transecto lineal (50 puntos específicos), totalizando 150 puntos en cada sector. Con la ayuda de una navaja se extrajeron los cuerpos fructíferos de los hongos desde la base del estipe, incluyendo partes subterráneas, además de cubrirlos con papel periódico y depositarlos en una canasta para su traslado y conservación. Se fotografiaron y describieron especies en fresco, anotando medidas, formas, colores, ubicación y fecha.

El secado de hongos se realizó según Guzmán (1997), los especímenes fueron deshidratados durante aproximadamente 24 horas a temperatura controlada de 40 °C. Posteriormente se almacenaron en cajas para la identificación taxonómica. Por otro lado, la identificación taxonómica se realizó mediante bases taxonómicas especializadas y literatura micológica

actualizada (Guzmán, 1997). Mientras que la diversidad de hongos ectomicorrícicos se estimó mediante el índice de Shannon, considerando la riqueza de especies y la abundancia relativa de cada especie por transecto y sector (Somarriba, 1999).

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$$

Donde:

H = índice de Shannon.

$\Sigma$  = Sumatoria sobre las “S” especies (i = 1, 2, 3, .. S) de la población.

Pi = Abundancia relativa de la especie.

ln = Logaritmo natural.

“La abundancia proporcional de la especie i, que es el número de individuos de la especie i, dividido por el número total de individuos de la muestra” (Somarriba, 1999).

Los análisis estadísticos se realizaron en R, versión 4.4.2 (2024). Se aplicó ANOVA de una vía para comparar los parámetros entre sectores altitudinales, considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  y para la comparación de la diversidad un ANOVA según sector altitudinal.

### III. RESULTADOS

**Tabla 2.** Diferencias en las características fisicoquímicas del suelo según sector

Parámetro	Huanca Urco	Nuevo Olmal	Pipus	F	p-valor
pH (1:1)	4.56	4.73	4.88	1.326	0.333
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.04	0.04	0.02	2.4	0.171
Fósforo (ppm)	38.71	32.29	44.22	1.288	0.343
Potasio (ppm)	24.65	100.54	56.43	0.839	0.477
Carbono (%)	2.19	3.32	3.13	1.476	0.301
Materia orgánica (%)	3.79	5.74	5.41	1.478	0.301
Nitrógeno (%)	0.187	0.283	0.267	1.474	0.301

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en las características fisicoquímicas del suelo entre Huanca Urco, Nuevo Olmal y Pipus. El pH presentó valores ácidos, entre 4.56 y 4.88. Pipus registra 4.88, Nuevo Olmal 4.73 y Huanca Urco 4.56, sin diferencias significativas ( $p = 0.333 > 0.05$ ). La conductividad eléctrica es muy baja (0.02-0.04 dS/m): Huanca Urco y Nuevo Olmal presentan 0.04 dS/m, Pipus 0.02 dS/m, indicando baja salinidad sin diferencias significativas ( $p = 0.171 > 0.05$ ).

El fósforo disponible presentó variación numérica entre sectores; sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p = 0.343$ ); aunque Pipus presentó el valor promedio más alto de fósforo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

El potasio mostró la mayor variación descriptiva entre sectores, aunque sin diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.477$ ). En Nuevo Olmal 100.54 ppm, Huanca Urco con 24.65 ppm, Pipus registra 56.43 ppm. El carbono y materia orgánica siguen patrones similares: Nuevo Olmal presenta valores más altos (3.32 % carbono, 5.74 % M.O.), seguido de Pipus (3.13 %, 5.41 %) y Huanca Urco (2.19 %, 3.79 %), sin significancia estadística ( $p = 0.301 > 0.05$ ).

El nitrógeno sigue patrón similar: Nuevo Olmal 0.283 %, Pipus 0.267 %, Huanca Urco 0.187 %, sin diferencias significativas ( $p = 0.301 > 0.05$ ).

Estos resultados sugieren condiciones edáficas similares entre los tres sectores, manteniendo condiciones edáficas estables que favorecen comunidades vegetales adaptadas a suelos ácidos, baja salinidad y contenidos moderados de materia orgánica, evidenciando que la altitud no presenta diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas evaluadas.

