



**Somos calidad,
somos USC**

Aislamiento de hongos presentes en fertilizantes orgánicos y compost con capacidad de tolerancia a cadmio

Autores

**Durley Angélica Agudelo Castro
María Camila Mesa García**

**Título por el que opta
Microbióloga**

Director

**Julián Alonso Rojas Barreto, PhD
Carlos Andrés Martínez Garay, PhD**

**Grupo de Investigación
Grupo de investigación en Micología**

**Línea de Investigación
Microbiología Ambiental**

**Facultad de Ciencias Básicas
Microbiología
Universidad Santiago de Cali
Santiago de Cali - Colombia
2026**

IMPACTOS

Relacione el (los) impacto(s) que presentó el Trabajo de Grado

| IMPACTO | PRODUCTO | BENEFICIARIO(S) |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Económico | | |
| Responsabilidad social | | |
| Científico | | |
| Indicadores de Gestión | | |
| Tecnológico | | |
| Técnico | | |
| Ambiental | Bioprospección de suelos | Comunidad de agricultores |
| Social | | |
| Cultural | | |

AISLAMIENTO DE HONGOS PRESENTES EN FERTILIZANTES ORGÁNICOS Y COMPOST CON CAPACIDAD DE TOLERANCIA A CADMIO

Durley Angélica Agudelo Castro ¹, María Camila Mesa García ²

Información de los autores: Se deben incluir el nombre completo de cada autor, su título académico más alto, cargo, compañía o universidad, y correo electrónico del autor de correspondencia. Grupo de Investigación en Micología de la Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

RESUMEN

La contaminación por cadmio representa un riesgo significativo para los sistemas agrícolas y la seguridad alimentaria, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas biológicas para su mitigación. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la tolerancia y capacidad de acumulación de cadmio en morfotipos fúngicos aislados de fertilizantes orgánicos y compost. Se analizaron 52 aislamientos mediante exposición a concentraciones crecientes de cadmio (50–900 mg/L) en medio sólido, evaluando cualitativamente el crecimiento micelial. Los resultados evidenciaron una alta variabilidad en la respuesta al metal, identificándose un grupo reducido de cepas con crecimiento sostenido hasta 900 ppm. Posteriormente, la cepa con mayor tolerancia fue sometida a un ensayo en medio líquido suplementado con 700 mg/L de cadmio, obteniéndose 4 g de biomasa seca tras siete días de incubación. El análisis por espectrofotometría de absorción atómica determinó una acumulación de 157,10 mg Cd/g de muestra, lo que confirma una elevada capacidad de bioacumulación. Estos hallazgos demuestran que los fertilizantes orgánicos constituyen una fuente relevante de hongos con potencial para procesos de micorremediación y posicionan a la cepa seleccionada como candidata ideal para la remoción biológica de cadmio en suelos contaminados.

Palabras clave: Cadmio, hongos, micorremediación, bioprospección, fertilizantes.

ISOLATION OF FUNGI PRESENT ORGANIC FERTILIZERS AND COMPOST WITH CADMIUM TOLERANCE CAPACITY

ABSTRACT

Cadmium contamination poses a significant risk to agricultural systems and food security, which has prompted the search for biological alternatives for its mitigation. The present study aimed to evaluate the tolerance and accumulation capacity of cadmium in fungal morphotypes isolated from organic fertilizers and compost. Fifty-two isolates were analyzed by exposure to increasing concentrations of cadmium (50–900 mg/L) in solid medium, qualitatively evaluating mycelial growth. The results showed high variability in response to the metal, identifying a small group of strains with sustained growth up to 900 ppm. Subsequently, the strain with the highest tolerance was subjected to a test in liquid medium supplemented with 700 mg/L of cadmium, obtaining 4 g of dry biomass after seven days of incubation. Analysis by atomic absorption spectrophotometry determined an accumulation of 157.10 mg Cd/g of sample, confirming a high bioaccumulation capacity. These findings demonstrate that organic fertilizers are a relevant source of fungi with potential for mycoremediation processes and position the selected strain as an ideal candidate for the biological removal of cadmium from contaminated soils.

Keywords: Cadmium, fungi, mycoremediation, bioprospecting, fertilizers.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, la mayoría de los departamentos presentan algún grado de degradación del suelo [1], problemática estrechamente relacionada con el impacto antrópico sobre el medio ambiente. Factores como el uso excesivo de fertilizantes, la gestión inadecuada de residuos y el aprovechamiento ineficiente del agua contribuyen de manera significativa a esta situación [2]. La degradación del suelo no solo implica la pérdida de fertilidad y estructura, sino también en la exposición a contaminantes, entre ellos los metales pesados [3], los cuales representan un riesgo directo en la calidad de los cultivos destinados al consumo humano. Si bien algunos metales, como el zinc, magnesio y el cobre resultan indispensables para el crecimiento de las plantas [4], metales como el cadmio (Cd) carece de función biológica y se clasifica como un contaminante altamente tóxico. Su acumulación en el suelo y en los organismos interfiere en los procesos fisiológicos de las plantas y en los seres humanos, se asocia a daños renales, alteraciones endocrinas, hipertensión e incluso cáncer [5].

