



## Microorganismos (Reino: Fungi) bajo trapeo de suelos en sistemas agroforestales de la Estación Experimental Sapecho

Microorganisms (Kingdom: Fungi) under soil trapping in agroforestry systems of the Sapecho Experimental

*Microrganismos (Reino: Fungos) sob captura de solo em sistemas agroflorestais da Estação Experimental Sapecho*

ARTÍCULO ORIGINAL



Melany Gutierrez-Hurtado 

gutierrez41@umsa.bo

Lorenzo Quelali-Mamani 

lorenzo.quelali@gmail.com

Jhoselin Noemi Cruz Mamani 

jhoselinnami@gmail.com

Universidad Mayor de San Andrés, Estación Experimental Sapecho.  
La Paz, Bolivia

Escanea en tu dispositivo móvil  
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v10i27.142>

Artículo recibido 4 de marzo 2026 | Aceptado 2 de abril 2026 | Publicado 4 de mayo 2026

### RESUMEN

La agroforestería es una práctica agroecológica que combina cultivos agrícolas con árboles forestales bajo un enfoque sostenible. En este sistema, la descomposición de materia orgánica juega un rol crucial al interactuar con microorganismos del suelo. Consecuente, la investigación actual tuvo como objetivo estudiar la relación entre diversidad, abundancia fúngica y vegetal respecto a sus condiciones microclimáticas en el suelo. La metodología fue dividida en tres etapas: instalación de trampas, recolección de datos y análisis en laboratorio en distintos sistemas agroforestales (SAF) de la Estación Experimental Sapecho (EES). Se tomaron datos de temperatura y humedad del suelo al momento de la extracción de las trampas. Además, se calculó el porcentaje de colonización fúngica en las trampas de arroz mediante el software ImageJ. Los resultados fueron interpretados comparativamente entre los SAF, donde se encontraron diferencias significativas para la diversidad y abundancia de especies fúngicas en relación con la diversidad vegetal presente en cada sistema. En particular, el SAF 1, resaltó por su mayor diversidad de especies vegetales, con lo cual, también mostró mayor diversidad fúngica. Por otro lado, el SAF 4 mostró una relación inversa para la temperatura ( $R^2 = -0.27$ ) y una relación directa para la humedad del suelo ( $R^2 = 0.26$ ). Estos hallazgos subrayan la importancia de la gestión agronómica que fomente la diversidad vegetal para promover comunidades fúngicas saludables y resilientes en sistemas agroforestales.

**Palabras clave:** Hongos; Agroecología; Sostenibilidad; Biodiversidad del suelo

### ABSTRACT

Agroforestry is an agroecological practice that combines agricultural crops with forest trees under a sustainable approach. In this system, the decomposition of organic matter plays a crucial role by interacting with soil microorganisms. Consequently, the current research aimed to study the relationship between diversity, fungal and plant abundance with respect to their microclimatic conditions in the soil. The methodology was divided into three stages: installation of traps, data collection and laboratory analysis in different agroforestry systems (SAF) of the Sapecho's Experimental Station (EES). Soil temperature and humidity data were taken at the time of trap extraction. Additionally, the percentage of fungal colonization in the rice traps was calculated using ImageJ software. The results were interpreted comparatively between the SAF, where significant differences were found for the diversity and abundance of fungal species in relation to the plant diversity present in each system. Specifically, SAF 1 stood out for its greater diversity of plant species, which also showed greater fungal diversity. On the other hand, SAF 4 showed an inverse relationship for temperature ( $R^2 = -0.27$ ) and a direct relationship for soil moisture ( $R^2 = 0.26$ ). These findings underscore the importance of agronomic management that encourages plant diversity to promote healthy and resilient fungal communities in agroforestry systems.

**Key words:** Fungus; Agroecology; Sustainability; Soil's biodiversity; microorganisms

### RESUMO

A agrossilvicultura é uma prática agroecológica que combina culturas agrícolas com árvores florestais sob uma abordagem sustentável. Neste sistema, a decomposição da matéria orgânica desempenha um papel crucial ao interagir com os microrganismos do solo. Consequentemente, a presente pesquisa teve como objetivo estudar a relação entre diversidade, abundância de fungos e plantas em relação às suas condições microclimáticas no solo. A metodologia foi dividida em três etapas: instalação de armadilhas, coleta de dados e análise laboratorial em diferentes sistemas agroflorestais (SAF) da Estação Experimental Sapecho (EES). Os dados de temperatura e umidade do solo foram coletados no momento da extração das armadilhas. Além disso, a porcentagem de colonização fúngica nas armadilhas de arroz foi calculada utilizando o software ImageJ. Os resultados foram interpretados comparativamente entre os SAF, onde foram encontradas diferenças significativas para a diversidade e abundância de espécies fúngicas em relação à diversidade vegetal presente em cada sistema. Em particular, o SAF 1 destacou-se pela maior diversidade de espécies vegetais, que também apresentou maior diversidade fúngica. Por outro lado, o SAF 4 apresentou relação inversa para temperatura ( $R^2 = -0.27$ ) e relação direta para umidade do solo ( $R^2 = 0.26$ ). Estas descobertas sublinham a importância da gestão agronômica que incentiva a diversidade de plantas para promover comunidades fúngicas saudáveis e resilientes em sistemas agroflorestais.