**Tabla 3.** Clasificación taxonómica de los hongos ectomicorrícicos asociados a plantaciones de *Pinus patula*

Hongos identificados	<i>Lycoperdon perlatum</i>	<i>Coltricia perennis</i>	<i>Laccaria laccata</i>	<i>Suillus luteus</i>
División	Basidiomycota	Basidiomycota	Basidiomycota	Basidiomycota
Clase	Agaricomycetes	Agaricomycetes	Agaricomycetes	Agaricomycetes
Orden	Agaricales	Hymenochaetales	Agaricales	Boletales
Familia	Lycoperdaceae	Hymenochaetaceae	Hydnangiaceae	Suillaceae
Género	<i>Lycoperdon</i>	<i>Coltricia</i>	<i>Laccaria</i>	<i>Suillus</i>
Especie	<i>perlatum</i>	<i>perennis</i>	<i>laccata</i>	<i>luteus</i>
Nombre científico	<i>Lycoperdon perlatum</i>	<i>Coltricia perennis</i>	<i>Laccaria laccata</i>	<i>Suillus luteus</i>
Nombre común	Pedo de lobo Cuesco de lobo Bejín perlado	Ojo de tigre Poliporo Duradero	Pentinella rosada	Boleto anillado viscoso Hongo amarillo

*Lycoperdon perlatum* es un hongo en forma de pera, con un diámetro de 3 a 5 cm, de color blanco a amarillento, con espinas cónicas, pie corto, ligeramente liso. La parte interna es de color blanco y de consistencia carnosa que evoluciona inicialmente a un amarillo oliváceo y posteriormente a marrón oscuro al madurar totalmente las esporas. Esta evolución de color va acompañada de un cambio en su consistencia, que pasa de ser compacta a polvorienta (Guzmán, 1997).

*Coltricia perennis*, hongo en forma de trozo de madera, de joven umbilicado-embudado, termina aplanado. Superficie tomentosa, opaca, zonada concéntricamente de colores marrón claro a pardo-rojizo (borde más claro). Tubos cortos y poros esféricos virando a angulosos, color gris-pardo. Pie corto, de 1 a 4 cm de alto, central, sólido, pardo-amarillento. Carne dura, coriácea. Olor y sabor no distintivos. Esporada marrón-dorado, esporas elipsoidales, lisas, no amiloides (Guzmán, 1997). *Laccaria laccata*: Hongo con láminas de color rosa-violáceo a gris violáceo, con sombrero de 2 a 5 cm de diámetro, liso de color purpuráceo, pie del color del sombrero con escamas y fibrosas (Guzmán, 1997). *Suillus luteus* (sinónimo: *Boletus luteus*): Hongo de carne blanquecina, con sabor y olor ligero, pie con anillo viscoso de color blanquecino o amarillento, sombrero muy viscoso, de un diámetro de 4 a 10 cm de color café amarillo pálido, rojizo (Guzmán, 1997). La clasificación morfológica permitió registrar cuatro especies de macrohongos asociadas a plantaciones de *P. patula*. Debido a que la identificación se basó en cuerpos fructíferos, la condición ectomicorrícica debe interpretarse como asociación probable y requiere confirmación mediante análisis de raíces o herramientas moleculares.

**Tabla 4.** Estadística descriptiva y ANOVA del índice de Shannon en tres sectores de plantaciones de *Pinus patula*.

Parámetros	Huanca Urco	Pipus	Nuevo Olmal
Media ± DE	0.80 ± 0.35	0.38 ± 0.35	0.33 ± 0.05
Mínimo	0.53	0.00	0.28
Máximo	1.21	0.68	0.39

F = 2.471; p = 0.165

La diversidad de hongos ectomicorrícicos (índice Shannon H) en plantaciones de *Pinus patula* muestra que Huanca Urco tiene la mayor media (0.80) con alta variabilidad (DE=0.35), mientras Pipus (0.38) y Nuevo Olmal (0.33) registran valores menores. Sin embargo, el estadístico (F=2.471, p=0.165>0.05) indica que no existen diferencias significativas entre los tres sectores, lo que significa que, pese a la aparente mayor diversidad en Huanca Urco, no se detectaron diferencias significativas en la diversidad fúngica asociada a los sectores altitudinales evaluados. En la Tabla 5, la diversidad de hongos ectomicorrícicos según los tres pisos altitudinales varía según transecto, mostrando diferencias en abundancia y presencia de *Suillus luteus*, *Coltricia perennis*, *Lycoperdon perlatum* y

