

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO

AMBIENTE



Identificación molecular de hongos tolerantes a cadmio (Cd) asociados al rizoplasma de girasol (*Helianthus annuus*) y papayita de soña (*Momordica charantia*).

Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente.

Autor:

Montalvan Flores, Oswaldo Alexanders.

TUMBES, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



Identificación molecular de hongos tolerantes a cadmio (Cd) asociados al rizoplasma de girasol (*Helianthus annuus*) y papayita de soña (*Momordica charantia*).

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Puestas Chully, Miguel Antonio (presidente).

Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya (secretario).

Mg. Silva Chávez, José Antonio (Vocal).

TUMBES, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



Identificación molecular de hongos tolerantes a cadmio (Cd) asociados al rizoplasma de girasol (*Helianthus annuus*) y papayita de soña (*Momordica charantia*).

Los suscritos declaramos que la tesis es original tanto en su contenido y forma:

Br. Montalvan Flores, Oswaldo Alexanders (Autor).

Mg. Rimaycuna Ramírez, John Henry (Asesor).

Mg. Peña Suarez, Erick Antonio (Co-asesor).

TUMBES, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los diecisiete días del mes de noviembre de dos mil veinticinco, siendo las once..... horas, con cinco..... minutos, de la mañana....., de forma presencial en la sede de la Facultad de Ciencias Agrarias, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 117-2022/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dr. Miguel Antonio Puestas Chully** (Presidente), **Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya** (Secretario), **Mg. José Antonio Silva Chávez** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Mg. John Henry Rimaycuna Ramírez**, como **Asesor** y al **M.Sc. Erick Antonio Suarez Peña**, como **Co-asesor**, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, "**Identificación molecular de hongos tolerantes a Cd (Cadmio) asociados al rizoplasma del girasol (*Heliantus Annus*) y papayita de soña (*Momordica Charantia*)**", para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, presentado por el **Bach. Oswaldo Alexanders Montalvan Flores**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. OSWALDO ALEXANDERS MONTALVAN FLORES**; aprobado, por unanimidad....., con el calificativo Muy bueno..... . Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda apto..... para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las doce..... horas y treinta..... minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público.

Tumbes, 17 de noviembre del 2025.

Dr. Miguel Antonio Puestas Chully DNI N° <u>02660522</u> CODIGO ORCID <u>0000-0003-1979-9572</u> Presidente	Dr. Jalmer Fidel Campaña Olaya DNI N° <u>00236469</u> CODIGO ORCID <u>0000-0002-0804-1208</u> Secretario
 Mg. José Antonio Silva Chávez DNI N° <u>41063171</u> CODIGO ORCID <u>0000-0001-5763-407X</u> Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
 S.acad.

INFORME FINAL TURNITIN

Informe de Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

1 %

INDICE DE SIMILITUD

1 %

FUENTES DE INTERNET

1 %

PUBLICACIONES

0 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 Javier Gerardo Zuzunaga Rosas. "Evaluación del producto bioestimulante BALOX como inductor de tolerancia en cultivos hortícolas frente al estrés causado por el exceso de sales solubles en suelos y aguas", Universitat Politecnica de Valencia, 2024
Publicación <1 %

2 es.scribd.com
Fuente de Internet <1 %

3 aprenderly.com
Fuente de Internet <1 %

4 repositorio.unal.edu.co
Fuente de Internet <1 %

5 sedici.unlp.edu.ar
Fuente de Internet <1 %

6 "Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Biotechnology, 2024
Publicación <1 %

7 ddd.uab.cat
Fuente de Internet <1 %

8 repositorio.puce.edu.ec
Fuente de Internet <1 %

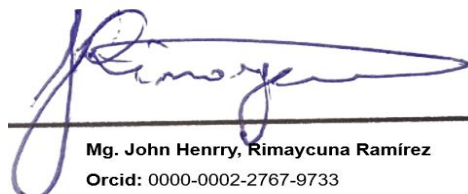
Fecha de entrega: 25-sept-2025 12:00p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2761843933

Nombre del archivo: TITULO_turnitin_.pdf (3.38M)

Total de palabras: 22070

Total de caracteres: 99727



Mg. John Henry, Rimaycuna Ramirez
Orcid: 0000-0002-2767-9733

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación, va dedicado especialmente a toda mi familia, en especial a mi padre Oswaldo Wilmer, Montalvan Urbina y a mi Madre adorada, Angelica María Flores García, que han sido el motor y motivo para lograr concluir esta etapa tan anhelada, gracias a su esfuerzo, apoyo, fortaleza, pundonor y el empeño que pusieron para brindarme los recursos necesarios en mi etapa académica, pero esto no pudo ser posible sin el apoyo de Dios, mi fiel amigo y compañero, gracias a él y la salud que nos brinda se pueden alcanzar muchas metas, siendo la clave del éxito en mi etapa juvenil.

De igual manera les dedico el presente trabajo a todos aquellos que han sido parte de mi proceso académico como profesional, aquellos que han logrado darme las herramientas necesarias para pulir las cualidades encomiables que puede mostrar un ser humano, va dedicado para ustedes.

AGRADECIMIENTO

El primer grito al cielo es para Dios, sin el nada es posible todo lo bueno viene de parte de él y la ayuda brindada siempre se le agradece a mi Dios Jehová.

En segundo lugar, a mis padres, el motor y motivo necesario para lograr alcanzar esta meta tan anhelada.

También agradecerle a mi amigo, Mario Cornejo Landeo, por siempre estar ahí en cada momento animándome y ayudándome.

De igual manera a las 2 grandes personas que me dieron la mano y la confianza necesaria para llevar a cabo este grandioso experimento, mis amigos que se encargaron de extraer todo mi potencial en el campo de la investigación el **Mg. Rimaycuna Ramírez, John Henry y el Msc. Suarez Peña, Erick Antonio**, gracias por la inclusión en el proyecto y el apoyo incondicional brindado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	15
II. REVISIÓN LITERARIA.....	17
2.1. Origen de los metales pesados (MP).....	17
2.2. Efecto nocivo a nivel molecular	17
2.3. Impacto de los metales en la salud y el ecosistema	18
2.4. Técnicas y herramientas de remediación	19
2.5. Interacción biológica.....	20
2.6. <i>Momordica charantia</i> (Papayita de soña).....	21
2.6.1 Botánica general	22
2.7. <i>Helianthus annuus</i> (Girasol).....	23
2.7.1 Botánica general	24
2.8. Propiedades climáticas	26
2.9. Técnicas moleculares en organismos fúngicos.....	26
2.9.1 Aislamiento microbiológico	26
2.9.2 Extracción del ADN fúngico	27
2.9.3 Reacción en cadena polimerasa (PCR)	27
2.9.4 Electroforesis.....	28
2.9.5 Espaciador interno transcrito (ITS)	28
2.9.6 Secuenciación del ADN fúngico	29
2.10. Antecedentes literarios.....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32

3.1. Tipo de investigación	32
3.2. Zona de muestreo	32
3.3 Recolección del material vegetal y rizosférico	34
3.1. Preparación del medio y siembra rizosférica.....	35
3.2. Aislamiento y purificación	36
3.3. Caracterización morfológica	36
3.4. Análisis molecular	37
3.5. Amplificación de la región ITS	38
3.6. Electroforesis.....	39
3.7. Secuencia y diagnóstico filogenético	39
3.8. Pruebas de concentración mínima inhibitoria (MIC)	40
3.8.1 Tasa del crecimiento lineal simple (MLGR),	41
3.8.2 Tasa de crecimiento diario.....	41
3.8.3 Tasa de crecimiento diario promedio (TCD o MLGR diaria)	42
3.8.4 Porcentaje de inhibición (PI%).....	42
3.8.5 Δ Diferencia significativa	43
3.8.6 Tasa de Crecimiento Relativo (RGR).....	43
3.8.7 Regresión lineal simple	43
3.8.8 Área bajo la curva (AUC).....	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1 Caracterización morfológica	45
4.2 Concentración mínima inhibitoria (MIC).....	51

4.3 Rendimiento y absorbancia.....	55
4.4 Identificación molecular de los aislados fúngicos	58
V. CONCLUSIONES.....	85
VI. RECOMENDACIONES.....	86
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFIAS	87
VIII. ANEXOS.....	117
8.1 Anexo de Figuras.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de las zonas de muestreo	32
Tabla 2. Parámetros evaluados en la caracterización morfológica	37
Tabla 3. Relación entre la Absorbancia y rendimiento	38
Tabla 4. Concentración inicial de Primer	38
Tabla 5. Concentración final (PCR)	39
Tabla 6. Descripción de las características morfológicas	45
Tabla 7. Relación de los resultados entre la Absorbancia y el Rendimiento	55
Tabla 8. Identificación molecular de aislamientos rizosférico de <i>Momordica charantia</i>	59
Tabla 9. Comportamiento frente a la exposición metálica P2	62
Tabla 10. Comportamiento frente a la exposición metálica P9	63
Tabla 11. Comportamiento de <i>Cunninghamella echinulata</i> frente a la exposición metálica	66
Tabla 12. Comportamiento de <i>Mucor fragilis</i> . frente a la exposición metálica	68
Tabla 13. Comportamiento de <i>Aspergillus niger</i> . frente a la exposición metálica	70
Tabla 14. Comportamiento de <i>Aspergillus welwitschiae</i> frente a la exposición metálica	72
Tabla 15. Comportamiento ecosistémico de los aislados fúngicos de <i>Momordica charantia</i>	73
Tabla 16. Identificación molecular de los aislamientos rizosférico de <i>Helianthus annuus</i>	74
Tabla 17. Comportamiento de <i>Cunninghamella echinulata</i> frente a la interacción metálica	76
Tabla 18. Comportamiento de <i>Cunninghamella blakesleeana</i> frente a la interacción metálica	78
Tabla 19. Comportamiento de <i>Lasiodiplodia theobromae</i> frente a la interacción metálica (G7)	80
Tabla 20. Comportamiento de <i>Cunninghamella arunalokei</i> frente a la interacción metálica (G10)	83
Tabla 21. Comportamiento ecosistémico de los aislados fúngicos de <i>Helianthus annuus</i>	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Mapa de Ubicación Geográfica de muestras.....	33
Fig. 2 Recolección de muestras.....	34
Fig. 3 Siembra Rizosférica	35
Fig. 4. Aislamiento y purificación fúngica.....	36
Fig. 5 Esquema para evaluar el crecimiento Micelar.....	40
Fig. 6 Distribución porcentual de la forma fúngica de aislamientos	46
Fig. 7 Distribución porcentual del color fúngico.....	47
Fig. 8 Distribución porcentual del borde micelar	47
Fig. 9 Distribución porcentual del tipo de elevación.....	49
Fig. 10 Distribución porcentual del tipo superficie micelar.....	49
Fig. 11 Inhibición del crecimiento micelial de hongos rizosféricos de <i>Momordica charantia</i> frente a Cd (90 mg/L).....	51
Fig. 12 Inhibición del crecimiento micelial de hongos rizosféricos de <i>Momordica charantia</i> frente a Cd (100 mg/L).....	52
Fig. 13 Inhibición del crecimiento micelial de hongos rizosféricos de <i>Helianthus annuus</i> expuestos a Cd (90 mg/L).....	53
Fig. 14 Inhibición del crecimiento micelial de hongos rizosféricos de <i>Helianthus annuus</i> expuestos a Cd (100 mg/L).....	54
Fig. 15 Evaluación de la relación de absorbancia 260/280 y 260/230.	57
Fig. 16. Interacción metálica de <i>Lasiodiplodia theobromae</i> (P2).....	60
Fig. 17. Interacción metálica de <i>Lasiodiplodia theobromae</i> (P9).....	61
Fig. 18. Interacción metálica de <i>Cunninghamella echinulata</i>	64
Fig. 19. Interacción metálica de <i>Mucor fragilis</i>	67
Fig. 20. Interacción metálica de <i>Aspergillus niger</i>	69
Fig. 21. Interacción metálica de <i>Aspergillus welwitschiae</i>	71
Fig. 22. Interacción metálica de <i>Cunninghamella echinulata</i>	75
Fig. 23. Interacción metálica de <i>Cunninghamella blakesleeana</i>	77
Fig. 24. Interacción metálica de <i>Lasiodiplodia theobromae</i> (G7).	79
Fig. 25. Interacción metálica de <i>Cunninghamella arunaloeki</i> (G10).	81