**Palavras-chave:** Fungos; Agroecologia; Sustentabilidade; Biodiversidade do solo

## INTRODUCCIÓN

La agroforestería o el sistema agroforestal (SAF) como una producción agroecológica, combina diferentes cultivos agrícolas con árboles forestales, que con el pasar del tiempo se está volviendo muy popular (Araya, 2023). Dentro del manejo del sistema se prioriza la poda, desmoche o raleo, ya que servirá de sustrato para su descomposición en el suelo con la interacción de los microorganismos (Conde, 2021).

La materia orgánica (MO) de un SAF proviene directamente de la poda de las especies vegetales que se encuentran en el lote agrícola (Arrigo, 2005). La MO proveniente de las plantas es importante para preservar la biodiversidad de microorganismos y la fertilidad del suelo (Vehedi y Rasouli, 2019). El suelo como un ente vivo alberga microorganismos patógenos y benéficos, los microorganismos benéficos (hongos, bacterias y nemátodos) en el suelo pueden cumplir un papel muy importante para las plantas, ya que algunos de estos solubilizan los nutrientes y éstos serán de fácil absorción para las raíces de las plantas (Kocira, 2020).

En la rizósfera, uno de los principales sitios donde se presentan microorganismos, específicamente funcionales, como fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fosfatos, promotores del crecimiento vegetal, biocontroladores y especies patogénicas, normalmente, compiten por espacio y por nutrientes (Cano, 2011). Los microorganismos del suelo mantienen procesos, como la captura y almacenamiento de carbono, el ciclo de

nutrientes, la fijación de nitrógeno, la infiltración de agua, la aireación y la degradación de la materia orgánica. Los efectos de estos servicios ecosistémicos aún no se han explorado plenamente, especialmente las bacterias y hongos del suelo (Vega, 2013).

La identificación de los hongos fue acorde a descripciones reportados en la literatura (Watanabe, 2010; Campbell, 2013 y Taylor y Fracis 2017). De ahí que las relaciones entre estos microorganismos y sus factores climáticos son necesarias para verificar la salud biológica del suelo. Por lo cual, el objetivo de la presente investigación fue estudiar la relación entre diversidad, abundancia fúngica y vegetal asociadas a sus condiciones microclimáticas.

## MÉTODO

### Generalidades

La Estación Experimental Sapecho es dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, está ubicada en el municipio de Palos Blancos, provincia Sud Yungas del departamento de La Paz (Figura 1). Geográficamente se localiza a 15° 33' 53.57" de latitud sur y 67° 19' 11.23" de longitud oeste, a una altitud de 410 m.s.n.m. (Cuata y Manzaneda, 2018; SENAMHI, 2024).

### Fase de muestreo en campo

Para el muestreo en campo, se implementó un procedimiento sistemático para la colocación de trampas en las parcelas seleccionadas con los siguientes pasos; se identificaron y delimitaron

Gutiérrez-Hurtado, y cols.

cuatro parcelas SAF de estudio dentro del área designada para el muestreo. En cada lote agrícola se empleó un muestreo sistemático para la colocación de trampas. Se dispusieron un total de ocho trampas por lote agrícola, distribuidas en un patrón de zigzag. La elección del patrón en zigzag se basó en el conocimiento de que la distribución de los hongos en el campo no es uniforme. Este

método de disposición permite una cobertura más representativa del área de estudio, con lo cual aumenta la probabilidad de capturar una muestra diversificada de hongos presentes. Previamente se realizaron ensayos con trapeos solamente en el SAF 1, de esta manera se estandarizaron las metodologías.

### Figura 1.

*Ubicación de los lotes agrícolas en la EES*



Para las trampas de arroz (Figura 2), primero se tomó una muestra de 1,5 kg de arroz y se colocó en una olla con agua en ebullición. El arroz se cocinó durante un tiempo exacto de 6 minutos. Posteriormente, se apagó la fuente de calor y se dejó reposar el arroz durante 15 minutos para que se enfriara a temperatura ambiente. Una vez enfriado, el arroz precocido se distribuyó uniformemente en vasos de plástico.

Se prepararon un total de 32 vasos, cada uno conteniendo una porción de 100 gramos de arroz. Cada vaso se cubrió con tela tipo red, la cual permite la ventilación mientras protege el contenido de contaminantes externos. La tela se aseguró firmemente alrededor de la abertura de cada vaso utilizando material elástico (Leite y Meira, 2016).