*Laccaria laccata*. En Nuevo Olmal se registraron hasta tres especies por transecto, mientras que el mayor valor de Shannon se observó en T3-HU, mientras otros transectos (Huanca Urco y Pipus) muestran menor riqueza con una especie o ausencias. El índice Shannon oscila entre 0.00 y 1.205, lo que sugiere una posible heterogeneidad espacial en la estructura comunitaria fúngica, como las condiciones microambientales locales, resaltando la importancia ecológica de *S. luteus* y *L. laccata* como especies frecuentes y diversificadas.

En la Tabla 6, Huanca Urco presentó 34 registros, distribuidos entre las especies identificadas y un

índice Shannon más alto ( $H' = 1.083$ ), indicando comunidad fúngica equilibrada y diversa. Nuevo Olmal registró 132 cuerpos fructíferos de *S. luteus*, pero menor diversidad general ( $H'=0.364$ ); Pipus presentó 19 cuerpos fructíferos registrados y un índice de Shannon de  $H' = 0.515$ . La dominancia de *Suillus* es evidente en todos los sitios, particularmente en Nuevo Olmal donde *S. luteus* representa 94.3 % de la comunidad, mientras Huanca Urco presenta distribución más equitativa entre géneros (*Suillus*, *Coltricia*, *Lycoperdon*), lo que evidencia diferencias descriptivas en la estructura y composición de las comunidades registradas.

**Tabla 5.** Abundancia e índice de Shannon de hongos ectomicorrícicos por transecto.

transecto	<i>Suillus luteus</i>	<i>Coltricia perennis</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i>	<i>Laccaria laccata</i>	Diversidad	<i>Suillus luteus</i>	<i>Coltricia perennis</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i>	<i>Laccaria laccata</i>	Pi de <i>Suillus luteus</i>	Pi de <i>Coltricia perennis</i>	Pi de <i>Lycoperdon perlatum</i>	Pi de <i>Laccaria laccata</i>	Diversidad
T1-NO	45	0	0	5	0.325	45	0	0	5	0.900	0.000	0.000	0.100	0.325
T2-NO	44	0	2	1	0.278	44	0	2	1	0.936	0.000	0.043	0.021	0.278
T3-NO	43	0	4	1	0.386	43	0	4	1	0.896	0.000	0.083	0.021	0.386
T1-PI	5	0	0	1	0.451	5	0	0	1	0.833	0.000	0.000	0.167	0.451
T2-PI	4	0	0	3	0.683	4	0	0	3	0.571	0.000	0.000	0.429	0.683
T3-PI	6	0	0	0	0.000	6	0	0	0	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T1-HU	7	5	0	0	0.679	7	5	0	0	0.583	0.417	0.000	0.000	0.679
T2-HU	7	0	2	0	0.530	7	0	2	0	0.778	0.000	0.222	0.000	0.530
T3-HU	4	6	1	2	1.205	4	6	1	2	0.308	0.462	0.077	0.154	1.205

Nota. NO = Nuevo Olmal; PI = Pipus; HU = Huanca Urco; T = transecto

**Tabla 6.** Diversidad de hongos ectomicorrícicos asociados a plantaciones de *Pinus patula*, en tres pisos altitudinales en Chachapoyas, según sector.

Bosque	<i>Suillus luteus</i>	<i>Coltricia perennis</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i>	<i>Laccaria laccata</i>	Diversidad	<i>Suillus luteus</i>	<i>Coltricia perennis</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i>	<i>Laccaria laccata</i>	Pi de <i>Suillus luteus</i>	Pi de <i>Coltricia perennis</i>	Pi de <i>Lycoperdon perlatum</i>	Pi de <i>Laccaria laccata</i>	Diversidad
Nuevo Olmal	132	0	6	7	0.364	132	0	6	7	0.910	0.000	0.041	0.048	0.364
Pipus	15	0	0	4	0.515	15	0	0	4	0.789	0.000	0.000	0.211	0.515
Huanca Urco	18	11	3	2	1.083	18	11	3	2	0.529	0.324	0.088	0.059	1.083