Resumen

La presencia de metales en los ecosistemas constituye un problema complejo y potencialmente nocivo, debido a que su acumulación y elevada concentración afectan tanto la salud humana como la ecológica, al ser translocados, movilizados y almacenados en la fisiología vegetal, la cual suele constituir una fuente primaria de alimento dentro de la biocenosis. Con el propósito de aislar e identificar hongos asociados a la rizosfera de *Momordica charantia* y *Helianthus annuus*, se empleó la amplificación de la región ITS mediante los cebadores universales ITS1 e ITS4, obteniéndose secuencias que revelaron especies pertenecientes a los géneros *Lasiodiplodia*, *Cunninghamella*, *Mucor* y *Aspergillus*. Entre ellas, *Lasiodiplodia theobromae* (P2, P9, G7) presentó alta similitud con secuencias de referencia (97.39%–99.78%), lo que respalda una identificación confiable; *Cunninghamella echinulata* (P3, G2) registró similitudes de 99.75% y 90.85%, evidenciando posibles variaciones intraespecíficas; mientras que *Cunninghamella blakesleeana* (G5) y *C. arunalokei* (G10) mostraron valores inferiores al 85%, lo que podría indicar divergencias filogenéticas o limitaciones en la base de datos. Asimismo, se identificaron *Mucor fragilis* (P4), *Aspergillus niger* (P6) y *Aspergillus welwitschiae* (P11), con similitudes superiores al 96%. En las pruebas de interacción con metales se observó un crecimiento micelar constante hasta concentraciones de 70–80 mg/L, alcanzando un máximo de tolerancia entre 90–100 mg/L, donde se determinó el porcentaje de inhibición micelar (PI), evidenciando que los aislados poseen un potencial relevante para su empleo como agentes fúngicos en procesos de biorremediación.

Palabras clave: Aislados fúngicos, metales, biorremediación, crecimiento micelar, inhibición fúngica.

Abstract

The accumulation of metals in ecosystems represents a major environmental challenge, as their elevated concentrations simultaneously affect human health and ecological balance. Once translocated and stored in plant physiology—an essential component of trophic networks—these elements pose significant risks within the biocenosis. This study aimed to isolate and identify fungal communities associated with the rhizosphere of *Momordica charantia* and *Helianthus annuus*. The amplification of the ITS region using universal primers ITS1 and ITS4 enabled the identification of species belonging to the genera *Lasiodiplodia*, *Cunninghamella*, *Mucor*, and *Aspergillus*. Among them, *Lasiodiplodia theobromae* (P2, P9, G7) showed high similarity with reference sequences (97.39%–99.78%), supporting reliable taxonomic identification. *Cunninghamella echinulata* (P3, G2) exhibited similarities of 99.75% and 90.85%, suggesting possible intraspecific variation; whereas *Cunninghamella blakesleeana* (G5) and *C. arunalokei* (G10) displayed values below 85%, which may indicate phylogenetic divergence or limitations in database coverage. Additionally, *Mucor fragilis* (P4), *Aspergillus niger* (P6), and *Aspergillus welwitschiae* (P11) were identified with similarity values exceeding 96%. In metal interaction assays, fungal isolates maintained steady mycelial growth up to concentrations of 70–80 mg/L, reaching their tolerance threshold at 90–100 mg/L. The calculation of the percentage of mycelial inhibition (PI) revealed that the isolates hold significant potential as fungal agents for bioremediation processes in contaminated soils.

Keywords: fungal isolates, metals, bioremediation, rhizosphere, mycelial inhibition.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental ocasionada por metales pesados (MPs), es reconocida como un problema global, debido a su naturaleza xenobiótica y su capacidad de alterar los recursos naturales (Damian et al., 2024; González-Díaz et al., 2022; Khalefah et al., 2024; Velasco et al., 2022). Asimismo, estos contaminantes han provocado cambios evolutivos afectan de manera constante la distribución geográfica, geológica, anatómica y embrionaria, de los procesos fisiológicos en cada agente viviente (Lorente et al., 2024; Neves de Oliveira et al., 2023; Ruiz et al., 2018).

En América Latina, la presencia de los MPs, como cadmio (Cd), mercurio (Hg), cobre (Cu), Níquel (Ni) y plomo (Pb) (Baranda et al., 2024; Gonzales et al., 2014b; Neves et al., 2023; Ruiz et al., 2018), ha aumentado significativamente durante las últimas décadas como consecuencia del crecimiento industrial, la actividad minera, metalúrgica, fertilización agrícola, residuos humanos, vehiculares, naturales y los diferentes procesos antrópicos generados por el hombre (Gonzales et al., 2014a; Jiménez-Pérez et al., 2014).

En el Perú, esta inserción tóxica ha generado graves impactos a nivel económico, social, y ecológico (Arteta et al., 2018; Betts, 2011; Gonzales et al., 2014b; Ruiz et al., 2018; Sleeman et al., 2019). Dentro de este panorama, el Cd destaca como uno de los metales más peligrosos, debido a su alta movilidad, persistencia y capacidad de bioacumulación (Armas & Ramírez, 2020; Castrillón et al., 2012; Moreno-Rivas & Ramos-Clamont, 2018).

Este metal puede movilizarse de forma natural a través de las raíces de las plantas, siendo transportados mediante el tejido floemático (tallo), hasta las hojas, fruto, semillas y flores (Aguirre et al., 2022; Gutiérrez-Martínez et al., 2024; Shaari et al., 2024). Generando afectaciones en el desarrollo fotosintético, baja carga productiva de semillas, alteraciones funcionales, estrés nutricional, reducción enzimática y clorosis, que aparece al sustituir el Hierro (Fe) y Magnesio (Mg) por cadmio (Cd) (Gutiérrez-Martínez et al., 2024; Hernández-Baranda et al., 2019; Téllez et al., 2017; Wertonge et al., 2024; Zenteno et al., 2024).

En consecuencia, la contaminación de los cultivos agrícolas, forestales y agroforestales, han producir ligeras complicaciones en la salud humana, debido a consumir productos derivados de cacao, tales como cereales, chocolates, caramelos, etc. (Borjas-Ventura et al., 2022; García et al., 2021; Rofner, 2021; Vallejos-Torres et al., 2023).

Deteriorando órganos como el hígado, riñón, huesos, testículos y al pulmón (Lorente et al., 2024; Neves de Oliveira et al., 2023; Sleeman et al., 2019). De igual manera, permitiendo

la proliferación de enfermedades, tales como la hipertensión arterial, diabetes, cáncer y deficiencias renales (Echeverry et al., 2015; Eugenia et al., 2009; Herrera-Cruz et al., 2023).

Frente a esta problemática, se han desarrollado tecnologías limpias como la fitorremediación y la biorremediación, por su bajo costo y eficiencia en la reducción de metales pesados dentro del ecosistema (Cayotopa-Torres et al., 2021; Pérez et al., 2019; Vallejos-Torres et al., 2022).

Estas estrategias utilizan microorganismos o plantas metalofitas capaces de tolerar y transformar compuestos tóxicos (Pérez et al., 2019; Vallejos-Torres et al., 2023). Entre ellas, la biorremediación fúngica ha ganado atención por el uso de hongos filamentosos capaces de inmovilizar, translocar y detoxificar el Cd antes de que sea absorbido por las plantas, implantándose como un enfoque biorremediador asistido cuando se potencia mediante la inoculación dirigida de cepas tolerantes (Jiménez-Suancha et al., 2015; Roman et al., 2022; Zuñiga, 2024).

Ante ello, la presente investigación plantea identificar molecularmente hongos filamentosos tolerantes a Cd, asociados al rizoplaneo de *Helianthus annuus* y *Momordica charantia*, mediante el análisis de la región ITS, técnicas de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), secuenciación genética y análisis filogenético, considerando además la prueba de Concentración Mínima Inhibitoria (MIC) como indicador cuantitativo de su tolerancia al metal.

Como resultado, se logró aislar y caracterizar una diversidad de hongos filamentosos con alto nivel de tolerancia al Cd, lo cual evidencia su potencial biotecnológico para ser utilizados en procesos de biorremediación de suelos contaminados. Esta información contribuye al conocimiento de comunidades fúngicas rizosféricas con capacidad detoxificantes y refuerza la utilidad de herramientas moleculares para su identificación y aplicación en ambientes impactados por MPs (Armas & Ramírez, 2020; Castrillón et al., 2012; Moreno-Rivas & Ramos-Clamont, 2018).