**Figura 2.**

*Esquema elaboración de trampas de arroz para la captura de microorganismos*



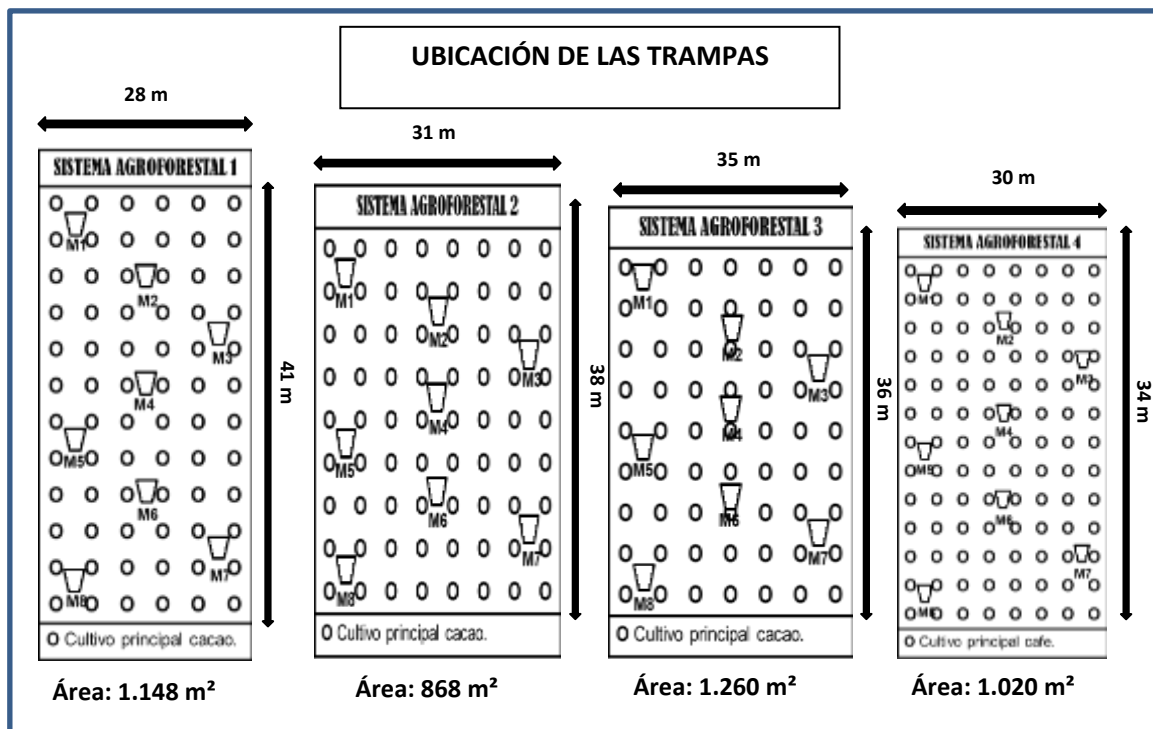
Para la instalación de trampas en campo, se trabajó bajo un muestreo sistemático, las muestras se distribuyeron en el lote en forma de zigzag ordenado (Figura 3), con un total de 8 muestras por lote (Coyne, 2007). Con ayuda de una pala se cavaron 8 hoyos en cada parcela. Cada hoyo tenía una profundidad de 10 cm, adecuada para alojar la trampa de manera segura y efectiva. Las trampas fueron colocadas cuidadosamente en cada uno de los hoyos previamente cavados.

Después, se rellenaron los hoyos con tierra, de forma que se fijen las trampas en el suelo y al ras con la superficie del terreno. Para asegurar que las trampas fueran fácilmente localizables en el campo, se empleó un sistema de marcación, se colocaron tres estacas alrededor de cada trampa. Cada estaca se marcó con una cinta azul, lo que proporciona una referencia visual clara y

distintiva para evitar la pérdida de ubicación de las trampas en el lote agrícola.

**Figura 3.**

*Distribución de las trampas de arroz en los diferentes lotes agrícolas*



Después de una semana de exposición en campo, se procedió a la recolección y análisis de las trampas siguiendo un procedimiento sistemático. Se localizaron las trampas utilizando las estacas marcadas con cintas azules. Con la ayuda de una pala, se extrajeron cuidadosamente las ocho trampas de cada lote agrícola, asegurándose de no alterar las muestras contenidas en ellas. Inmediatamente después de la extracción de las trampas, se midió la temperatura del suelo en el lugar donde cada trampa estaba colocada. Esta medición se realizó para obtener datos precisos sobre las condiciones térmicas del suelo en el momento de la recolección. En el mismo lugar se colocó peróxido de hidrogeno (agua oxigenada) para detectar la presencia de actividad biológica. La reacción con el peróxido de hidrogeno indica

actividad biológica mediante la producción de burbujas de oxígeno.

Se recolectaron muestras de suelo de los sitios donde estaban ubicadas las trampas. Estas muestras fueron almacenadas en bolsas de plástico, cerradas herméticamente y etiquetadas para su posterior análisis en laboratorio. Se registraron las especies vegetales presentes en un radio aproximado de un metro alrededor de cada trampa. Este análisis permitió identificar las interacciones entre las trampas y las plantas circundantes. Todos los datos recolectados, incluyendo la temperatura del suelo, la actividad biológica del suelo, y las especies vegetales identificadas, fueron anotadas meticulosamente en una tabla digital para su análisis y comparación posterior.

## Fase Laboratorio

Se utilizó un medio de cultivo alternativo debido a limitaciones económicas. Este medio se preparó con gelatina sin sabor y carragenina. Para ello, se mezclaron aproximadamente 300 gramos de gelatina sin sabor y 3 gramos de carragenina en una cantidad adecuada de agua destilada, asegurándose de obtener una solución homogénea. La mezcla se calentó hasta la disolución completa de los componentes y luego se vertió 3 ml en 32 envases esterilizados a altas temperaturas, dejándola solidificar a temperatura ambiente. Las trampas de arroz con los hongos presentes fueron examinadas para identificar las muestras fúngicas que serían sembradas. Bajo condiciones estériles, se tomaron porciones pequeñas de un mismo hongo y se sembraron en los envases preparados, a través del método de siembra en puntos (cinco puntos por medio). Los envases inoculados se incubaron a una temperatura de aproximadamente 22-28°C durante un período de siete días. Durante la incubación, se monitoreó el crecimiento de las colonias fúngicas diariamente para asegurar el desarrollo adecuado y para identificar cualquier contaminación.

Después de seleccionar colonias de hongos de las muestras obtenidas de las trampas de arroz, se procedió a su identificación mediante un método de impresión en portaobjetos. Utilizando cinta adhesiva transparente, se realizó una impresión directa de las colonias fúngicas, presionando suavemente la cinta sobre el hongo y luego adhiriéndola a un portaobjetos limpio.