#### IV. DISCUSIÓN

Las características físico-químicas del suelo evaluadas en los tres pisos altitudinales de plantaciones de *Pinus patula* en Chachapoyas evidenciaron una notable homogeneidad, lo que contrasta parcialmente con lo reportado por Baeza & Cham (2023) en México, quienes encontraron que la composición fúngica estuvo significativamente influenciada por variables edáficas como la relación C:N, el carbono total y el fósforo total. En el presente estudio, el pH levemente ácido, con valores entre 4.56 y 4.88, la baja conductividad eléctrica y los niveles relativamente homogéneos de nutrientes sugieren que las condiciones del suelo no presentaron diferencias suficientes para explicar variaciones significativas en las comunidades de hongos ectomicorrícicos registradas.

Estos resultados también pueden relacionarse con lo señalado por Calampa (2021), quien evidenció que las condiciones de vivero en especies de pino influyen significativamente en la producción de *Suillus luteus*, especialmente cuando existe una adecuada disponibilidad de materia orgánica, la cual favorece la simbiosis hongo-pino. Sin embargo, en condiciones de campo libre, la fructificación de los hongos puede estar condicionada por una mayor variabilidad ambiental, competencia biológica y otros factores locales. Por ello, los valores de materia orgánica registrados podrían estar vinculados con la abundancia de cuerpos fructíferos, aunque esta relación requiere ser evaluada con mayor profundidad. Una posible explicación de la ausencia de diferencias significativas en las propiedades del suelo es la cercanía altitudinal entre los sitios evaluados. No obstante, esta interpretación debe ser confirmada mediante estudios geológicos y ambientales complementarios. En contextos como Amazonas, los suelos derivados de formaciones geológicas similares pueden mantener características relativamente uniformes en gradientes altitudinales cortos, sobre todo cuando existe una cobertura vegetal dominante de la misma especie. Sin embargo, dicha homogeneidad edáfica no implica necesariamente una uniformidad en la composición de las comunidades microbianas o fúngicas.

La identificación morfológica de cuatro especies principales de hongos ectomicorrícicos, *Lycoperdon perlatum*, *Coltricia perennis*, *Laccaria laccata* y *Suillus luteus*, evidencia la presencia de asociaciones fúngicas relevantes en plantaciones de *P. patula*. Este hallazgo coincide parcialmente con estudios previos que reportan la presencia de géneros como *Laccaria* y *Suillus* en ecosistemas de pino. Ramírez et al. (2021), en la Sierra Juárez de Oaxaca, registraron a *Laccaria* entre los linajes con mayor número de especies, mientras que Baeza & Cham (2023) identificaron a *Suillus* como uno de los géneros dominantes en bosques mexicanos de pino.

La presencia de *Suillus luteus* como especie dominante resulta particularmente relevante, debido a que Villanueva (2021) reportó en Cajamarca una proliferación exitosa de esta especie en plantaciones de *P. patula*, aunque con mayor producción en *P. radiata*. Esta coincidencia sugiere que *S. luteus* podría presentar cierta afinidad ecológica con plantaciones de pino en ambientes andinos. Sin embargo, para confirmar esta relación, sería necesario desarrollar estudios experimentales y análisis moleculares que permitan corroborar con mayor precisión la identidad taxonómica y el grado de asociación simbiótica con *P. patula*.

Los valores del índice de Shannon ( $H'$ ) oscilaron entre 0.00 y 1.205, con una media más alta en Huanca Urco ( $0.80 \pm 0.35$ ) en comparación con Pipus ( $0.38 \pm 0.35$ ) y Nuevo Olmal ( $0.33 \pm 0.05$ ). Estos valores son menores respecto a los reportados en investigaciones internacionales. Por ejemplo, Baeza et al. (2021) identificaron 28 morfotipos en una cronosecuencia de rodales, mientras que en el presente estudio se registraron solo cuatro especies. De manera similar, Gómez et al. (2019) reportaron 63 taxones en diferentes etapas de desarrollo forestal, encontrando mayor riqueza en etapas intermedias, y Soto et al. (2022) identificaron 33 morfotipos en bosques de *P. patula* en Puebla. Estas diferencias sugieren que la diversidad de hongos ectomicorrícicos puede estar influenciada por factores como la edad del rodal, el manejo forestal, la estacionalidad y las condiciones microambientales.