II. REVISIÓN LITERARIA

2.1. Origen de los metales pesados (MP)

La presencia de los agentes metálicos dentro del ecosistema tiene un origen tanto natural como antropogénico. Siendo incorporados al ambiente de forma natural mediante actividades geotérmicas (Hg^{+2}), procesos lito-génicos que están asociados a la composición del suelo y las rocas ($Pb^{+2;+4}$, $Cu^{+1;+2}$, Cd^{+2} y $Ni^{+2;+3}$), en este sentido también participan los procesos biológicos donde las bacterias relacionadas con hongos movilizan y transforman los metales en sustancias más solubles (González-Fernández et al., 2018; Navarro-Aviñó et al., 2007; Salas-Marcial et al., 2019; Saucedo et al., 2007).

De igual manera la existencia de los compuestos volátiles de manera antropogénica, es generada por diversas actividades contaminantes ocasionadas por el hombre, donde se destaca la minería ilegal, industrias químicas, compuestos fósiles, uso de agroquímicos, pesticidas, residuos tecnológicos y la perjudicial gestión de los desechos caseros e industriales (González-Flores et al., 2011; González et al., 2009; Ortiz-Cano et al., 2009).

La liberación de estos compuestos volátiles favorece su bioacumulación y biomagnificación en las cadenas tróficas, provocando contaminación ambiental y afectaciones significativas a la salud humana (Navarro-Aviñó et al., 2007; Salas-Marcial et al., 2019; Saucedo et al., 2007).

2.2. Efecto nocivo a nivel molecular

La interacción tóxica entre el ser humano y los MPs, genera un alto potencial de daño a nivel molecular, deteriorando de forma perjudicial las diversas funciones esenciales del organismo (Castillo, 2018; Chávez-Gómez et al., 2017). Este efecto se manifiesta mediante un bloqueo funcional, donde se reduce la actividad proteica de las enzimas unidas a los grupos sulfhídricos (-SH), ácidos nucleicos, lípidos de membrana y carbohidratos estructurales, siendo ocasionados por la afinidad de cationes metálicos con los grupos sulfhídricos ubicados en las proteínas, generando un cambio biológico en la estructura proteica (Chávez-Gómez et al., 2017; Flores et al., 2018; García & Arceo, 2018).

De igual manera la movilización de cationes junto a enzimas de vital importancia (ribulosa1-5 bis-fosfato carboxilasa-oxigenasa), que poseen un centro catiónico de

Mg^{+2} , puede ser relegado al interactuar con metales divalentes (Co^{+2} , Ni^{+2} y Zn^{+2}), ocasionando la degradación de las funciones enzimáticas (Flores & Silva, 2019; Navarro-Aviñó et al., 2007; Ramírez, 2024).

Así mismo, la actividad oxidativa de los metaloides (Fe^{+2} , $Cu^{+1; +2}$) da como resultado la creación de compuestos reactivos del oxígeno como el peróxido de hidrogeno y el radical hidroxilo (H_2O_2 y OH^-); donde el radical tiene la capacidad de atraer metaloides de carga libre, que generan diversas variaciones en biomoléculas esenciales (ADN, carbohidrato, proteínas y lípidos), el proceso oxidativo, provoca el deterioro progresivo de la membrana celular y maximiza el proceso de permeabilidad (Castillo, 2018; Navarro-Aviñó et al., 2007; Ramírez, 2024; Sánchez, 2017).

2.3. Impacto de los metales en la salud y el ecosistema

Los agentes metálicos, que se encuentran interactuando con los recursos naturales, han originado un perjuicio a nivel social, afectando la seguridad del sistema alimentario y potenciando la proliferación de enfermedades en los organismos vivos (Eugenia et al., 2009; Padrón et al., 2020; Téllez-Rojo et al., 2023). La exposición a estos elementos, se produce a través de la inhalación e ingesta de alimentos, insumos o sustancias químicas contaminadas, provocando la intoxicación, degradación e inestabilidad de los procesos fisiológicos en el organismo (Echeverry et al., 2015; Florida, 2021; Herrera-Cruz et al., 2023; Rodríguez, 2017).

Así mismo, los trastornos en la salud dependen del tipo de metal y de la concentración a la que el organismo esté expuesto (ANA, 2019). La exposición crónica puede derivar en enfermedades seriamente lesivas, como la insuficiencia renal, hipertensión, disfunción cognitiva, daños reproductivos, reducción fetal (Bravo & Quispe, 2018; Demir et al., 2024; Florida, 2021), mayor riesgo de un aborto espontáneo, parto prematuro, disminución del coeficiente intelectual (CI), deficiencia académica, complicaciones digestivas, respiratorias, enzimáticas, incidencia de diabetes, anemia, leucemia (Arcos et al., 2024; Friberg et al., 2019; Lozano et al., 2004).

Estos efectos suelen presentarse cuando la exposición a Pb y Cd supera los 5 mg/dl (Herrera-Cruz et al., 2023; Lozano et al., 2004; Martínez et al., 2013; Padrón et al., 2020; Rodríguez, 2017).

De igual manera, en los ecosistemas la movilización de metales a través de la cadena trófica genera afectaciones en la fauna silvestre y doméstica (Londoño-Franco et al., 2016; Octavio-Aguilar & Olmos-Palma, 2022; Rodríguez, 2017), ocasionando la pérdida del apetito, problemas respiratorios, debilidad ósea, insuficiencia renal, osteoporosis, disminución de la vida fértil, afectando de forma constante a la fauna marina, ganado vacuno y otras especies silvestres (Bustamante et al., 2015; De la Torre-Munilla et al., 2021; de Mendoza et al., 2006; Londoño-Franco et al., 2016).

Por otra parte, la circulación ecológica del metaloide, repercute de forma dañina en los operadores vegetales, provocando una serie de secuencias deficientes en el desarrollo progresivo del vegetal, causando secuelas en su crecimiento, daños fotosintéticos, estrés celular, alteraciones nutricionales, toxicidad radicular, defoliación, deformaciones biosintéticas, degradación proteica (Aguirre et al., 2022; Echeverry et al., 2015; Gutiérrez-Martínez et al., 2024; Hernández-Baranda et al., 2019; Shaari et al., 2024).

Es por ello que debido a la gama de afectaciones sanitarias que producen los metales, surgen técnicas y herramientas remediadoras que permiten reducir el elevado índice de contaminación (Pérez et al., 2019; Vallejos-Torres et al., 2023).

2.4. Técnicas y herramientas de remediación

La contaminación del suelo y del agua por MPs, es un problema ambiental grave debido a su persistencia y toxicidad. Para afrontarlo, se emplean diversas técnicas de remediación físicas, químicas y biológicas (Newrick et al., 2024). Entre las biológicas, la fitorremediación y la biorremediación destacan por su bajo impacto ambiental y su capacidad para extraer, inmovilizar o transformar contaminantes de forma sostenible (Trujillo-Zapata et al., 2021).

2.4.1. Fitorremediación

La fitorremediación, emplea plantas tolerantes o hiperacumuladoras para remover, inmovilizar o transformar contaminantes mediante distintos mecanismos, se puede dar en diferentes modalidades, entre ellas tenemos la fitostabilización que inmoviliza metales en la rizósfera (Mendarte-Alquisira et al., 2021). Por otra parte, también se utiliza, la fitoextracción que acumula los MPs en la biomasa aérea (Alderete-Suárez et al., 2019).

De igual manera se encuentra la fitovolatilización que es la transformación de metales en formas volátiles menos tóxicas (Hernández & Hernández, 2022); y la fitodegradación que consiste en la degradación de compuestos orgánicos por enzimas vegetales (Gómez et al., 2021).

Es una técnica de bajo costo que mejora el suelo, aunque su eficacia depende de la especie vegetal, la concentración de contaminantes y las condiciones edáficas (Male et al., 2020).

2.4.2. Biorremediación

Es una técnica que usa microorganismos, bacteriológicos y fúngicos, para transformar, inmovilizar o detoxificar MPs, mediante bioacumulación, biosorción o biotransformación (Dourou et al., 2021). Puede ser *in situ* o *ex situ*, y ciertos microorganismos liberan compuestos que facilitan estos procesos, adaptándose a distintos niveles de contaminación (Gonzales et al., 2021).

2.5. Interacción biológica

Así como existen plantas que presentan susceptibilidad ante una elevada concentración de metales, también habitan organismos herbáceos con la capacidad de tolerar la presencia del contaminante (Massi et al., 2020). Esta tolerancia se produce por la asociación que existe entre microorganismo fúngicos, junto a plantas herbáceas, constituyendo una comunicación microbiana que permite la inhibición y detiene el traslado de ion metálico (Chávez et al., 2013; Ferreira et al., 2013; Morales & Méndez, 2021; Nuñez et al., 2023a, 2023b).

Es de vital importancia conocer la complejidad de la absorción metálica, debido a que los estos compuestos logran sustituir en la molécula de clorofila, al ion Magnesio (Mg^{+2}), afectando la actividad fotosintética (fotones) y la productividad de la pigmentación (PSII), la movilización eléctrica de compuestos esenciales, y el transporte de la molécula de oxígeno quedan inhabilitados, debido a la suplantación del ion Mg^{+2} , por los metales, dicha sustitución se lleva a cabo en la fotólisis del agua (H_2O) (Navarro-Aviñó et al., 2007; Vega & Clavijo, 2017).

La sustitución permite que el metal se pueda unir a los grupos funcionales que accionan con diversos átomos de azufre (*S*), nitrógeno (*N*) y oxígeno (*O*), de igual manera puede provocar la remoción de compuestos volátiles que posean

características físico-químicas análogas (Arteta et al., 2018; Edding et al., 2006; Maldonado, 2009). Este enfoque aprovecha la asociación de cultivos herbáceos tolerantes con hongos capaces de captar y remover la presencia metálica, contribuyendo a la recuperación ambiental (Ferreira et al., 2013; García et al., 2020; Hernández-Ruiz et al., 2017).