La acumulación de cadmio en los tejidos vegetales está condicionada por las propiedades químicas y físicas del suelo, así como por la proporción y periodicidad en la aplicación de fertilizantes [6]. Esta complejidad dificulta su regulación y control en entornos agrícolas y ecosistemas naturales, y se ve limitada por la carencia de financiamiento e inversión en tecnología por lo que agrava la situación, limitando posibles soluciones sostenibles. Por lo tanto, resulta de gran interés la búsqueda de alternativas que permitan mitigar la acumulación de cadmio en suelos agrícolas. Existen diversas estrategias para abordar esta problemática a nivel físico, químico o biológico. Sin embargo, una de las más eficientes, económicas y con menor impacto ambiental es la biorremediación del suelo mediante hongos filamentosos, ya que estos organismos poseen una alta capacidad de absorción y acumulación de metales pesados, lo que los convierte en una herramienta sostenible frente a métodos convencionales más costosos y contaminantes [7].

Los hongos filamentosos poseen la capacidad de producir diversas enzimas, como lacasas, peroxidases, quitinasas y fosfatasas, además de generar ácidos orgánicos (como oxálico, cítrico y málico) y metabolitos secundarios con propiedades quelantes o reductoras. Estos compuestos favorecen la transformación, inmovilización, reducción o incluso la eliminación de metales pesados del entorno. Lo que los convierte en una herramienta prometedora para la descontaminación de suelos. [8] En particular, los fertilizantes orgánicos pueden ofrecer condiciones óptimas para la presencia de hongos con estas propiedades de interés, lo que hace necesario llevar a cabo un proceso de bioprospección. [9]

La bioprospección juega un papel crucial, ya que consiste en la exploración y evaluación de organismos con el fin de identificar aquellos con capacidades excepcionales para futuras aplicaciones en biorremediación. No obstante, su éxito depende de varios factores, como el tipo de contaminante, el pH del suelo, las condiciones ambientales y la interacción de los hongos seleccionados con el ecosistema local [10]. En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Los hongos presentes en fertilizantes orgánicos de origen comercial y de composteras caseras presentan capacidad de tolerancia al cadmio que permita su aislamiento y su potencial aplicación en procesos de bioprospección para una futura biorremediación? Por consiguiente, el objetivo de este proyecto es evaluar la capacidad de tolerancia a cadmio en hongos filamentosos y levaduras provenientes de fertilizantes orgánicos de origen comercial y de composteras caseras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestra y siembra

El estudio se llevó a cabo utilizando fertilizantes orgánicos: dos provenientes de tiendas de cadena comercial y dos de composteras caseras. Se tomó una muestra representativa de 1 kg de cada fertilizante, por duplicado. Posteriormente, se realizaron diluciones seriadas desde 10^{-1} hasta 10^{-5} con el fin de disminuir la carga microbiana y obtener colonias aisladas para su posterior caracterización.

Se sembraron por duplicado las diluciones 10^{-1} , 10^{-3} y 10^{-5} en agar PDA (infusión de papa 20% p/v, glucosa 2% p/v, agar 1,5% p/v) y se incubaron durante 7 días para el aislamiento de hongos filamentosos. Transcurrido este tiempo, se seleccionaron colonias representativas con base en las diferentes morfologías observadas. Estas colonias se aislaron para obtener cultivos axénicos.

Caracterización macroscópica y microscópica

Se seleccionaron colonias provenientes del aislamiento primario para su posterior caracterización macroscópica, en la que se evaluaron características típicas de las colinas tales como tamaño, color, forma, elevación, borde, aspecto y textura. De igual forma, se analizaron mediante microscopía con el fin de evaluar estructuras microscópicas del hongo.

Ensayo de microtolerancia a cadmio

Las colonias aisladas fueron sometidas a una concentración de cloruro de cadmio de 50 mg/L, con el fin de realizar una selección primaria. Esta concentración fue elegida por ser suficientemente alta para eliminar hongos no resistentes, pero no tan alta como para ser impráctica. Estudios previos respaldaron su uso como punto de partida en evaluaciones de microtolerancia, permitiendo identificar organismos capaces de sobrevivir y prosperar bajo condiciones de estrés por cadmio.