La presencia de valores de  $H' = 0.00$  en alguno de los transectos de *Pinus patula* evidencia una distribución heterogénea de los cuerpos fructíferos, posiblemente asociada a micrositios con condiciones menos favorables para la fructificación. Esta heterogeneidad espacial podría explicarse por variaciones microambientales, competencia interespecífica, disponibilidad de materia orgánica o disturbios localizados. En ese sentido, aunque el análisis estadístico confirmó la ausencia de diferencias significativas en la diversidad de hongos entre los pisos altitudinales evaluados ( $p > 0.05$ ), la variabilidad descriptiva observada sugiere que existen factores locales que podrían influir en la presencia y abundancia de las especies registradas.

A pesar de la homogeneidad de las características edáficas, la estructura de las comunidades ectomicorrícicas mostró variaciones espaciales entre sectores. Estudios como los de Gutiérrez (2019) y Ancco (2019) señalan que la inoculación con hongos ectomicorrícicos específicos puede mejorar el crecimiento y la supervivencia de plántulas de pino en vivero. En este contexto, la presencia de *Laccaria laccata* y *Suillus luteus* en las plantaciones evaluadas permite considerar a estas especies como potenciales candidatas para futuros estudios de inoculación, especialmente orientados a mejorar el establecimiento y desarrollo inicial de plántulas de pino.

De acuerdo con Sopla (2020), las condiciones agroclimáticas son determinantes en la producción y calidad de *Suillus luteus*. Por ello, la dominancia de esta especie en Nuevo Olmal podría indicar que dicho sector presentó condiciones favorables para su fructificación durante el periodo de muestreo. Sin embargo, esta observación debe interpretarse con cautela, debido a que la producción de cuerpos fructíferos puede variar considerablemente según la época del año, la humedad del suelo, la temperatura, la edad de los rodales y las prácticas de manejo forestal.

Una de las principales limitaciones del estudio fue el periodo restringido de muestreo, ya que la fructificación de macrohongos ectomicorrícicos puede variar estacionalmente. Asimismo, factores como la edad de las plantaciones, el manejo

silvicultural, la amplitud del gradiente altitudinal y las condiciones microclimáticas podrían influir en la diversidad registrada. En concordancia con Baeza et al. (2021) y Sopla (2020), futuros estudios deberían incorporar muestreos en diferentes épocas del año, incluir rodales de distintas edades y complementar la identificación morfológica con herramientas moleculares. Esto permitiría una comprensión más precisa de la dinámica de las comunidades ectomicorrícicas asociadas a *P. patula* en ecosistemas andino-amazónicos de Chachapoyas.

Estos resultados indican que la diversidad de hongos ectomicorrícicos asociados a *P. patula* no estuvo determinada significativamente por la altitud ni por las características físico-químicas del suelo evaluadas. Más bien, la variabilidad observada parece responder a factores microambientales específicos de cada sector, lo que resalta la importancia de considerar variables como estructura vegetal, humedad, cobertura del suelo, manejo forestal y estacionalidad en futuras investigaciones.

## V. CONCLUSIONES

Las propiedades físico-químicas del suelo no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las plantaciones de *Pinus patula* evaluadas. En el gradiente altitudinal estudiado, no se evidenció un efecto significativo de la altitud sobre dichas propiedades, posiblemente debido a la similitud de las condiciones ambientales locales; sin embargo, esta interpretación requiere estudios complementarios que incorporen variables geológicas, climáticas y edáficas de mayor detalle.

La clasificación taxonómica de los hongos ectomicorrícicos asociados a *P. patula* permitió identificar cuatro especies principales: *Lycoperdon perlatum*, *Coltricia perennis*, *Laccaria laccata* y *Suillus luteus*. Estas especies pertenecen a los órdenes Agaricales, Hymenochaetales y Boletales, los cuales han sido reportados en asociación con ecosistemas forestales de pino. En ese sentido, la comunidad ectomicorrícica registrada en Chachapoyas está conformada por especies de interés ecológico, taxonómico y potencialmente aplicables en futuros estudios de inoculación forestal.