Este método permitió obtener una réplica detallada de las estructuras fúngicas, incluyendo hifas, esporas y otras características morfológicas. Las muestras así obtenidas fueron observadas bajo el microscopio para analizar la formación y disposición de los micelios, hifas y esporas. Posteriormente, se realizó una comparación morfológica con la bibliografía disponible, para identificar los hongos en base a sus características microscópicas. Este proceso de comparación incluyó el análisis de la forma y estructura de las esporas, permitiendo una correcta identificación taxonómica de los hongos presentes en las muestras.

Para determinar el porcentaje de colonización de los hongos en las muestras, se realizó un análisis detallado del área contaminada en las trampas de arroz. Primero, se extendió cada muestra para que toda el área colonizada fuera visible y se tomó una fotografía de alta resolución. Usando la aplicación ImageJ, se midió el área total de cada muestra y luego se identificaron las áreas colonizadas por los hongos, diferenciadas por los colores característicos de las colonias.

El área colonizada por los hongos se cuantificó utilizando la misma aplicación. Posteriormente, se calculó el porcentaje de colonización aplicando la fórmula:  $[\text{área de la colonia} \times 100] / \text{área total de la muestra} = \% \text{ de colonización}$ . Este cálculo permitió determinar la proporción del área total que había sido colonizada por los hongos, proporcionando una medida precisa del grado de colonización en cada muestra.

Los datos para la evaluación fueron temperatura y humedad, versus el porcentaje de colonización, donde la variable dependiente (y) fue el porcentaje de colonización y la variable independiente (x) fue temperatura y humedad.

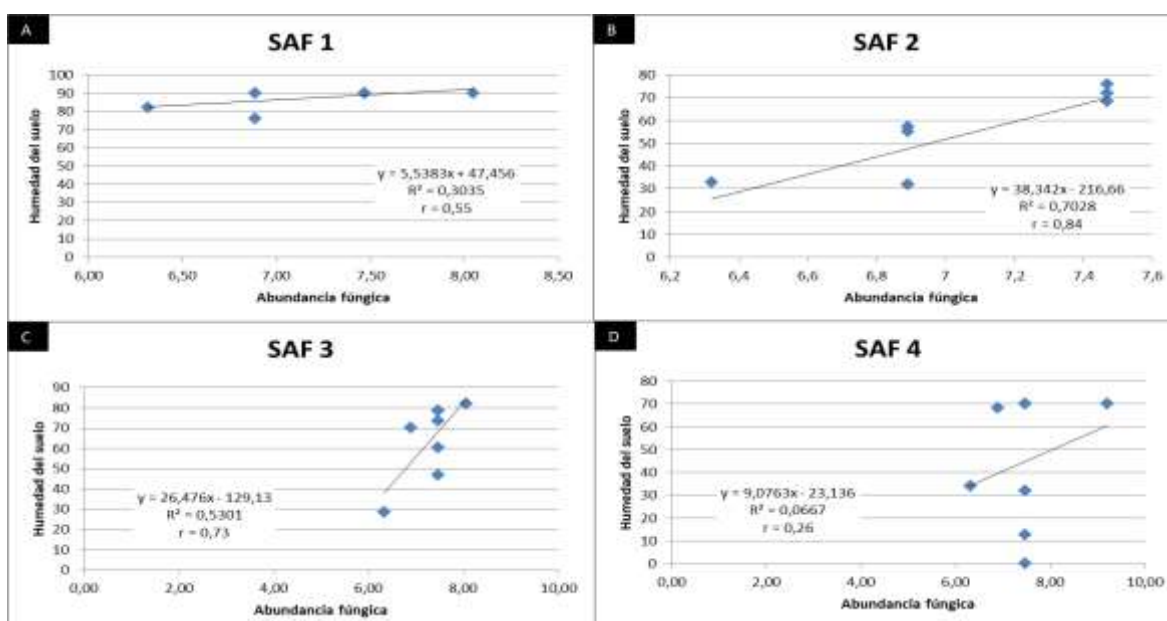
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema agroforestal 1 alberga diferentes especies vegetales, donde la materia orgánica de las mismas interacciona con las trampas de microorganismos. Este SAF se denomina complejo ya que presenta alta diversidad y densidad de especies. Entre las principales, se tiene cacao, banano, toco colorado, motacú, chirimoya de monte, pacay, cítrico, achiote, toco colorado, roble, toco blanco, verdolago amarillo, café, palta, quina quina y copoazú. Por otro lado, se puede observar una evolución favorable en la sucesión de especies, sin embargo, los estratos se encuentran un poco entrelazados, lo cual podría provocar un estancamiento en el sistema.

La idea de los SAF es que el ecosistema se encuentre en constante movimiento, es decir que exista dinámica entre especies. La mayoría de hongos encontrados presentaron coloraciones claras, blanco, aproximadamente el 50% de las hifas son septadas y el otro 50% son aceptadas. El 100% de las muestras dieron positivo a la actividad biológica y se observa un crecimiento irregular en todos los hongos encontrados.

Entre los clados encontrados, se identificaron a Ascomycetes, Oomycetes, Zigomicetos. en las trampas de suelo, lo cual resalta la diversidad fúngica y de otros microorganismos presentes en el ecosistema edáfico. Cada uno de estos elementos aporta información relevante sobre las condiciones ambientales, la biodiversidad y las interacciones ecológicas que ocurren en el suelo.

**Figura 4.**  
*Parámetros climáticos vs abundancia fúngica*



También consideramos que este lote agrícola (SAF 1) cuenta con 10 especies forestales, 8 especies forestales, 6 especies exóticas, 5 especies ornamentales, 4 cultivos perennes y 3 cultivos de cobertura. Con un total de 36 especies vegetales dentro del lote agrícola.