Se contó con un grupo control no expuesto a cadmio, con el propósito de evaluar el crecimiento de las colonias seleccionadas y establecer si la ausencia de crecimiento se debía efectivamente a la exposición al cadmio y no a factores externos.

Tolerancia a cadmio evaluada en hongos filamentosos

Se continuó el estudio con los morfotipos de hongos filamentosos que evidenciaron crecimiento a 50 mg/L. Para evaluar su capacidad de crecimiento en presencia de cadmio, se sembraron por punción los morfotipos que mostraron resistencia en agar PDA suplementado con cloruro de cadmio en concentraciones de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 y 900 mg/L.

Las placas se incubaron durante 7 días a 20–25 °C, y al finalizar el periodo de incubación, se observó para evaluar el efecto del cadmio sobre el crecimiento del moho.

Evaluación de la bioacumulación de cadmio en biomasa microbiana

Para este ensayo, se seleccionó la cepa que presentó mayor tolerancia al cadmio. Esta fue inoculada en agua peptona suplementada con 700 mg/L de cadmio, donde demostró tener una tolerancia y evidenciar un crecimiento uniforme y extendido. Luego, se incubó a 25 °C con agitación a 160 rpm durante 7 días.

Transcurrido este tiempo, el cultivo fue centrifugado, las células fueron secadas a 80 °C y posteriormente pesadas. Las células se disolvieron en ácido nítrico al 67% (HNO₃) y se determinó la concentración de cadmio mediante un espectrofotómetro de absorción atómica.


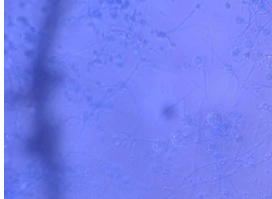
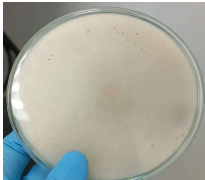
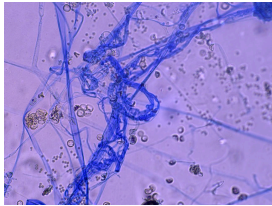
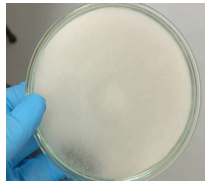
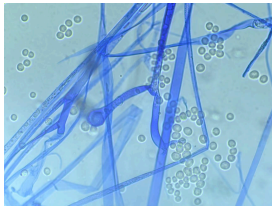
3. RESULTADOS

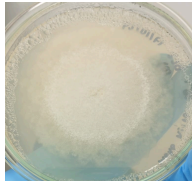
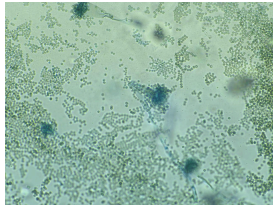
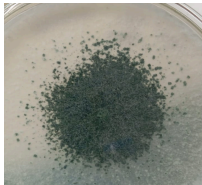
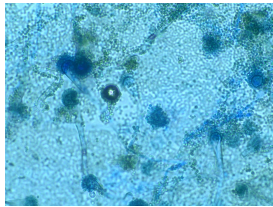
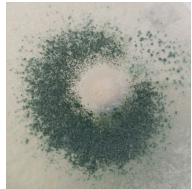
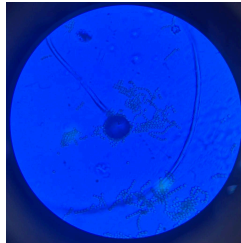

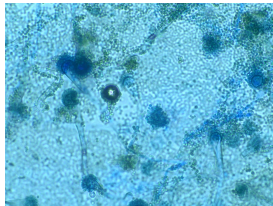
Se analizaron un total de 8 lotes de muestras, conformados por 4 fertilizantes caseros y 4 compost. Con el fin de facilitar su identificación en los resultados, los morfotipos aislados de fertilizantes orgánicos se codificaron como F.F. 174, F.F. 176, A.L.1 y A.L.2, mientras que los correspondientes a los compost se codificaron como F.B.A, F.B.B, B.L.1 y B.L.2. Para la selección y aislamiento de morfotipos, se tuvo en cuenta el recuento en placa de las diluciones 10⁻¹, 10⁻³ y 10⁻⁵, lo que permitió obtener 52 aislados de hongos filamentosos.