Aunque se observaron variaciones numéricas en la diversidad de hongos ectomicorrícicos entre los sitios evaluados, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas. La alta variabilidad registrada, especialmente en Nuevo Olmal y Pipus, evidencia una distribución heterogénea de las comunidades fúngicas dentro de cada sector, con valores que oscilaron desde ausencia de diversidad hasta niveles moderadamente altos. Esta variabilidad espacial sugiere la posible influencia de factores microambientales no evaluados en el presente estudio. Bajo las condiciones evaluadas, la diversidad ectomicorrícica asociada a *P. patula* en Chachapoyas no estuvo determinada significativamente por la altitud ni por las propiedades fisicoquímicas del suelo. No obstante, Huanca Urco presentó la mayor diversidad, con un valor de  $H' = 1.083$ , seguido de Pipus con una diversidad intermedia de  $H' = 0.515$  y Nuevo Olmal con la menor diversidad de  $H' = 0.364$ , pese a registrar la mayor abundancia de cuerpos fructíferos debido a la dominancia de *S. luteus*. Estos resultados sugieren que la estructura y composición de las comunidades ectomicorrícicas podrían estar más relacionadas con factores microambientales locales que con el gradiente altitudinal evaluado.

#### AGRADECIMIENTOS

Se expresa un sincero agradecimiento a las municipalidades de Huancas, San Francisco de Daguas y Sonche por las facilidades brindadas para la ejecución del presente estudio en los bosques de *Pinus patula*. Asimismo, se agradece al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva por autorizar el uso de las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas, que permitió llevar a cabo los análisis correspondientes y contribuir a esta investigación.

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de interés y señalan que las contribuciones al estudio se realizaron sin influencias externas que pudieran afectar la integridad de los resultados.

#### CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Conceptualización: G.M.; Curación de datos: G.M.; Análisis formal: L.M.; Investigación: G.M.; Administración del proyecto: G.M.; Recursos: G.M.; Software: L.M.; Supervisión: L.M.; Redacción del borrador original: G.M.; Redacción, revisión y edición: G.M.; L.M.

#### VI. REFERENCIAS

- Ancco, Y. (2019). Evaluación del inóculo micorrizal del hongo (*Boletus edulis*) en la producción de plantones de pino (*Pinus radiata* D. Don) en Andahuaylas [Tesis de titulación, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5017?show=full>
- Arias, J. L. (2021). *Diseño y metodología de la investigación* (Enfoques Consulting EIRL, Ed.). [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias\\_S2.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf)
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Ávila, C., Chinchilla, O., & González, W. (2021). Muestreo de suelo y rizosfera para la identificación de hongos micorrízicos arbusculares asociados naturalmente a la especie caoba. *Ambientico*, 278, 30–34.
- Baeza, Y., Camargo, S., Trejo, D., & Montaña, N. (2023). Fungal and bacterial communities in a forest relict of *Pinus pseudostrubus* var. *coatepecensis*. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 16(6), 299–306. <https://doi.org/10.3832/ifor4284-016>
- Baeza, Y., Dorantes, J., Medel, R., & Trejo, D. (2021). Morfotipos de ectomicorrizas en una cronosecuencia de rodales de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en la zona este de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(66). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.819>
- Baeza, Y., Dorantes, J., Medel, R., & Trejo, D.