El sistema agroforestal 2 alberga diferentes especies vegetales, donde la materia orgánica de los mismo interacciona con las trampas de microorganismos, entre las cuales tenemos; Café, santa Luisa, falsa margarita, banano, pacay, teca, lengua de vaca y achiote, también consideramos que este lote agrícola cuenta con 7 especies forestales, 2 especies forestales, 4 especies exóticas, 4 especies ornamentales, 4 cultivos perennes y 2 cultivos de cobertura. Con un total de 23 especies vegetales dentro del lote agrícola.

Las ascosporas observadas pertenecen a hongos ascomicetos, los cuales son ampliamente reconocidos por su papel en la descomposición de materia orgánica y su contribución al ciclo de nutrientes. La presencia abundante de estas estructuras sugiere una alta actividad saprofítica en las muestras analizadas, lo que podría estar relacionado con un contenido elevado de materia orgánica en el suelo. Además, la morfología y diversidad de las ascosporas podría indicar un ecosistema equilibrado con condiciones favorables para el crecimiento de hongos beneficiosos.

En particular, ciertos tipos de ascosporas encontradas son indicadores de suelos ricos en celulosa y hemicelulosa, lo que refuerza la hipótesis de que el suelo estudiado tiene un alto potencial para procesos de descomposición. Esta

observación es consistente con estudios previos que reportan correlaciones positivas entre la abundancia de ascosporas y la calidad del contenido orgánico del suelo.

La presencia de oosporas apunta a la actividad de microorganismos pertenecientes a los oomicetos, como especies de *Phytophthora* o *Pythium*. Estos organismos son conocidos tanto por su papel en la descomposición como por su potencial para causar enfermedades en plantas. Sin embargo, su identificación también puede reflejar condiciones particulares del suelo, como alta humedad o compactación, que favorecen el desarrollo de estos microorganismos.

En este estudio, la detección de oosporas en cantidades moderadas podría ser un indicador de la existencia de microhábitats dentro del suelo que soportan la proliferación de oomicetos. Adicionalmente, su identificación resalta la necesidad de un monitoreo continuo, ya que algunas especies oomicetas pueden convertirse en patógenos cuando las condiciones ambientales cambian o si las plantas hospedadoras son vulnerables.

Los esporangioforos encontrados se asocian principalmente a hongos y protistas del suelo, que emplean estas estructuras para la producción y diseminación de esporas. La diversidad y morfología de los esporangioforos identificados en las muestras reflejan adaptaciones evolutivas a diferentes estrategias de supervivencia y colonización.

En el contexto de los resultados obtenidos, la abundancia de esporangioforos sugiere una elevada competencia entre microorganismos por

Gutiérrez-Hurtado. y cols.

recursos y nichos ecológicos. Esta competencia puede desempeñar un papel importante en la regulación de la diversidad microbiana en el suelo. Asimismo, la detección de esporangioforos también podría ser indicativa de condiciones aeróbicas favorables para el desarrollo de ciertos grupos fúngicos, como los zigomicetos.

El sistema agroforestal 3 alberga diferentes especies vegetales donde la materia orgánica interactúa con las trampas de microorganismos, entre las cuales tenemos; café, cacao, teca, forestal, árbol pan, yaca, achiote y falsa margarita, mango, motacú, ajo ajo, chima y lengua de vaca, también consideramos que este lote agrícola cuenta con 5 especies forestales, 2 especies forestales, 4 especies exóticas, 4 especies ornamentales, 5 cultivos perennes y 2 cultivos de cobertura. Con un total de 17 especies vegetales dentro del lote agrícola.

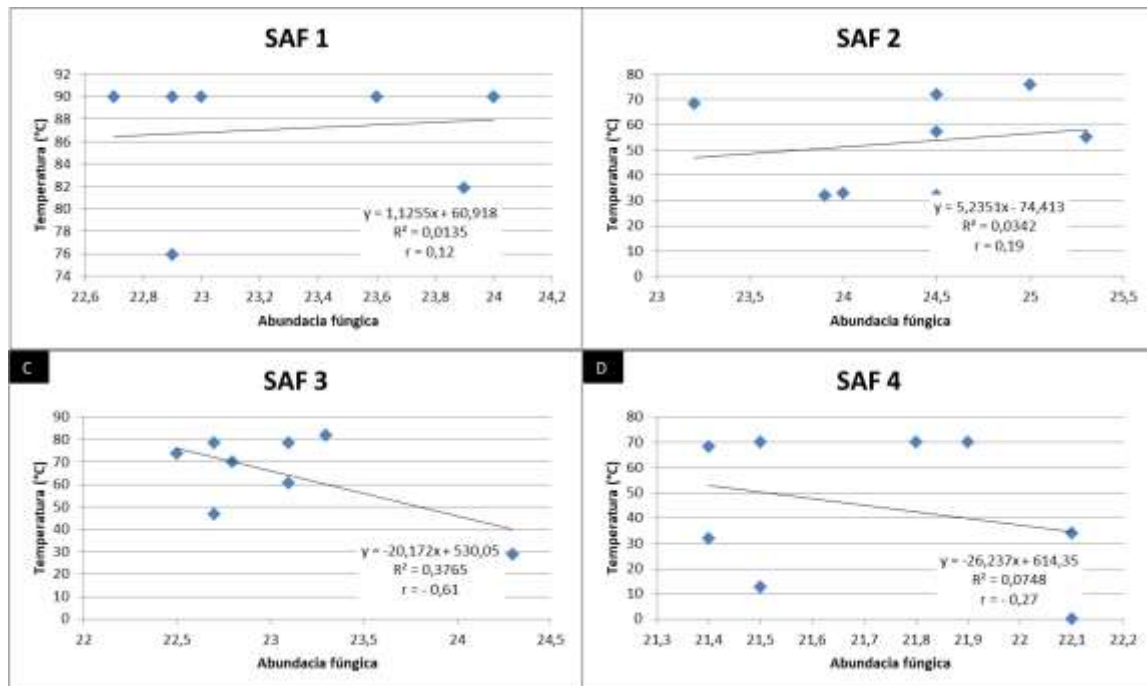
El sistema agroforestal 4 alberga diferentes especies vegetales, donde la materia orgánica también interaccionan con las trampas de microorganismos, entre las cuales tenemos; Cacao, achiote, cítrico, rambután, copoazú, banano, toco colorado y achiote, santa luisa y toco blanco, también consideramos que este lote agrícola cuenta con 2 especies forestales, 1 especies forestales, 1 especies exóticas, 3 especies ornamentales, 3 cultivos perennes y 2 cultivos de cobertura. Con un total de 12 especies vegetales dentro del lote agrícola.