Tabla 1. Recuento en placa de microorganismos aislados a partir de fertilizantes orgánicos y compost.

| CÓDIGO | CONCENTRACIÓN (UFC)/mL |
|---------|------------------------|
| F.F.174 | $9,5 \times 10^2$ |
| F.F.176 | $2,4 \times 10^3$ |
| A.L.1 | 2×10^3 |
| A.L.2 | $1,55 \times 10^3$ |
| F.B.A | $5,3 \times 10^3$ |
| F.B.B | $2,9 \times 10^3$ |
| B.L.1 | $3,35 \times 10^3$ |
| B.L.2 | $1,95 \times 10^3$ |

Los 52 aislados obtenidos del recuento en placa, se caracterizaron de forma macroscópica, teniendo en cuenta diferentes características propias del aislado y de forma microscópica, señalando estructuras presentes en la microscopía. A continuación se presenta la caracterización de los 7 morfotipos más resistentes a cadmio en el presente estudio.

| CÓDIGO | CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA | CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA |
|---------|--|--|
| A.L.2.A |  <p>Colonia de forma circular, color blanca, de textura algodonosa a densa con micelio compacto. Superficie lisa y de borde regular.</p> |  <p>Se observan hifas hialinas septadas con ramificación irregular.</p> |
| A.L.2.E |  <p>Colonia de forma circular, con crecimiento radial uniforme, color blanca, de textura algodonosa con micelio denso y compacto.</p> |  <p>Hifas hialinas septadas con ramificación irregular, además, se encuentran estructuras circulares compatibles con conidios o esporas.</p> |
| A.L.2.F |  <p>Colonia de forma circular, con crecimiento radial uniforme, color</p> |  <p>Hifas hialinas con ramificación irregular, además, se encuentran estructuras circulares compatibles</p> |

| | | |
|----------------|--|--|
| | blanca, de textura algodonosa con micelio denso y compacto. | con conidios o esporas. |
| B.L.2.B |  <p>Colonia de forma circular algodonosa de micelio denso, color blanca de borde irregular.</p> |  <p>Hifas hialinas, estructuras como conidios agrupados y conidióforos.</p> |
| B.L.2.E |  <p>Colonia de forma circular irregular, de color verde oscuro con textura pulvurulenta.</p> |  <p>Hifas hialinas septadas, estructuras como conidióforo y vesícula con conidios alrededor.</p> |
| B.L.2.F |  <p>Colonia de forma circular irregular, de color verde oscuro con textura pulvurulenta.</p> |  <p>Hifas hialinas septadas, estructuras como conidióforo y vesícula con conidios alrededor.</p> |
| B.L.2.G |  <p>Colonia de forma circular irregular, de color verde oscuro con textura pulvurulenta.</p> |  <p>Hifas hialinas septadas, estructuras como conidióforo y vesícula con conidios alrededor.</p> |

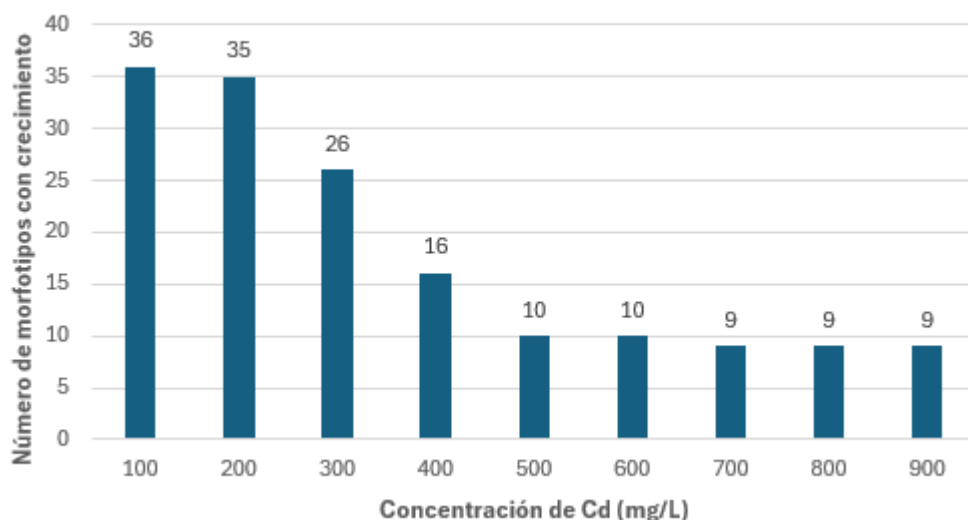
Los 52 morfotipos se analizaron a diferentes concentraciones de cadmio y una vez pasado el período de incubación, se evaluó de forma cualitativa el crecimiento micelial de cada uno. Para esto, se desarrolló una escala de medición que consta de 5 variables:

- **Sin crecimiento (x):** No se evidencia crecimiento en la superficie del medio.
- **Crecimiento escaso (✓):** Presencia de colonias diminutas, muy pocos filamentos.
- **Crecimiento moderado (✓✓):** Crecimiento visible pero sin cubrir gran parte del medio.
- **Crecimiento abundante (✓✓✓):** Colonias grandes, expansión evidente del micelio que cubre más de la mitad del medio.
- **Crecimiento óptimo (✓✓✓✓):** Micelio denso, que cubre casi toda la superficie del medio.

| | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|----|----|-----|
| B.L.1-B | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | X | X | X | X | X | X |
| B.L.1-C | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | X | X | X | X | X | X |
| B.L.1-D | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | X | X | X | X |
| B.L.1-E | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | X | X | X | X | X | X |
| B.L.1-F | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| B.L.1-G | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| B.L.1-H | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | X | X | X |
| B.L.1-I | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | X | X | X | X |
| B.L.1-J | ✓✓✓✓ | ✓✓✓✓ | ✓✓✓✓ | ✓✓✓✓ | ✓✓✓✓ | ✓✓✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓✓ |
| B.L.2-A | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| B.L.2-B | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| B.L.2-C | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| B.L.2-D | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| B.L.2-E | ✓✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| B.L.2-F | ✓✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| B.L.2-G | ✓✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓✓ | X | X | X |

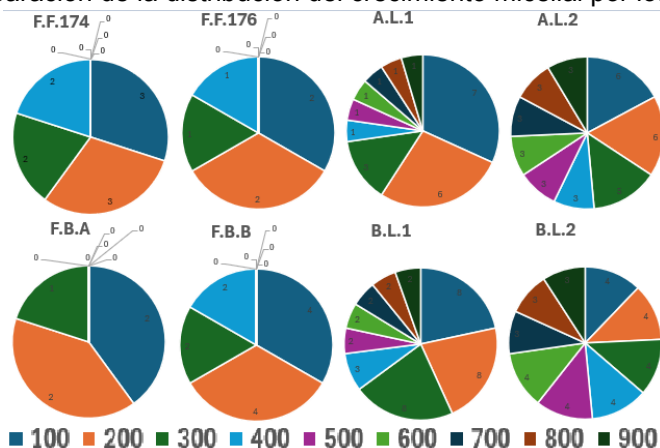
La información tabulada con respecto a la variación del crecimiento morfofítico en función de la concentración de cadmio, se graficó de forma que permita agrupar la tendencia de desarrollo fúngico en medida en que la concentración de Cd aumenta.

Imagen 2. Morfofíticos sobrevivientes a diferentes concentraciones de cadmio.



Así mismo, se realizó una comparación mediante gráfico de pastel, para evaluar la variación de crecimiento microbiano presente en las 8 muestras de fertilizantes analizadas.

Imagen 2. Comparación de la distribución del crecimiento micelial por lote de fertilizantes.



Para la determinación de la concentración de cadmio, se empleó el morfotipo AL2F, el cual fue inoculado en agua peptona suplementada con 700 mg/L de cadmio. El cultivo se incubó durante siete días bajo condiciones controladas. Transcurrido este periodo, la biomasa obtenida fue recolectada, secada hasta peso constante y posteriormente pesada, registrándose un total de 4 g de biomasa seca.

La cuantificación del cadmio acumulado en la muestra se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica. El análisis reveló una concentración de 157,10 mg de Cd / g de muestra seca.

4. DISCUSIÓN

La evaluación del crecimiento micelial de 52 morfotipos aislados a partir de fertilizantes orgánicos y compost evidenció una marcada variabilidad en la tolerancia al cadmio, lo que confirma la hipótesis planteada sobre la presencia de hongos con potencial adaptativo frente a este metal pesado en fuentes orgánicas.

A partir del ensayo de crecimiento en concentraciones de cadmio entre 100 y 900 mg/L, se observó que 36 morfotipos presentaron crecimiento en 100 mg/L, 35 a 200 mg/L y 26 a 300 mg/L, mientras que el número de aislados disminuyó progresivamente a 16, 10, 10, 9, 9, y 9 a concentraciones de 400, 500, 600, 700, 800 y 900 mg/L respectivamente. Estos resultados demuestran un efecto inhibitorio ampliamente reportado en microorganismos expuestos a concentraciones elevadas de metales pesados.