2.6. *Momordica charantia* (Papayita de soña)

Es una especie herbácea, distribuida en su mayoría por África, siendo nativas en el trópico y encontrando 10 especies en Asia, 7 en la India y algunas insertadas en América en los países de Colombia, Brasil y Perú (Armas & Ramírez, 2020; Jiménez-Suancha et al., 2015; Moreno-Rivas & Ramos-Clamont, 2018; Roman et al., 2022). Perteneciente a la familia Cucurbitaceae, son esencialmente utilizadas en el campo medicinal y la alimentación ganadera, en total se han registrado un total de 45 especies pertenecientes al género *Momordica* (Aminah & Anna, 2011; Bharathi & John, 2013; Grover & Yadav, 2004; Subratty et al., 2005).

En el Perú, crece de forma natural en el departamento del Cusco, La Libertad, Loreto, San Martín y Tumbes (de Mera et al., 2019; Saavedra et al., 2013; Seminario et al., 2021; Ventura et al., 2023). En los recintos aledaños es utilizada por sus propiedades medicinales de forma tradicional por las diversas comunidades nativas, siendo también triturado y consumido como un sazón natural en diferentes variedades culinarias, teniendo un sabor amargo característico (Bustamante Leyva & Buitron Alvarado, 2020; Paniagua-Zambrana et al., 2020; Sabouri & Sajadi, 2022).

Se tiene en cuenta la clasificación de Bharathi and John (2013) y con algunos aportes modificados de Giuliani et al. (2016) y Rizzo et al. (2023).

Taxonomía botánica

Reino	:	Planta
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Cucurbitales
Familia	:	Cucurbitaceae
Género	:	<i>Momordica</i>
Especie	:	<i>Momordica charantia</i> L.

2.6.1 Botánica general

En el mundo se le conoce como una hortaliza tropical que habita en climas cálidos, donde se le da diferentes denominaciones tales como balsamina o pepinillo africano, melón amargo (México), Ampalaya (Filipinas), pera de bálsamo (Estados Unidos y Reino Unido), cundeamor, tomaco (Venezuela, Puerto Rico, República Dominicana, Cuba); achogchilla (Perú) o papayita de soña (Aminah & Anna, 2011; Grover & Yadav, 2004; Shan et al., 2012). También se encuentra ubicada en Nueva Zelanda, Brasil, China, Colombia, Haití, Panamá, Medio Oriente, Nicaragua, Tailandia, Japón y Singapur (Bortolotti et al., 2019; Rizzo et al., 2023; Scartezzini & Speroni, 2000).

Es una maleza arvense que requiere de características edafoclimáticas indispensables para su desarrollo, depende exclusivamente de la exposición a la luz solar de forma directa, en un rango de temperatura (T°) que oscilen entre los 25 a 35 $^{\circ}C$, un pH ligeramente ácido y en algunas ocasiones neutro (5.5 – 7.5); debido a las condiciones de suelo, habitualmente crece en nichos ecológicos ricos en nutrientes esenciales nitrógeno, fósforo y potasio (Beyra et al., 2004; Ooi et al., 2012; Pérez, 2009).

Es una enredadera monácea de frágil envergadura, presenta un tallo de forma alargada (1,5 – 5 m) provisto de zarcillos, y recubierto de pelillos (Giuliani et al., 2016; Rizzo et al., 2023; Subratty et al., 2005). Es un tipo de maleza hábil para crecer, enrollándose de manera ágil sobre la superficie frondosa de una gran variedad de árboles con la finalidad de obtener

protección (Bharathi & John, 2013; Bortolotti et al., 2019; Scartezzini & Speroni, 2000).

Sus hojas son lobadas (5 – 7 lóbulos por hoja, teniendo una extensión de 3 – 6 cm con forma de ovado), poseen una característica muy peculiar, son lisas, alternadas y en su mayoría membranosas, situadas por debajo de las nervaduras (Beyra et al., 2004; Joseph & Jini, 2013).

Su flor casi siempre es unisexual, de pigmentación amarilla, axilares solitarias, y de forma pendular (Agosto, 2007; Ooi et al., 2012). Presenta una corola compuesta por 5 pétalos, y 2 brácteas que acompañan el proceso de inflorescencia. Se tiene en cuenta que el proceso de floración puede llegar a inhibirse a una temperatura que exceda los 37 °C (Basch et al., 2003; Beyra et al., 2004; Ooi et al., 2012).

De igual manera, su fruto es de forma cilíndrico, con una protuberancia alargada de 2-3 cm, teniendo una pigmentación verde antes del proceso de maduración, con un pericarpio blando y con una coloración naranja al momento de la fructificación, donde se producen de 5 – 15 semillas elípticas aplanadas de color rojizo intenso, son dispersas por aves y mamíferos, mamíferos, germinando entre 20 a 25 días (Basch et al., 2003; Grover & Yadav, 2004; Kumar & Bhowmik, 2010; Pérez, 2009).

2.7. *Helianthus annuus* (Girasol)

Es una especie de origen americano, se puede encontrar en los caminos costeros de estados únicos, Canadá y México, habitando de forma silvestre, donde esencialmente se registran unas 50 especies, que tiene una línea de tiempo vivo anual o perennes, adaptadas a una gran variedad de nichos ecológicos, y que poseen diferentes características físico-morfológicas (Becheran et al., 2024; Jocković et al., 2025; Shree et al., 2025; Valjarević et al., 2025).

Algunas de estas especies presentan un genoma diploide, tetraploide o hexaploide. En América esta especie tropical se puede encontrar en los países con regiones templadas donde la T° oscilen entre los 20 – 30 °C, siendo situada en argentina, Brasil y Perú (Jocković et al., 2025; Lavado-Meza et al., 2023; Roman et al., 2022; Souques et al., 2025).

Debido a su atractivo natural y belleza paisajística, se registra un proceso de siembra en las regiones limeñas (Huaral y Aucallama), asimismo su presencia escénica también se evidencia en las zonas de Lambayeque y Ancash (Becheran et al., 2024; Haque et al., 2025; Shree et al., 2025).

No solo se expresa su magnificencia como un cultivo agrícola, sino como un sinónimo de cultura natural, debido a que brinda un servicio ecológico muy agradable siendo conservado en algunos jardines como un atractivo turístico (Jocković et al., 2025; Lin et al., 2025; Tintaya, 2018).

Se tiene en cuenta la clasificación de Souza et al. (2022), con aportes taxonómicos de Baack et al. (2005) y Yiğiter and Coskun (2024)

Taxonomía botánica

Reino	:	Planta
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Liliopsida
Orden	:	Asterales
Familia	:	Asteraceae
Género	:	<i>Helianthus</i>
Especie	:	<i>Annuus L.</i>

2.7.1 Botánica general

Es una especie sin ramificaciones, que posee un solo capítulo de mayor tamaño que la gran variedad silvestre. Los capítulos tienen un rango de 700-3000 flores en los híbridos que son utilizados para extraer aceite esencial, y un poco más de 8000 en los ejemplares que son utilizados en la industria comercial (Chen et al., 2024; Haque et al., 2025; Roman et al., 2022).

Esta especie posee una raíz principal pivotante profunda que puede llegar a medir hasta 3 metros, con unas raíces secundarias que se aferran a la capa del suelo de forma lateral, proporcionándole estabilidad y eficiencia,

logrando facilitar la absorción de nutrientes (Lekeufack et al., 2025; Siregar et al., 2025; Tintaya, 2018).

Puede tener un mayor crecimiento longitudinal, en suelos pesados, arcillosos y con un sistema de drenaje bien definido (Lekeufack et al., 2025; Souques et al., 2025; Valjarević et al., 2025). Son altamente tolerantes a la variabilidad del pH del suelo, con un alto nivel de salinidad, se le conoce como una planta solitaria, debido a su intolerancia a la sombra, le permite crecer mejor en espacios vacíos (Jiménez-Suancha et al., 2015; Mendes et al., 2025).

La extensión de su tallo, presenta una morfología robusta, y generalmente no es ramificado, su altura varía entre 1.5 a 4 m dependiendo de las condiciones climáticas, expresando una textura áspera con presencia de tricomas rugosos (Roman et al., 2022; Valjarević et al., 2025).

Sus hojas forman una circunferencia perfecta, con una alternación aleatoria en sentido horario, de forma ovalada, con un ápice agudo, cada uno de sus pétalos puede medir de 15 a 45 cm, sus bordes son dentados, con una superficie áspera (da Silva et al., 2025; Mendes et al., 2025; Shree et al., 2025).

Las flores, forma un disco circular perfecto, y se disponen en arcos que irradian desde el centro del capítulo, donde las flores fértiles, tras la polinización, dan origen a los frutos. (Chen et al., 2024; Souques et al., 2025). Estas capas empinadas son de color amarillas estando ligadas entre sí, siendo llamativas y estériles (Lin et al., 2025; Roman et al., 2022). La corola absorbe fuertemente la luz solar, promoviendo la atracción de los insectos polinizadores (Becheran et al., 2024; da Silva et al., 2025; Jiménez-Suancha et al., 2015).

La fase de fructificación presenta un fruto aquenio, de forma ovalada y comprimida en los laterales, teniendo una medición de 7 a 15 mm, de longitud, varia en la tonalidad simultáneamente puede ser negro y a veces gris, y presenta franjas blancas (Lekeufack et al., 2025; Tintaya, 2018). Se pueden producir las semillas en una temporada de crecimiento de 4 meses (de Luna et al., 2025; Lin et al., 2025).

2.8. Propiedades climáticas

La variación climática que presenta la zona norteña, permite el crecimiento modesto de las especies herbáceas, el norte del país presenta un clima cálido generalmente tropical seco, con una estacionalidad lluviosa (Gutiérrez, 2012; Metzger, 2019), donde las temperaturas pueden oscilar entre 24 – 30 y en algunas ocasiones del verano llegar a 34 – 35 °C, la mayor parte del año es seco y caluroso (Martínez & Céspedes, 2017; Rosales et al., 2010), pero en los meses de enero hasta abril suelen existir precipitaciones algunas de forma moderada y otras que causan daños en gran magnitud, ocurriendo especialmente en la ciudad de Tumbes (Metzger, 2019; Takahashi & Martínez, 2015).