La coexistencia de ascosporas, oosporas y esporangioforos en las muestras (Cuadro 3) indica un ecosistema diverso y complejo, donde microorganismos fúngicos y protistas interactúan

en un balance dinámico. Estas interacciones pueden incluir competencia, sinergia en procesos de descomposición y regulación de patógenos. Además, la diversidad microbiana observada está probablemente influenciada por factores como el pH, la textura del suelo, la humedad y la disponibilidad de nutrientes.

Los resultados de este estudio subrayan la importancia de los microorganismos en el mantenimiento de la salud del suelo y en la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y naturales. La identificación y caracterización de estas estructuras también proporciona información valiosa para el manejo del suelo, incluyendo la promoción de microorganismos beneficiosos y la mitigación de potenciales patógenos.

**Figura 5.**  
*Parámetros climáticos*



Respecto al Cuadro 2, inciso A, la relación entre la temperatura y la abundancia fúngica es positiva pero muy débil, ya que el valor de R<sup>2</sup> (1.35%) indica que la temperatura explica apenas una fracción mínima de la variación en la abundancia fúngica. Esto implica que otros factores no evaluados podrían ser los principales determinantes de la abundancia fúngica en este sitio. El inciso B, la relación es positiva pero débil. El valor de R<sup>2</sup> (3.42%) indica que la temperatura tiene una influencia ligeramente mayor que en SAF 1, pero sigue siendo marginal. Esto podría deberse a la heterogeneidad del ecosistema o la interacción con otros factores ambientales.

El inciso C revela la existencia de una correlación negativa moderada a fuerte entre la temperatura y la abundancia fúngica. El valor de R<sup>2</sup> (37.65%) indica que la temperatura explica una parte considerable de la variación en la

abundancia fúngica. A medida que la temperatura disminuye, se observa un aumento en la abundancia fúngica, lo que sugiere que este sitio podría favorecer el desarrollo de hongos en condiciones más frescas. Aunque la relación es negativa en inciso D, la correlación es débil y el valor de R<sup>2</sup> (7.48%) indica que la temperatura tiene una influencia limitada en la abundancia fúngica. Esto sugiere que otros factores podrían ser más determinantes en este sitio.

En SAF 1 y SAF 2, los valores de R<sup>2</sup> bajos muestran que la temperatura tiene un impacto casi despreciable en la abundancia fúngica. Esto podría deberse a la influencia de factores adicionales como la humedad, la disponibilidad de nutrientes o la composición del suelo. En SAF 3, la relación negativa moderada indica que los hongos en este sitio prefieren condiciones de menor temperatura, lo que podría estar

Gutierrez-Hurtado. y cols.

relacionado con especies específicas adaptadas a climas más frescos o con una mayor actividad metabólica en dichas condiciones. En SAF 4, aunque la relación es negativa, el efecto de la temperatura sobre la abundancia fúngica no es significativo, lo que nuevamente señala la necesidad de evaluar otros factores ambientales o biológicos.

La abundancia fúngica, al depender de la temperatura, refleja patrones que varían considerablemente entre los sitios. Este estudio resalta que en algunos sitios, como SAF 3, la temperatura desempeña un papel relevante, mientras que en otros, como SAF 1 y SAF 2, su influencia es casi despreciable. En SAF 3, el patrón inverso entre la temperatura y la abundancia fúngica podría estar relacionado con la prevalencia de especies adaptadas a temperaturas bajas, lo que podría indicar un ecosistema con menor actividad microbiana a temperaturas elevadas. En los sitios donde la correlación es baja (SAF 1, SAF 2 y SAF 4), es posible que la abundancia fúngica esté más influenciada por la disponibilidad de materia orgánica, la humedad del suelo o las interacciones con otras especies microbianas.

Este comportamiento diferenciado sugiere que los hongos presentes en cada sitio responden de manera distinta a los cambios climáticos locales. Esto tiene implicaciones importantes para comprender su papel en los ciclos de nutrientes y en la resiliencia del ecosistema frente a cambios de temperatura.

En el Cuadro 3 se puede observar los datos tomados al momento de extraer las trampas del

suelo y los datos tomados de los hongos en el laboratorio.