- (2021). Morfotipos de ectomicorrizas en una cronosecuencia de rodales de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en la zona este de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(66). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.819>
- Calampa, E. (2021). Evaluación de la producción de hongos comestibles *Boletus luteus* bajo condiciones controladas en plantaciones de pino (*Pinus radiata*) [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional
- Dago, Y., Calzadilla, K., Redonet, M. de los Á., & Suarez, A. G. (2023). Especies de hongos ectomicorrízicos en dos ecosistemas de la localidad Plan Café. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 11(1), e774. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-34692023000100001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692023000100001)
- Gómez, M., Ramírez, K. G., & Gándara, E. (2019). Ectomycorrhizal and wood-decay macromycete communities along development stages of managed *Pinus patula* stands in Southwest Mexico. *Fungal Ecology*, 39, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.12.007>
- Gutiérrez, G. G. (2019). Tipos y niveles de inóculos de micorrizas en la producción de dos especies de pinos en tubetes, Vivero Forestal Huamanga 2761 msnm, Ayacucho [Tesis de titulación, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/eb53ca3c-2ce3-4357-99c5-0ffeb7ebfde3>
- Guzmán, G. (1997). *Identificación de los hongos: comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de la madera* (Editorial Limusa, Ed.; 1st ed.). EDITORIAL LIMUSA, S, A, de C. V. <https://archive.org/details/1977-guzman-hongos/page/n3/mode/2up>
- Higashide, N., Zhang, Y., Asatani, K., Miura, T., & Sakata, I. (2024). Quantifying advances from basic research to applied research in material science. *Technovation*, 135, 103050. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2024.103050>
- Llanos Gómez, K. J., Silva Manco, M. Julia, Arce Inga, M., Sanchez Santillan, T., & Leiva Espinoza, S. T. (2023). Identificación morfológica de hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de cacao en la región Amazonas, Perú. *Manglar*, 20(1), 7–14. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.001>
- Mata, G., Pérez Ochoa, D. A., Romero Vázquez, D. I., Medel Ortiz, R., & Salmones, D. (2023). Viabilidad y capacidad micorrizógena in vitro de cepas criogenizadas de hongos ectomicorrízicos. *Madera y Bosques*, 29(3), e2932472. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2932472>
- Olivas, R. G. (2017). Evaluación preliminar de la microflora de la cuenca del río los amigos, Madre de Dios, Perú. *Biodiversidad Amazónica*, 1(1). <https://revistas.unamad.edu.pe/index.php/Biodiversidad/login>
- Ramírez, A. A., Hernández, A. F., Valenzuela, C., Garibay, R., & Truong, C. (2021). Hongos ectomicorrízicos asociados a plantas jóvenes de *Pinus patula* y *Quercus crassifolia* en plantaciones del sistema matarrasa de la Sierra Juárez de Oaxaca, México. *Scientia Fungorum*, 51, e1289. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1289>
- Rodríguez, G., Vargas, J. J., López, J., & Pérez, J. (2024). *Diversidad de morfotipos de hongos ectomicorrizógenos y adaptación al hospedero en poblaciones contrastantes de Pinus greggii var. australis (Pinaceae)*. *Acta Botanica mexicana*, 131. <https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2151>
- Ruiz-Valencia, J. A., Vázquez, M., Burgos-Hernández, M., Gutiérrez, J., & Terrazas, T. (2021). Anatomía de la madera de especies de *Forestiera (Oleaceae)* en México. *Acta Botanica Mexicana*, 128, e1906. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1924>
- Somarriba, E. (1999). Diversidad Shannon. *Agroforestería En Las Américas*, 6(23), 72–74. [https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Somarriba/Diversidad\\_Shannon/links/5ac286c1a6fdccda65f7e78/Diversidad-Shannon.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Somarriba/Diversidad_Shannon/links/5ac286c1a6fdccda65f7e78/Diversidad-Shannon.pdf)

- Sopla, A. C. (2020). *Comportamiento productivo del hongo comestible Suillus luteus bajo diferentes condiciones de manejo*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional
- Soto, A. L., Velázquez, A., Pérez, J., Fierros, A. M., & Martínez, M. (2022). Morfotipos ectomicorrícicos en retención estructural variable de *Pinus patula* Schltld et Cham. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822388. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822388>
- Vasco, A. M. (2023). *Diversidad de hongos ectomicorrízicos en la amazonía colombiana*. [https://ipt.biodiversidad.co/permisos/resource?r=ectomicorrizas\\_amazona](https://ipt.biodiversidad.co/permisos/resource?r=ectomicorrizas_amazona)
- Villanueva, F. J. (2022). *Metodología de la investigación* (H. F. Guerrero Aguilar, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Klik Soluciones Educativas, S.A. de C.V. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6e-KEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=metodolog%C3%ADa+de+la+investigaci%C3%B3n&otsJ42weTEQvOclbEJ02xk#v=onepage&q&f=false>
- Villanueva, J. K. (2021). *Efecto de la poda de Pinus radiata y P. patula, en la proliferación de Suillus luteus* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4496?show=full>