2.9. Técnicas moleculares en organismos fúngicos

Las técnicas moleculares permiten obtener una información taxonómica, genotípica y patológica detallada, en función de las características expresadas por cada organismo fúngico, donde se obtiene un patrón de reconocimiento junto con una secuencia molecular de la trascendencia genómica del organismo analizado (Sánchez et al., 2016; Suárez-Contreras & Peñaranda-Figueredo, 2022; Tovar et al., 2004).

2.9.1 Aislamiento microbiológico

Es un proceso secuencial que utilizan en la ciencia micológica con el fin de obtener organismos fúngicos puros, a partir de muestras naturales extraídas de suelo, agua o plantas (Guigón-López et al., 2010; Tovar et al., 2004). Esta técnica se emplea ampliamente en investigaciones microbiológicas, biotecnológicas y medicinales (Allende et al., 2013; Camarena-Gutiérrez, 2012).

El aislamiento se lleva a cabo utilizando muestras microbiológicas, sembrándolas en un medio de cultivo adecuado como el *potato dextrose agar* (PDA), donde se le adiciona una temperatura adecuada en el proceso de incubación, donde posteriormente, se realiza la purificación y conservación de los aislados (Guigón-López et al., 2010; Rivero & Maniscalco, 2016; Sánchez et al., 2016).

2.9.2 Extracción del ADN fúngico

El estudio del ADN, representa un pilar fundamental en la investigación científica, tecnológica y social (Retana et al., 2018; Unda et al., 2011). En ingeniería genética se utiliza para diagnosticar enfermedades, identificar plagas, generar organismos mutados o desarrollar plantas resistentes, alimentos transgénicos y diversas incógnitas que alteran la incertidumbre de la sociedad (Camarena-Gutiérrez, 2012; Guigón-López et al., 2010; Rivero & Maniscalco, 2016).

La extracción del ADN se emplea tanto en la detección como en el diagnóstico de organismos fúngicos patógenos y benéficos (Guigón-López et al., 2010; Retana et al., 2018). La pared celular de los hongos, compuesta por quitina y glucano, le confiere gran resistencia, por lo que es necesario aplicar métodos que permitan su ruptura eficiente (Allende et al., 2013; Tovar et al., 2004).

Generalmente, el procedimiento requiere la trituración de las muestras en nitrógeno líquido y el uso de tampones fuertes, lo que facilita la ruptura celular y la liberación de las cadenas de ADN (Allende et al., 2013; Guigón-López et al., 2010; Retana et al., 2018; Rivero & Maniscalco, 2016).

2.9.3 Reacción en cadena polimerasa (PCR)

La PCR, es una herramienta que permite amplificar secuencias específicas de ADN a través de ciclos que incluyen desnaturalización, alineamiento y extensión, regulados por cambios de temperatura controlados (Camarena-Gutiérrez, 2012; Sánchez et al., 2016).

De igual manera se le conoce como un método enzimático donde participa la polimerasa termoestable (Taq-polimerasa), teniendo como única función la replicación de los fragmentos en las cadenas de ADN. De esta manera, la PCR facilita la detección e identificación genética de microorganismos fúngicos y bacterianos, con base en el material genético característico de cada especie (Allende et al., 2013; Guigón-López et al., 2010; Sánchez et al., 2016).

2.9.4 Electroforesis

Es una técnica que permite sintetizar y codificar enzimas proteicas, junto con filamentos de ADN y ARN según la corresponda la muestra, mediante un campo eléctrico aplicado a un gel de agarosa, que actúa como tamiz molecular (Rivero & Maniscalco, 2016; Unda et al., 2011).

Es importante en estudios genéticos, donde se analizan la diversidad de microorganismos fúngicos, junto con la detección del marcaje molecular (Allende et al., 2013; Guigón-López et al., 2010). La separación se realiza según el tamaño, peso molecular y distribución de las macromoléculas en el campo eléctrico (Camarena-Gutiérrez, 2012; Tovar et al., 2004).

2.9.5 Espaciador interno transcrito (ITS)

La región ITS, es un pequeño fragmento del genoma secuencial denominado ADN espaciador, ubicado de manera exclusiva entre ADN ribosomal 18s y 28s (Dufau et al., 2021; Fern et al., 2018; Granados-Montero et al., 2022). Esta región es ampliamente utilizada en biología molecular, obteniendo una información detallada de la clasificación taxonómica y la variabilidad de la especie codificada (Dufau et al., 2021; Flores et al., 2021).

Se le conoce también como el código de barras universal en hongos, que actúa como un marcador molecular, así mismo es utilizado para el análisis metagenómico, basándose en datos genéticos que son proporcionados por la base de datos del Genetic Databases (Base de datos de secuencias genéticas) y el UNITE (Base de Datos para la Identificación de Hongos); se puede obtener una información precisa sobre la diferencia de especies (Dufau et al., 2021; Fern et al., 2018; Granados-Montero et al., 2022; Montero-Tavera et al., 2013).

2.9.6 Secuenciación del ADN fúngico

Es el proceso molecular que permite leer, analizar y determinar la expresión genómica de una secuencia fúngica, situada en la proyección del nucleótido en el ADN, logrando obtener una identificación exacta del genoma estudiado, con la finalidad de observar sus rasgos evolutivos, detectar variantes genotípicas, identificar metabolitos benéficos, clasificarlo y obtener su información genética (Camarena-Gutiérrez, 2012; Flores et al., 2021; Retana et al., 2018).

Los métodos genómicos de la secuenciación en las regiones ITS, ha demostrado que la región ITS2 del ADN ribosómico en organismos fúngicos, suele ser el más preciso, reproducible y expresivo, gracias a su amplia estabilidad inherente (Camarena-Gutiérrez, 2012; Granados-Montero et al., 2022; Sánchez et al., 2016). Se le conoce también como el código oro o código de barras de vida fúngica, debido a la aceptación que tienen las secuencias por los taxones fúngicos (Fern et al., 2018; Montero-Tavera et al., 2013).

2.10. Antecedentes literarios

A medida que ha pasado el tiempo, la reacción contaminante producida en los suelos, ha generado su progresiva degradación, erosión y empobrecimiento nutricional. Afectando de manera directa los parámetros edáficos, intoxicando de manera letal, a cada uno de los organismos vivientes que se alimentan de la materia prima producida en el filamento de la capa terrestre.

Sandoval-Pineda et al. (2020), expresa en su investigación, que los suelos con alto índice de Cd, perjudica la presencia diversificada de hongos, asociados a *Theobroma cacao L.* el esquema se basa en 2 suelos con dos concentraciones, baja ($B - Cd: 0,1 \text{ mg kg}^{-1}$) y alta ($A - Cd: 20,9 \text{ mg kg}^{-1}$). Los indicadores que se utilizaron fueron, abundancia, riqueza y diversidad (21%, 20% y 11%), encontrando 5 de 7 géneros en común (B y A), así mismo 4 morfoespecies se registran de un total de 23, en ambas concentraciones, identificando con mayor dominancia en A (*Diversispora spurca*, *Rhizoglosum sp.* y *Claroideoglosum etunicatum*), lo cual sugiere que estas especies son tolerantes a un índice elevado de estrés metálico.

Añadiendo información al campo científico, Muñoz-Silva et al. (2019), realizó un estudio identificando aislados fúngicos y bacteriológicos con tolerancia a MP en un

pasivo minero del Perú (Jangas), para el caso de los hongos se realizó una clasificación taxonómica mediante la región ITS, y para bacterias el gen 16S ADNr. En total se registraron 23 (hongos) y 18 (bacterias), concluyendo que los organismos fúngicos identificados, expresaron un mayor índice de tolerancia frente a la exposición de Cd.

La mayor parte de los estudios previos realizados se asemeja a una asociación entre el girasol y los hongos en función al desarrollo del crecimiento fisiológico y el crecimiento longitudinal de la especie, por ende Cartaya-Rubio et al. (2024), en su estudio sobre la floración temprana e incremento diamétrico del capítulo floral, especifica que los inocuos de organismos fúngicos, promueven el incremento y el desarrollo fisiológico de *Helianthus* sp. Utilizando a *Rhizophagus intraradices* y *Funneliformis mosseae*, en 5 niveles de tratamiento junto a 6 repeticiones. Donde las especies fúngicas utilizadas, promovieron el crecimiento de las especies asociadas.

De igual manera, Vital-Vilchis et al. (2020), señala que la interacción de *Helianthus annuus* L., junto con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), en este caso, *Glomus cubense* y *Rhizoglyphus intraradices*, promueven el desarrollo fisiológico, elevan el contenido de clorofila, aumentan el peso y altura de la planta. Debido a esas variables progresivas, concluyo que el proceso de las micorrizas inoculadas es benéfico en la interacción fúngica con organismos herbáceos, reduciendo la infección toxica del contaminante (60%), e incrementando el desarrollo morfológico del girasol.

Por otro lado, no se registra una seria asociación constante entre organismos fúngicos y *Momordica charantia*, la sistematización literaria refleja la limitación que existe en la identificación molecular de hongos que se han tolerantes a MP interactuando con esta especie herbácea. Debido a que sus propiedades químicas, permiten que sea utilizada con mayor importancia en el campo medicinal.

Teniendo en cuenta los amplios compuestos que se extraen de la papayita de soña en la medicina, Batool et al. (2024), experimenta un estudio sobre la relación contaminante de aguas residuales utilizadas como riego de manera indirecta frente a *Momordica charantia*. El análisis hídrico, sintetiza la presencia de Cd, Pb y Ni (2,67; 1,95 y 1,02 mg/l), excediendo los límites permisibles de riego agrícola. Las consecuencias son muy dañinas, reduciendo la germinación (45%), enraizamiento (42%), clorofila (25 – 30%) y crecimiento de brotes (38%), logrando aumentar el

estrés tóxico en un (40%). Se concluye que la exposición de la especie junto al agua residual contaminada altera gravemente el procesamiento metabólico, retrasando el desarrollo y generando un estrés conflictivo.

Debido a esta baja data informática, Dolatmand-Shahri et al. (2024), experimento durante 2 años, sobre la interacción de organismos fúngicos junto a *Momordica charantia*, con la finalidad de observar su comportamiento, crecimiento y rendimiento frente a la sequía. Se utilizaron sepas de *Glomus mosseae* y *G. intraradices*, diseñando un esquema factorial divisible completamente en bloques al azar. Los resultados muestran que los ácidos fenólicos del fruto, aumentaron significativamente, también se incrementó el componente fisiológico y la síntesis bioquímica, obteniendo como resultado que papayita de soña, asociada puede ser resistente a la baja presencia del recurso hídrico.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

El análisis del estudio, refleja un enfoque aplicado y a la vez experimental, debido a que se emplearon herramientas y técnicas de forma objetiva; describiendo el problema que se aborda según los índices problemáticas establecidos (Guerrero, 2019; Molina et al., 2021).