**Tabla 1.** *Parámetros cualitativos biológicos de las colonias de hongos encontrados*

| PARÁMETROS BIOLÓGICOS DE LA MUESTRA |    |   |       |                     |                |                  |                     |  |
|-------------------------------------|----|---|-------|---------------------|----------------|------------------|---------------------|--|
|                                     | N° | Color y porcentaje de colonización en trampas |       | Forma de la colonia | Forma espora   | Forma de la hifa | Actividad biológica | Especies vegetales                             |
| SAF 1                               | M1 | blanco  | 98,58 | Irregular           | Ascosporas     | Septada          | SI                  | Cacao, banano, toco colorado y motacú          |
|                                     | M2 | blanco  | 100   | Irregular           | Ascosporas     | Septada          | SI                  | Cacao, toco colorado y chirimoya de monte      |
|                                     | M3 | blanco  | 75,42 | Irregular           | Oospora        | Aseptada         | SI                  | Cacao, pacay y motacú                          |
|                                     | M4 | blanco  | 100   | Irregular           | Oospora        | Aseptada         | SI                  | Cacao, cítrico, achiote, toco colorado y roble |
|                                     | M5 | blanco  | 100   | Irregular           | Oospora        | Aseptada         | SI                  | Cacao, toco blanco y verdolago amarillo        |
|                                     | M6 | blanco  | 79,34 | Irregular           | -              | -                | SI                  | Cacao, café, palta, quina quina, chirimoya     |
|                                     | M7 | blanco  | 100   | Irregular           | Ascosporas     | Septada          | SI                  | Cacao, toco blanco y forestal 2                |
|                                     | M8 | gris  | 36,02 | Irregular           | Esporangioforo | Aseptada         | SI                  | Cacao, copoazú, achiote, palta y toco blanco   |
| SAF 2                               | M1 | verde   | 9,09  | Irregular           | Esporangioforo | Aseptada         | SI                  | Café, santa Luisa y margarita                  |
|                                     | M2 | verde   | 4,56  | Irregular           | Ascosporas     | Septada          | SI                  | Café, banano y margarita                       |
|                                     | M3 | blanco  | 39,2  | Irregular           | -              | Septada          | SI                  | Margarita, pacay y teca                        |
|                                     | M4 | verde   | 9,49  | Irregular           | Esporangioforo | Aseptada         | SI                  | Café, banano y margarita                       |
|                                     | M5 | blanco  | 47,31 | Irregular           | Ascosporas     | Septada          | SI                  | Margarita, pacay y lengua de vaca              |
|                                     | M6 | verde   | 7,1   | Irregular           | Esporangioforo | Aseptada         | SI                  | Café, lengua de vaca                           |
|                                     | M7 | blanco  | 27,04 | Irregular           | Esporangioforo | Aseptada         | SI                  | Achiote, falsa margarita y lengua de vaca      |
|                                     | M8 | blanco  | 100   | Irregular           | Oospora        | Aseptada         | SI                  | Café, lengua de vaca y falsa margarita         |

|       |    |          |       |           |                |          |    |  |
|-------|----|----------|-------|-----------|----------------|----------|----|--|
| SAF 3 | M1 | verde    | 24,09 | Irregular | Esporangioforo | Aseptada | SI | Café, cacao y teca                                 |
|       | M2 | blanco   | 94,7  | Irregular | -              | Aseptada | SI | Café, cacao y forestal 3                           |
|       | M3 | gris     | 45,06 | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Cacao, árbol pan, yaca, achiote y falsa margarita  |
|       | M4 | blanco   | 44,2  | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Café, cacao y mango                                |
|       | M5 | verde    | 5,65  | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Cacao, mango y motacú                              |
|       | M6 | amarillo | 16,14 | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Cacao, ajo ajo, y forestal 4                       |
|       | M7 | blanco   | 89,08 | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Cacao y chima                                      |
|       | M8 | gris     | 52,31 | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Cacao y lengua de vaca                             |
| SAF 4 | M1 | blanco   | 4,03  | Regular   | Esporangioforo | Aseptada | SI | Cacao, achiote y cítrico                           |
|       | M2 | blanco   | 96,8  | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Rambután, copoazú, banano, toco colorado y achiote |
|       | M3 | verde    | 2,78  | Irregular | Esporangioforo | Aseptada | SI | Cítrico, banano, achiote y santa luisa             |
|       | M4 | verde    | 8,13  | Irregular | Esporangioforo | Aseptada | SI | Banano, cítrico y achiote                          |
|       | M5 | verde    | 4,78  | Irregular | Esporangioforo | Aseptada | SI | Banano, cacao y achiote                            |
|       | M6 | blanco   | 67,7  | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Copoazú, achiote, cítrico y toco blanco            |
|       | M7 | verde    | 1,4   | Irregular | Ascosporas     | Septada  | SI | Achiote y toco blanco                              |
|       | M8 | verde    | 8,34  | Irregular | Esporangioforo | Aseptada | SI | Cacao y santa lucia                                |

La Tabla 1, muestra las grandes diferencias en la diversidad y abundancia de hongos entre los sistemas agroforestales (SAF) estudiados. SAF 1 mostró la mayor diversidad de hongos, probablemente debido a su diversa composición de vegetación rica en especies perennes y cultivos de cobertura. Por otro lado, SAF 4 tuvo baja diversidad fúngica, lo que probablemente refleja el predominio de cultivos perennes y el bajo número de especies de plantas presentes. Estas diferencias resaltan que la composición de las plantas y las prácticas agrícolas tienen un impacto significativo en la estructura de la comunidad de hongos. Estos resultados no solo profundizan nuestra comprensión de las interacciones biológicas en ambientes agroforestales, sino que también fomentan prácticas de manejo que aumentan la diversidad de plantas para mantener y mejorar la salud del suelo y la producción agrícola.