Resultados similares han sido reportados en investigaciones que evalúan la tolerancia de hongos a metales pesados en matrices ambientales. Se ha descrito que el cadmio puede encontrarse de forma natural en suelos en concentraciones aproximadas entre 0,1 a 0,7 mg/kg o concentraciones mayores, generalmente asociado a minerales y a residuos de metales como cobre, plomo y zinc [11] y en investigaciones se ha demostrado que los hongos filamentosos poseen una notable capacidad de adaptación a ambientes contaminados con cadmio. Por ejemplo, se ha reportado que especies como *Paecilomyces lilacinus*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizopus microsporus* y *Cunninghamella* sp. pueden crecer en presencia de concentraciones elevadas del metal, presentando valores de concentración inhibitoria de 311 mg/L, 223 mg/L, 29,25 mg/L y 25,18 mg/L, respectivamente, lo que evidencia diferentes niveles de tolerancia entre especies fúngicas [12]. De forma similar, otros estudios han demostrado que la exposición a concentraciones crecientes de cadmio genera respuestas biológicas dependientes de la dosis, lo que puede provocar reducción en el crecimiento o mortalidad en organismos expuestos a concentraciones elevadas del metal [13]. En conjunto, estos antecedentes respaldan los resultados obtenidos en el presente estudio, donde los morfotipos aislados a partir de compost y fertilizantes orgánicos mostraron diferentes niveles de tolerancia al cadmio.

Además de que algunas investigaciones han descubierto que el crecimiento de hongos filamentosos puede verse significativamente afectado a concentraciones superiores de 200 a 300 mg/L de cadmio, debido generalmente a la generación de estrés oxidativo, alteraciones en la actividad enzimática y daño en las membranas celulares [14]. El cadmio puede interferir con múltiples procesos metabólicos al desplazar cationes

esenciales como el calcio, zinc y magnesio, provocando desequilibrio fisiológico que limita el crecimiento celular normal [15]. Este comportamiento respalda la tendencia observada en el presente estudio, donde más del 50% de los aislamientos dejó de tener crecimiento a partir de 400 mg/L, lo que sugiere que muchos de los morfotipos aislados presentan bajos niveles de tolerancia al cadmio.

De igual forma, los resultados también evidenciaron la presencia de aislamiento altamente tolerantes. Concretamente, varios morfotipos pertenecientes a los lotes A.L.2 (3 morfotipos) y B.L.2 (4 morfotipos), mantuvieron crecimiento hasta la mayor concentración evaluada, lo que representa aproximadamente un 13% de morfotipos analizados. La capacidad de crecimiento en concentraciones tan elevadas sugiere presencia de mecanismos fisiológicos y bioquímicos especializados de tolerancia al cadmio. Entre estos mecanismos se incluyen la biosorción en la pared celular, proceso mediado por grupos funcionales como carboxilos, fosfatos y grupos hidroxilo presentes en polisacáridos y proteínas de la pared celular fúngica. Así mismo, mecanismos como la quelación intracelular mediante moléculas ricas en azufre y el secuestro vacuolar del metal, que permiten reducir su interacción con estructuras celulares sensibles [16].

La biosorción es uno de los mecanismos más importantes mediante los cuales los hongos pueden retener metales pesados. Este proceso ocurre principalmente en la superficie celular y depende de la presencia de compuestos estructurales de la pared celular, tales como quitina, glucanos y proteínas, que poseen grupos funcionales capaces de unirse a iones metálicos [17]. Estudios realizados con especies de *Aspergillus sp* y *Penicillium sp* [18], han demostrado que estos hongos presentan una elevada capacidad de adsorción de cadmio, lo que les permite sobrevivir en ambientes contaminados y contribuir a la inmovilización del metal en sistemas naturales [19].

Además de la biosorción superficial, algunos hongos poseen mecanismos de bioacumulación intracelular, mediante los cuales los metales pesados pueden ser transportados hacia el interior de la célula y posteriormente almacenados en vacuolas o unidos a moléculas quelantes como el glutatión. Este proceso reduce la toxicidad del metal en el citoplasma y permite que el organismo mantenga su actividad metabólica en presencia de concentraciones elevadas de contaminantes [15]. De igual forma, se ha descrito que los hongos expuestos a cadmio pueden inducir la producción de enzimas antioxidantes, como catalasas que ayudan a contrarrestar el daño causado por especies reactivas de oxígeno generadas durante el estrés por metales pesados [14].

En relación con la distribución de los morfotipos tolerantes, los resultados obtenidos mediante el análisis comparativo de los ocho lotes de fertilizantes evidenciaron diferencias en la proporción de aislados capaces de crecer a concentraciones elevadas de cadmio. Los gráficos de distribución muestran que ciertos lotes, específicamente A.L.2 y B.L.2, concentraron mayor proporción de morfotipos capaces de crecer en múltiples concentraciones de cadmio, lo que sugiere una mayor diversidad de hongos tolerantes en las muestras analizadas. Este patrón podría estar asociado a la heterogeneidad microbiológica propia de los fertilizantes orgánicos y compost, los cuales constituyen ambientes ricos en materia orgánica y con alta diversidad microbiana, condiciones que favorecen la presencia de microorganismos con diferentes capacidades metabólicas.