3.2. Zona de muestreo

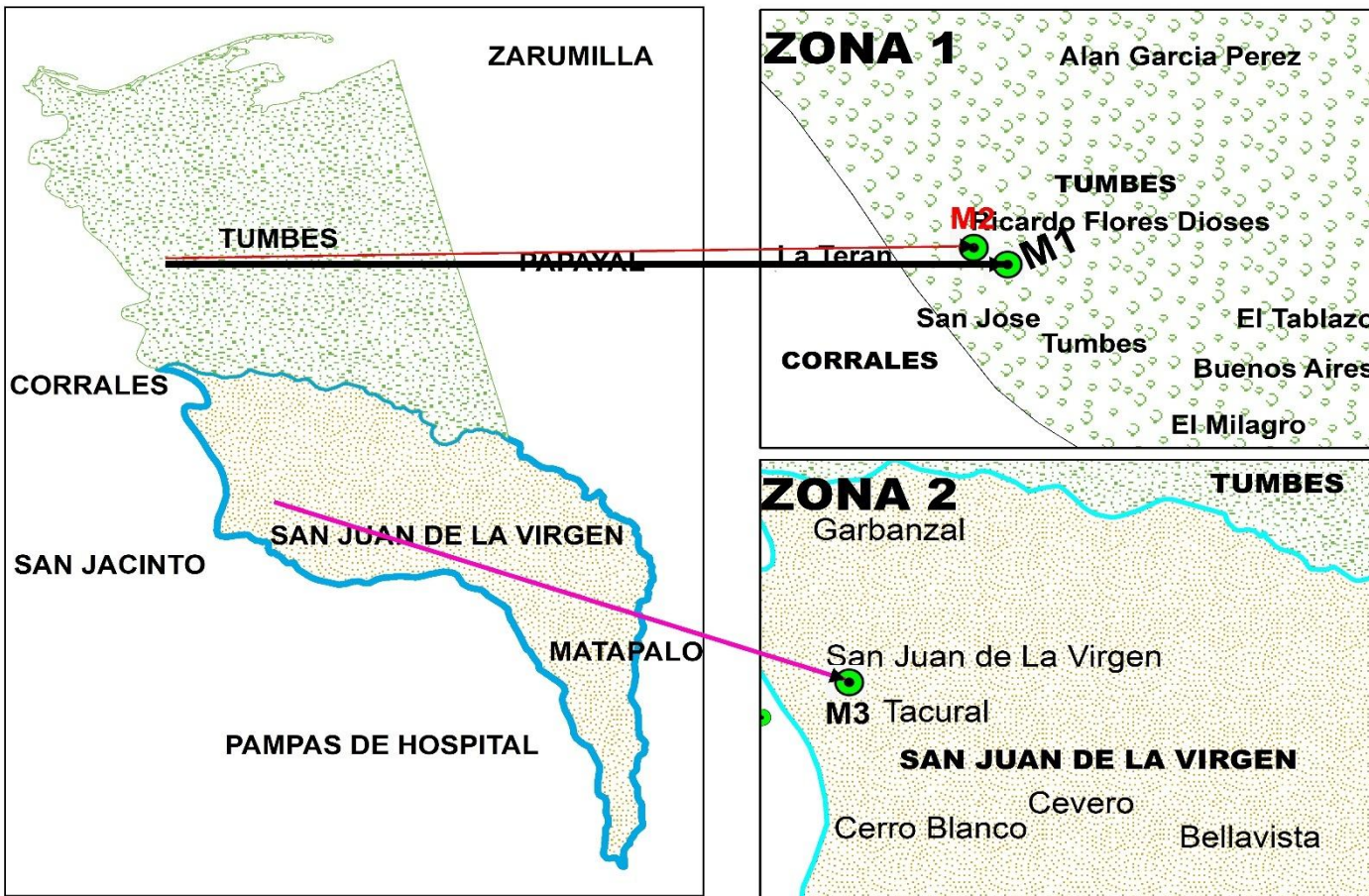
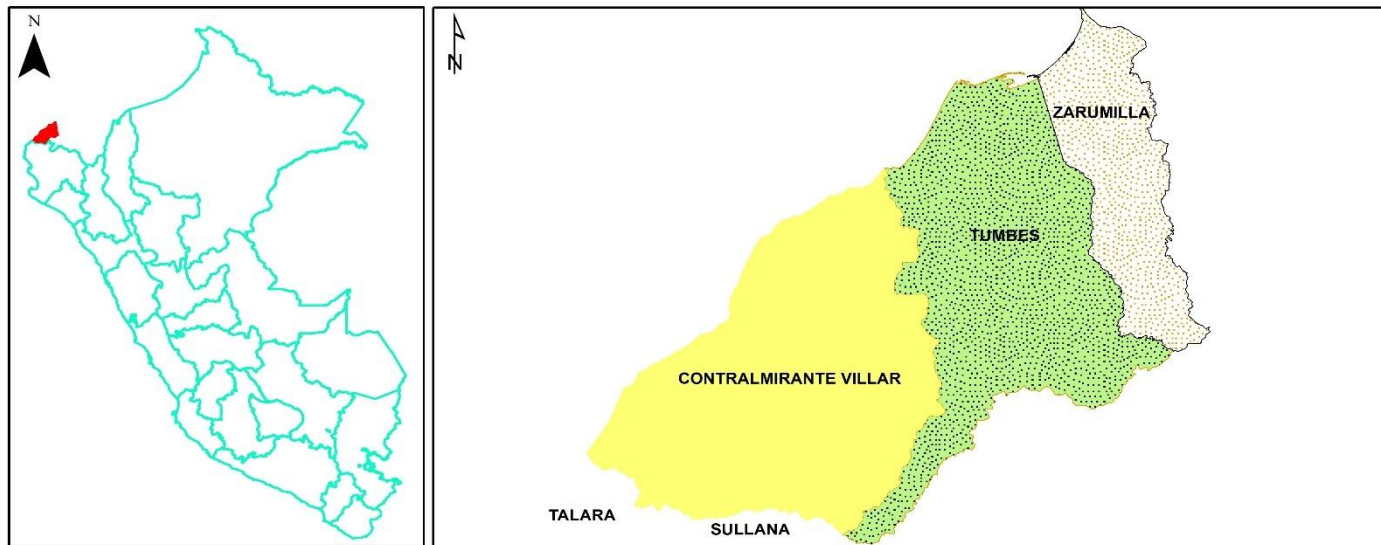
Las actividades de campo se desarrollaron en zonas agrícolas localizadas en el barrio San José (Tumbes), donde se efectuó el muestreo dirigido (M1). En este sector se registró además la presencia de *Momordica charantia*. De manera complementaria, se identificaron poblaciones de *Helianthus annuus* en la localidad de Tacural (M2 y M3), específicamente en una parcela agrícola destinada a cultivos mixtos (**Tabla 1**).

La selección de estos puntos de muestreo respondió a criterios de representatividad y accesibilidad, considerando que los cultivos en ambas localidades dependen del recurso hídrico proveniente del río Tumbes (DIRESA, 2023). En este contexto, el muestreo de *M. charantia* y *H. annuus* adquiere importancia estratégica, dado que su presencia en la zona norte del país es limitada (Pernía et al., 2018). Lo que incrementa el valor estratégico de su muestreo como modelo biológico para la evaluación de tolerancia a MPs (**Fig. 1**).

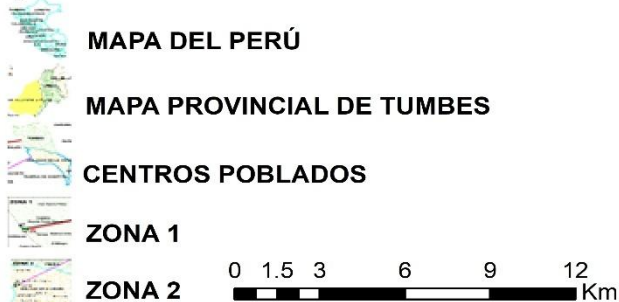
Tabla 1. Ubicación de las zonas de muestreo.

Zona	Código	Este (E)	Norte (N)	UTM	Especie recolectada
Z 1	M1	558524.69 m E	9607794.10 m S	17M	<i>Momordica charantia</i>
Z 2	M2	563287.89 m E	9598764.58 m S	17M	<i>Helianthus annuus</i>
	M3	563795.33 m E	9598160.64 m S	17M	<i>Helianthus annuus</i>

Fig. 1. Mapa de Ubicación Geográfica de muestras.



LEYENDA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE	
MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESPECIES	
ELABORACIÓN: MONTALVAN FLORES, OSWALDO A.	
SISTEMA DE REFERENCIA: WGS84/UTM/Zona 17 S.	
FECHA DE ELABORACIÓN: 30 / 05 / 2025.	
ESCALA: 1: 25 000	LUGAR DE EJECUCIÓN TUMBES



3.3 Recolección del material vegetal y rizosférico

La recolección de muestras se realizó en función a las dos especies de plantas herbáceas, *Momordica charantia* y *Helianthus annuus*, siendo seleccionadas como especies modelo por su presencia en la zona agrícola. En ambos casos se eligen individuos juveniles, en etapa de crecimiento activo, asegurando raíces representativas del sistema rizosférico.

Debido a que la especie *Momordica charantia*, es una especie de maleza rastrera de tamaño reducido, se seleccionó una especie juvenil en vías de crecimiento con elongación recta. Una vez identificada la especie, se realizó una calicata (20 x 20 x 15 cm) en relación de la raíz con el suelo de acuerdo con la metodología de Paiva and Figueredo (2023). Así mismo se logró extraer 40 g de suelo rizosférico siguiendo la guía de Verde (2022), para la continuación experimental.

Una vez obtenido el material rizosférico, se depositó en bolsas plásticas estériles de polietileno, siendo rotulado de acuerdo al lugar muestreado, la localidad, peso de la muestra, fecha establecida, y la especie recolectada. Siendo cada una de estas muestras georreferenciadas (Fig. 2).