## DISCUSIÓN

La presente investigación ha explorado la diversidad y actividad de los hongos en cuatro sistemas agroforestales (SAFs) distintos, evaluando su relación con la diversidad de especies vegetales presentes. Los resultados revelan patrones significativos que permiten entender mejor las interacciones entre plantas, suelo y hongos en contextos agroforestales (Brito-vega, 2013)

Se observó una correlación clara entre la diversidad de especies vegetales y la diversidad de hongos. SAFs con una mayor cantidad de

especies vegetales, como SAF 1 y SAF 3, mostraron una mayor diversidad fúngica, evidenciada por la presencia de múltiples formas de esporas y colonias. Esto sugiere que la disponibilidad de diferentes sustratos vegetales enriquece espacios ecológicos para diversos tipos de hongos (Basave, 2021).

La presencia de una diversidad vegetal significativa no solo promueve la diversidad fúngica, sino que también puede mejorar la salud del suelo. Los hongos desempeñan funciones clave en la descomposición de materia orgánica y ciclos de nutrientes, procesos esenciales para la fertilidad del suelo y la productividad agrícola a largo plazo (Vehadi, 2019).

Estos hallazgos subrayan la importancia de conservar y promover la biodiversidad en sistemas agroforestales como estrategia para mantener servicios ecosistémicos críticos. Se recomienda implementar prácticas agrícolas que fomenten la diversidad vegetal y la salud del suelo, como la rotación de cultivos y el manejo integrado de plagas, para mantener la resiliencia y sostenibilidad de estos sistemas.

## CONCLUSIONES

Mucho se conoce acerca de los parámetros físicos y químicos que presentan los suelos agrícolas. En realidad, la agricultura convencional se basa principalmente en cubrir las deficiencias respecto a estos parámetros, lo cual excluye las propiedades biológicas. Este trabajo de investigación considera a los parámetros biológicos como uno de los más importantes en

Gutierrez-Hurtado, y cols.

la gestión agronómica. Está claro que el estado de las comunidades fúngicas se refleja en la disposición y diversidad vegetal que se ve en los lotes de producción. Por lo tanto, fomentar prácticas de manejo que aumentan la diversidad de plantas lograra mantener y mejorar la salud del suelo a mediano y largo plazo. La diversidad fúngica encontrada en cada SAF refleja la complejidad de las interacciones bióticas y abióticas que sustentan la salud y productividad de estos sistemas.

Este estudio ha proporcionado una visión detallada de la dinámica de los hongos en SAF con diferentes composiciones vegetales y condiciones edáficas. Se destaca la importancia de considerar la biodiversidad como un activo fundamental en la gestión agrícola sostenible, no solo para la conservación ambiental, sino también para garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar humano a largo plazo. En fin, se considera que esta investigación establecerá las bases para futuras investigaciones que podrían profundizar en los mecanismos específicos que regulan las interacciones planta-hongo-suelo en sistemas agroforestales, así como explorar los impactos del cambio climático y otras presiones ambientales en estas comunidades biológicas clave.

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

- Arrigo, N. M., Jiménez, M. de la P., Palma, R. M., Benito, M., y Tortarolo, M. F. (2005). Residuos de poda compostados y sin compostar: uso potencial como enmienda orgánica en suelo. *Ciencia del Suelo*, 23(1), 87-92. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttextypid=S1850-20672005000100010yIng=esytlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttextypid=S1850-20672005000100010yIng=esytlng=es)
- Araya, Y. N., Emmott, A., Rawes, W., y Zuza, E. J. (2023). *Journal of African Research (JAfr)*. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100846>
- Basave Villalobos, E., Cetina Alcalá, V. M., López López, M. Á., Ramírez Herrera, C., Trejo, C., y Conde Martínez, V. (2021). La poda aérea como práctica cultural en vivero para *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63), 799. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.799>
- Brito-Vega, H., Espinoza-Victoria, D., Salaya-Dominguez, J. M., y Gómez-Méndez, E. (2013). The soil biota: Importance in agroforestry and agricultural systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3). <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1654>
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 14(2), 15-31. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttextypid=S0123-42262011000200003yIng=enytng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0123-42262011000200003yIng=enytng=es)
- Cuata Natte, M., y Manzaneda Delgado, F. (2018). Comportamiento agronómico del cultivo de okra (*Abelmoschus esculentus* L.) en la Estación Experimental Sapecho, Alto Beni. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 5(2), 35-42. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttextypid=S2409-16182018000200006yIng=esytlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttextypid=S2409-16182018000200006yIng=esytlng=es)
- Leite, C. D., y Meira, A. L. (2016). Preparo de microorganismos eficientes (EM). Fichas Agroecológicas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), n.31.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.  
La Paz Bolivia

Vahedi, R., y Rasouli Sadeghiani, M. H. (2019). Biodisponibilidad de algunos micronutrientes bajo la influencia del biocarbón y el compost de residuos de poda de árboles en presencia de micorrizas en la rizosfera del trigo. *Revista de Agricultura*, 10(9), 394. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090394>

Coyne, D. (2007). *Practical Nematology in Africa: Principles, Practice and Prospects*. International Institute of Tropical Agriculture. <https://biblio.iita.org/documents/U14BkCoynePracticalNothomDev.pdf-d663ec356760331c1acd9a16e3848f16.pdf>

Laguna, C. (2014). Correlación y regresión lineal. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud, 4, 1-18.