El morfotipo utilizado para el ensayo de bioacumulación (A.L.2.F) mostró una acumulación de 157 mg de Cd/g de biomasa seca valor determinado mediante espectrofotometría de absorción atómica. Este resultado se encuentra dentro del rango reportado para hongos filamentosos con capacidad de bioadsorción y bioacumulación de metales pesados. Investigaciones previas han reportado valores de acumulación similares en especies como *Aspergillus niger* y *Rhizopus arrhizus*, con rangos que pueden variar entre 50 y 200 mg de Cd por gramo de biomasa seca, dependiendo de las condiciones experimentales y del tiempo de exposición al metal [20].

Es importante señalar que, aunque el cultivo líquido fue suplementado con 700 mg/L de Cd y se obtuvo una biomasa seca de 4 g, el diseño experimental utilizado no permite estimar con precisión la eficiencia total de remoción del metal en el sistema, ya que no se cuantificó la concentración residual de cadmio en el medio después del proceso de incubación. Por lo tanto, el valor de 157,10 mg Cd/g debe interpretarse como una medida de capacidad de acumulación en biomasa fúngica, más que como un indicador directo de eficiencia de remoción. No obstante, el estudio presenta algunas limitaciones. La evaluación de tolerancia fue cualitativa y basada en observación macroscópica del crecimiento micelial, lo cual puede introducir cierto grado de

subjetividad. Asimismo, no se realizó identificación molecular de las cepas altamente tolerantes, lo que limita la comparación directa con especies previamente reportadas en la literatura. Futuros estudios deberían incluir caracterización molecular, análisis cinéticos de remoción y evaluación en condiciones de suelo para validar su potencial aplicado.

La capacidad de acumulación observada refuerza el potencial de los hongos filamentosos como herramientas biotecnológicas para la mitigación de metales pesados en sistemas agrícolas. En suelos destinados a cultivos de importancia económica, como cacao, arroz, maíz y café, la presencia de cadmio representa un problema creciente debido a su transferencia hacia los tejidos vegetales y su eventual incorporación a la cadena alimentaria. En este contexto, la aplicación de microorganismos con capacidad de inmovilizar o acumular cadmio podría contribuir a reducir su biodisponibilidad en el suelo, constituyendo una alternativa complementaria a las estrategias físicas y químicas de remediación, las cuales suelen ser más costosas y ambientalmente invasivas [21].

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que los fertilizantes orgánicos y el compost constituyen reservorios de hongos con diferentes niveles de tolerancia al cadmio, y que algunos morfotipos presentan una capacidad significativa de acumulación del metal. Estos hallazgos resaltan el potencial de la bioprospección microbiana como estrategia para identificar cepas con aplicaciones en procesos de micorremediación orientados a la descontaminación de suelos agrícolas afectados por metales pesados.

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que los fertilizantes orgánicos y el compost constituyen una fuente relevante de hongos con distintos niveles de tolerancia al cadmio, evidenciándose la existencia de aislamientos capaces de crecer en concentraciones de hasta 900 mg/L. La cuantificación mediante espectrofotometría de absorción atómica confirmó una capacidad de acumulación de 157,10 mg Cd/g de muestra, lo que indica mecanismos efectivos de captación y retención del metal. En conjunto, estos hallazgos respaldan el potencial biotecnológico de la cepa seleccionada como herramienta viable para estrategias de micorremediación y resaltan la importancia de la bioprospección en fuentes orgánicas como alternativa sostenible frente a la contaminación por cadmio en entornos agrícolas.

6. AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Santiago de Cali por brindarnos la oportunidad de formarnos académicamente, así como por facilitarnos los espacios, recursos y acompañamiento necesarios para llevar a cabo el presente trabajo. De igual forma, agradecemos de manera especial a nuestros tutores Julian Alonso Rojas Barreto y Carlos Andres Martinez Garay, por brindarnos su conocimiento y guía en cada etapa de este proceso investigativo. Finalmente, agradecemos nuestra gratitud a quienes de una forma u otra contribuyeron con su apoyo brindándonos ánimo y confianza para alcanzar esta meta.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Camilo Pineda Herrera, J. Arturo Pineda Jaimes, y S. Catherlyne Larrañaga-Rubio, «Capítulo 2.5», doi: 10.61728/AE24004329.
- [2] Velázquez-Chávez, Leticia de Jesús, Ortiz-Sánchez, Ixchel Abby, Chávez-Simental, Jorge Armando, Pámanes-Carrasco, Gerardo Antonio, Carrillo-Parra, Artemio, & Pereda-Solís, Martín Emilio. (2022). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 25, e482. Epub 23 de junio de 2023. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.48>