Es importante resaltar que los materiales de muestreo (palana, tijera, plumón indeleble, guantes y cinta) fueron previamente desinfectados con alcohol (70%) y se utilizó guantes para recolectar las muestras. Finalmente, las muestras fueron trasladadas en cooler (4°C) al Laboratorio de Biotecnología molecular (LBM) – Universidad Nacional de Tumbes.

Fig. 2 Recolección de muestras



3.1. Preparación del medio y siembra rizosférica.

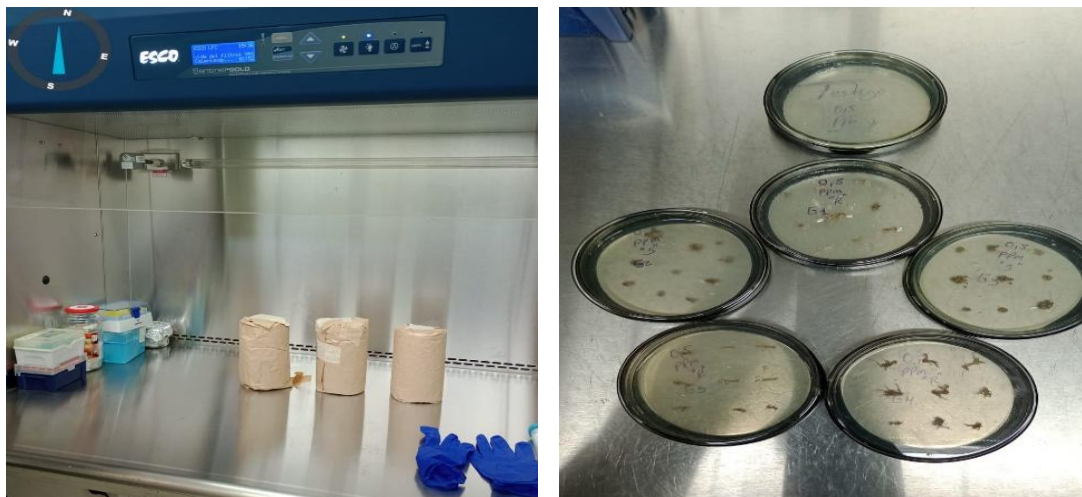
Se empleó un medio de cultivo PDA, siguiendo la formulación estándar, teniendo las siguientes apreciaciones descritas por Toledo and Barroetaveña (2017), con variaciones de Guin-po (2024) y Espinoza et al. (2023), en función a la siembra de la rizosfera.

Una vez preparado el medio PDA, se depositó en una autoclave ($121\text{ }^{\circ}\text{C} \times 20\text{ min}$), con la finalidad de erradicar, todo tipo de presencia contaminante. Asimismo, para inhibir el crecimiento bacteriano se adicionó cloranfenicol (100 mg/L), a partir de una solución madre (10 mg/mL). Una vez enfriado el medio, se incorporó 1 mL de la solución por cada 200 mL de PDA.

El vertido y la siembra se realizaron bajo cámara de flujo laminar, empleando material estéril previamente desinfectado con etanol al 70 % y radiación UV (15 min). Se dispusieron 20 mL de medio por placa Petri, con seis tratamientos, tres placas inoculadas con 2 g de suelo rizosférico, dos con segmentos radiculares de 3 mm, y una placa como control sin inoculación. (Fig. 3).

Luego del proceso de siembra, se enrollaba con la cinta aislante, todo el contorno de los bordes de la placa con la finalidad de incubar (24h) a temperatura ambiente (T°), protegiendo de todo tipo de contaminación aérea al cultivo sembrado.

Fig. 3 Siembra Rizosférica



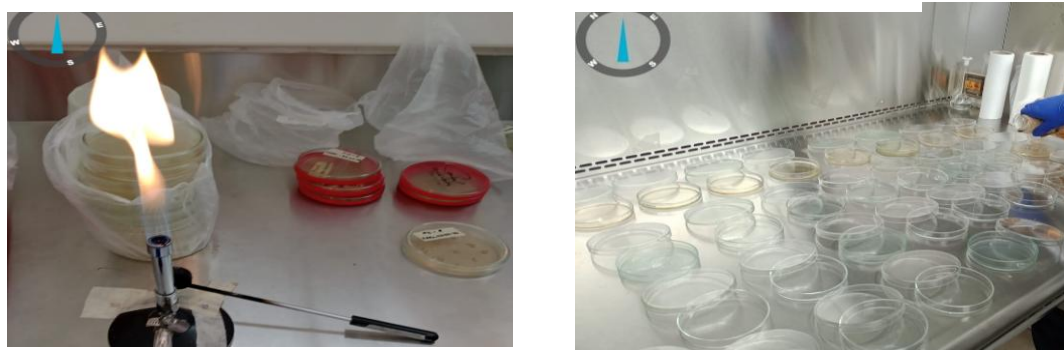
3.2. Aislamiento y purificación

Transcurridas 24 h de incubación en las placas madres (PM), se prepararon 500 mL de PDA, suficiente para 30 placas Petri (pP), esterilizadas en autoclave (121 °C/20 min) y suplementadas con cloranfenicol (1 mL/200 mL).

El procedimiento se realizó en cámara de flujo laminar (CFL), empleando mechero Bunsen. Se recortaron fragmentos micelares de 2 × 2 mm de las PM y se transfirieron a las nuevas placas. En total se sembraron 24 pP, 11 correspondientes a *Momordica charantia*, 11 a *Helianthus annuus*, y 2 controles por grupo.

El aislamiento permitió obtener regiones micelares purificadas en cuatro repeticiones, logrando el crecimiento individual de los organismos fúngicos para su posterior secuenciación molecular (Fig. 4).

Fig. 4. Aislamiento y purificación fúngica.



3.3. Caracterización morfológica

Después de sembrar, purificar y obtener cada uno de los organismos fúngicos en estado de crecimiento. Se realizó una caracterización morfológica, clasificándose, según, Huaman-Pilco et al. (2023), por forma (F), tamaño (Ta), elevación (EI), borde (Bo), superficie (Su) y color (Co). De igual manera una vez obtenido el producto fúngico, se realizaron 3 purificaciones, verificando la replicación y pureza del organismo (Tabla 2).

Adicionalmente se extrajo un pequeño fragmento del micelio, depositándolo en el porta objeto, esparciéndolo y fijándolo frente la flama, así mismo se llevó a cabo una prueba de tinción determinando la estructura microscópica (30 µl x 1 min) de azul-fenol, luego (30 µl x 1 min) de Lugol, lavando los bordes con la pizeta; seguidamente se adiciono, (25 µl x 5 seg) de alcohol, y por último la finalmente 30 µl x 1 min de safranina. Logrando así observar la estructura microscópica de los organismos fúngicos (Morales-Mora et al., 2020).

Tabla 2. *Parámetros evaluados en la caracterización morfológica.*

Morfología	Parámetros	Descripción
Características	Forma	Circular / Irregular / Filamentosa / Rizoide.
	Color	Blanco / Canela / Verde / Negro / Mostaza / Crema.
	Borde	Entero / Ondulado / Lobulado / Filamentoso
	Elevación	Plana / Elevada / Convexa / Crateriforme / Acuminada
	Superficie	Lisa / Mate / Seca / Cremosa / Invasiva

3.4. Análisis molecular

Para la extracción del ADN, fúngico, se utilizó el método CTAB, descrito por Suárez-Contreras (2016), extrayendo (150 – 200mg) del micelio, siendo depositado en un microtúbulo (5ul), macerándolo con una punta modificada, realizando vibraciones en el agitador vórtex (Rslab-6Pro), durante 1 minuto, sedimentando el micelio, depositándolo en un tubo de la centrifuga esterilizado (1,5ml), donde se le transfirió 800 μ l de tampón de extracción fúngica (*Tris – HCl* 0,1 M, pH 8, *EDTA* 10 mM, pH 8, *NaCl* 2,5 M, 3,5), al 2 % de CTAB, se le añadieron 150 μ l de 20 mg/ml de proteinasa K, recibiendo una centrifugación refrigerada (Mikro, 220r) a 10 000 RPM durante 10min, la mezcla se agito en un sistema de alta velocidad en el Rslab-6Pro, durante 5min.

Las muestras se situaron en agua (65 °C durante 30 min). Después se centrifugo (10 000 RPM x 10min), dejando reposar a temperatura ambiente, acto seguido el sobrenadante se mezcló en un volumen igual de *fenol-cloroformo-alcohol isoamil* (25: 24: 1 μ l). Se homogenizaron en el vórtex sumamente (1min), Se retiro el líquido superficial, y se centrifugaron nuevamente las muestras (10 000 RPM x 10min), mezclando el sobrenadante con un volumen de cloroformo (24 μ l) y alcohol isoamil (1 μ l).

Se centrifugó nuevamente bajo los parámetros establecidos, recogiendo el sobrenadante y añadiéndole un volumen igual de isopropanol refrigerado a una T° muy baja. Las muestras se fueron incubadas (-20 °C x 1h). Pasado ese tiempo, centrifugamos (13 000 RPM x 15min), logrando sedimentar el ADN. Se decanto y lavo el sedimento (ADN) con etanol (800 μ l al 70%), centrifugándose

(10 000 RPM x 10min), luego el ADN, fue secado y disuelto en 200 μ l de tampón TE (Tris – HCl 10 mM, pH 8, EDTA 1 mM).

Finalmente se agregaron 5 μ L de RNasa A (20 mg/mL) a la muestra, se agito en el vórtex durante 2min, dejando incubar (37 °C x 1h). Al finalizar ese tiempo, se recupero el ADN, y se dejo secar a T° ambiente, luego se reconstituyo, en TE (200 μ l), para conservarlo y ser utilizado en la PCR.

La calidad del sedimento extraído, se obtuvo mediante geles de agarosa (electroforesis 0.8%), seguida de una tinción de EtBr (bromuro de etidio).

La pureza del ADN; se evaluó según Gratero et al. (2023), a partir de la relación (A260/A280 nm), y el rendimiento se obtuvo mediante la absorbancia (260/230 nm) utilizando un espectrofotómetro (**Tabla 3**). Se consideraron muestras de alta pureza aquellas que presentaron valores de A260/A280 entre 1.8 y 2.0, y de A260/A230 entre 2.0 (Joseph Sambrook, 2001; Ritalahti et al., 2010).