- [3] Y. Hernández-Baranda, P. Rodríguez-Hernández, M. Peña-Icart, Y. Meriño-Hernández, y O. C. Rubio, «Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate», *Cultivos Tropicales*, vol. 40, n.o 3, p. e10, dic. 2019, Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ediciones.inca.edu.co/index.php/ediciones/article/view/1524>
- [4] L. de J. Velázquez-Chávez et al., «Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional», *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, vol. 25, sep. 2022, doi: 10.22201/FESZ.23958723E.2022.482.
- [5] D. A. Rodríguez Carvajal, D. M. Buitrago Gutierrez, 1234639330, y 1111337149, «Evaluación de los microelementos Zinc, Cobre, Magnesio y Manganeso, como enraizante en el cultivo de arroz (*Oryza Sativa* L). Variedades Fedearroz 67, Fedearroz 68 y Oryzica 1 en el municipio de Piedras – Tolima.», oct. 2019, Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/27960>
- [6] J. P. Dueñas-Rivadeneira y F. G. Intriago Flor, «Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración», *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, vol. 27, n.o 1, pp. 26-35, ene. 2022, doi: 10.33936/LA_TECNICA.V0127.3674.
- [7] R. Morejón-Lucio y M. Morejón-Centeno, «Técnicas para mitigar y reducir el cadmio en *Theobroma cacao* L.: Una revisión», *Agroindustrial Science*, vol. 14, n.o 3, pp. 271-280, nov. 2024, doi: 10.17268/agroind.sci.2024.03.10.
- [8] Ruiz Sabogal, O. L. Producción de celulosas fúngicas a partir de procesos de fermentación utilizando residuos agroindustriales. .
- [9] Clavijo, A. P., Zuluaga, A. P., & Soto Suárez, M. (2023). Uso de abonos orgánicos para la fertilización y el control de enfermedades con base en la experiencia de Agrosavia.
- [10] C. Patricia, C. Guerra, E. De Ciencias, A. Pecuarias, Y. Del, y M. Ambiente, «La bioprospección como alternativa para la disminución de la contaminación ambiental producida por agroquímicos: aproximación del estado actual en Colombia», nov. 2021, Accedido: 28 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/44442>
- [11] Mendoza-Escalona, B., Torres-Rodríguez, D., Marcó, L. M., Gómez, C., Estanga-Barrios, M., & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *Tecnológicas*, 24(51), 4-15
- [12] Aguilar, C., Houbraken, J., & Samson, R. A. (2022). *Talaromyces santanderensis* sp. nov., a cadmium-tolerant fungus isolated from cacao soils in Colombia. *Journal of Fungi*, 8(10), 1042. <https://doi.org/10.3390/jof8101042>
- [13] Guamán, J. P. (2020). *Tolerancia de hongos filamentosos a metales pesados y su potencial aplicación en procesos de biorremediación*. Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22200/1/CD%2011701.pdf>
- [14] Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., & Gupta, R. (2019). Heavy metals and living systems: An overview. *Indian Journal of Pharmacology*.
- [15] Gadd, G. M. (2010). Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*, 156, 609–643.
- [16] Nweke, C. O., Okpokwasili, G. C., & Nwanyanwu, C. E. (2020). Biosorption potential of heavy-metal-tolerant fungi isolated from soil. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 42.
- [17] Vallejo, M. D. L. L. A., Castro, M. A. M., Cassellis, M. E. R., Gómez, S. E. S., Cantún, D. I., & Flores, V. T. (2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(2), 275-289.

- [18] Hasgül, E., Malkoç, S., Güven, A., Dede, A., & Güven, K. (2019). Biosorption of cadmium and copper by *Aspergillus* spp. isolated from industrial waste sludge. *Biological Diversity and Conservation*, 12(3), 44–56.
- [19] Khodja, H., Iddou, A., Aguedal, H., Aziz, A., & Shishkin, A. (2018). Bioremoval of lead (II) and cadmium (II) using *Penicillium* sp. *Key Engineering Materials*, 762, 93–98.
- [20] Manguilimotan, L. C., & Bitacura, J. G. (2018). Biosorption of cadmium by filamentous fungi isolated from coastal environments. *Journal of Toxicology*.
- [21] Lazim, Z. S., Al-Dossary, M. A., & Al-Hejuje, M. A. (2024). Exploring the potential of fungi for bioremediation of copper, cobalt and cadmium in liquid media. *Journal of Food Technology and Preservation*.