Tabla 3. Relación entre la Absorbancia y rendimiento.

Muestra	Concentración ADN (μ g/ml)	Absorbancia 260/280 (nm)	Absorbancia 260/230 (nm)

3.5. Amplificación de la región ITS

Se realizó una amplificación de la secuencia del ADN extraigo, mediante la reacción en cadena (PCR), donde las concentraciones finales (**Tabla 4 y 5**), fueron configuradas en un determinado volumen (25 μ l), adicionalmente se programó 35 ciclos en el termociclador (Miniamp plus, 500w) (Dresch et al., 2015), a una T° pre-desnaturalizada (95 °C x 5min), seguidos de 35 ciclos en etapa de desnaturalización (95°C x 30seg), así mismo el alineamiento se desarrolló en 35 ciclos (57 °C x 50seg), de igual manera la extensión polimerización proteica se marcó en 72 °C x 1min 45 seg, finalmente se realizó el proceso final de la extensión 72 °C x 5min (Corbisier et al., 2007).

Tabla 4. Concentración inicial de Primer

Primer	Secuencia	Autor
ITS1	5' – TCCGTAGGTGAACCTGCGG – 3'	(Lee et al., 2014)
ITS4	5' – TCCTCCGCTTATTGATATGC – 3'	(Borneman & Hartin, 2000)

Tabla 5. Concentración final (PCR)

Reactivos	Volumen (μl)	Concentración
ADN molde	2.0	-
<i>H₂O libre de nucleasa</i>	15	1,5 ml
<i>Buffer 10X</i>	2.5	10 mM Tris – HCl, 50 mM KCl, 1.5 mM MgCl ₂
<i>MgCl₂</i>	1.5	25 μ l
<i>dNTPs</i>	0.5	10 mM
<i>Primer ITS1</i>	1.0	10 mM
<i>Primer ITS4</i>	1.0	10 mM
Taq polimerasa	1.0	5 U/ μ L

3.6. Electroforesis

Es el procesamiento que permite separar moléculas según su carga, verificando la proyección de la PCR y la amplificación de los elementos analizados, consistió en preparar el gel de agarosa (1.5 %, con TAE 1 X), seguidamente se vertió en el molde por 30min dejando solidificar (Navarro & Flores, 2019). Se cargaron cada uno de los productos de la reacción polimérica en la bandeja polimérica (Modelo DW-SPB), (homogenizando las muestras con 2 buffer de carga y 10 ampliaciones), intercalándolo junto al Sybr safe, dándole tinción a las hebras de ADN migrar en la bandeja de electroforesis, siendo reveladas mediante la inflorescencia Blu (Maximiliano et al., 2018).

3.7. Secuencia y diagnostico filogenético

Al tener la confirmación de los productos de PCR en el transluminador de luz azul (Smartblue 465 nm), se preparó amplicones a razón de la intensidad de la banda, fuerte, media, y leve (D 1:5; D 1:1; muestra sin dilución), siendo enviados a una prueba de secuencia, en el Laboratorio AGROACUANALISIS, la secuencia de los análisis juntos con los lineamientos requeridos, se desarrollaron mediante los softwares BLAST Y MEGA.

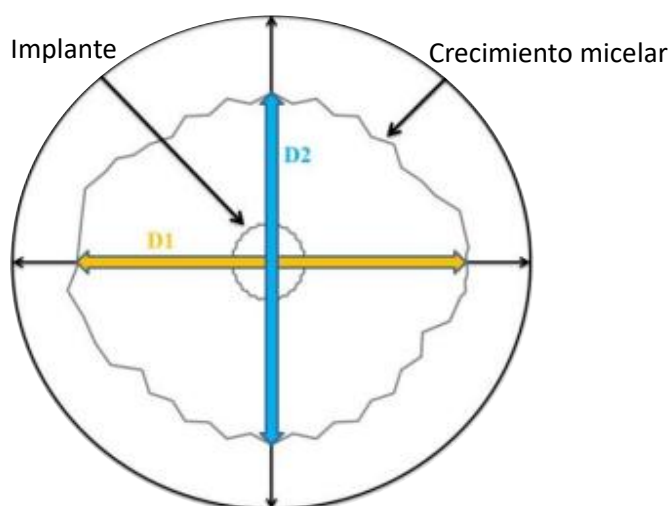
3.8. Pruebas de concentración mínima inhibitoria (MIC)

Permiten determinar la menor concentración del cadmio (Cd) capaz de inhibir el crecimiento fúngico, así como establecer el rango de tolerancia micelial en condiciones de exposición (Pernía et al., 2021). Estas pruebas se realizaron en secuencia con la identificación molecular, debido a que se extrajo un trozo replicable de micelio (2mm x 2mm) de cada una de las muestras (Fazli et al., 2015). Las primeras 22 muestras junto con los 2 controles por cada grupo, sirvieron como índice de crecimiento sin presencia del metal, teniendo un parámetro de medición de 5 días, dejando incubar las muestras a temperatura ambiente (Correa et al., 2017).

El MCD, (diámetro de crecimiento micelar), se expresó en (mm), y se calculó cada 24h (Henaó & Ghneim-Herrera, 2021). Este procesamiento se realizó en la proyección del MCD sin metal (**Fig. 5**), y de igual manera una vez obtenida la data de crecimiento sin agentes contaminantes (Zeng et al., 2012), se replicaron en pP estériles y nuevas (circunferencia pP: 85mm) las 22 muestras fúngicas junto con 2 controles por grupo, aplicándoles una serie de concentraciones con Cd (0.5; 2; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; y 100mg/L).

La evaluación del MCD, se realizó mediante el siguiente esquema:

Fig. 5 Esquema para evaluar el crecimiento Micelar.



$$MCD (mm) = \frac{(D1 + D2)}{2}$$

Donde:

D1 = MCD (Vertical).

D2 = MCD (Horizontal).

De igual manera se precisa, que antes del análisis metálico, se realizó una evaluación del crecimiento sin metal (s/metal) por cada organismo, realizando 3 mediciones por cada crecimiento (s/metal), con la finalidad de obtener un rango de crecimiento sin la presencia del agente contaminante, obteniendo un promedio, que nos permitió calcular el Porcentaje de Inhibición (PI%), Diferencia Absoluta de MLGR (Δ MLGR).

Así mismo se realizó un análisis cuantitativo de manera simple, obteniendo una data más precisa del crecimiento diario del micelio, debido a la variación del tiempo estudiado (*mm/día*). Las variables que se analizaron son:

3.8.1 Tasa del crecimiento lineal simple (MLGR),

Se utilizó para calcular la velocidad media de crecimiento micelial entre el primer y último día de medición, comparando condiciones con y sin metal, según, Pratt et al. (2002):

$$MLGR = \frac{D_f - D_i}{D_t - 1}$$

equivalencias:

D_i = Día inicial c/s metal

D_f = Día final c/s metal

$D_t - 1$ = Días totales menos 1 día.

3.8.2 Tasa de crecimiento diario

Se aplicó para estimar los incrementos de diámetro micelial entre días consecutivos y obtener la media de crecimiento en intervalos cortos, según, Wibowo et al. (2007):

$$MLGR \text{ diaria} = \frac{1}{4} \sum_1^4 (D_{i+1} - D_i)$$

equivalencias:

D_i = Diámetro del micelio en el día i (en mm).

D_{i+1} = Diámetro en el día siguiente al día i .

Σ = Suma los incrementos diarios desde el día 1 al día 4 (4 intervalos).

3.8.3 Tasa de crecimiento diario promedio (TCD o MLGR diaria)

Se empleó para obtener un valor representativo del crecimiento fúngico diario a lo largo de los cinco días de evaluación, reflejando la tendencia general, según, Sánchez (2010):

$$TCD = \frac{(D_2 - D_1) + (D_3 - D_2) + (D_4 - D_3) + (D_5 - D_4)}{D_t - 1}$$

equivalencias:

D_1, \dots, D_5 = Diámetro del crecimiento micelial medido en los días respectivamente (mm).

t = Número total de días de medición. En este caso, $t = 5t$.

$D_t - 1$ = Días totales menos 1 día.

3.8.4 Porcentaje de inhibición (PI%)

Fue utilizado para cuantificar el grado de reducción del crecimiento micelial ocasionado por la presencia del metal, expresado en porcentaje respecto al control sin metal, según, Fulekar and Singh (2010) y Becerra et al. (2009):

$$PI\% = \left(1 - \frac{MLGR_{(C/Metal)}}{MLGR_{(S/metal)}} \right) \times 100$$

equivalencias:

PI% = Porcentaje de inhibición del crecimiento fúngico frente al metal.

$MLGR_{(Con\ metal)}$ = Media de la tasa de crecimiento lineal expuesto al metal (mm/día).

$MLGR_{(sin\ metal)}$ = Media de la tasa de crecimiento lineal del hongo sin metal (mm/día).

3.8.5 Δ Diferencia significativa

Se aplicó para determinar la magnitud de la disminución en la tasa de crecimiento micelial al comparar directamente el tratamiento con metal frente al control, según, Gadd (2007):

$$\Delta MLGR = MLGR_{(s/metal)} - MLGR_{(C/metal)}$$

equivalencias:

$\Delta MLGR$ = Diferencia en la tasa de crecimiento lineal (mm/día).

$MLGR_{(Con\ metal)}$ = Media de la tasa de crecimiento lineal expuesto al metal (mm/día).

$MLGR_{(sin\ metal)}$ = Media de la tasa de crecimiento lineal del hongo sin metal (mm/día).

3.8.6 Tasa de Crecimiento Relativo (RGR)

Se utilizó para evaluar el crecimiento proporcional del hongo, considerando la variación logarítmica del diámetro entre el inicio y el final del experimento, según, Cruz et al. (2018):

$$RGR = \frac{\ln(D_5) - \ln(D_1)}{D_t - 1}$$

Equivalencias:

RGR = Tasa de crecimiento relativo del hongo (mm/día).

$\ln(x)$ = Logaritmo natural (logaritmo en base x)

D_1 = Diámetro del crecimiento del hongo en el día 1 (en mm)

D_5 = Diámetro del crecimiento del hongo en el día 5 (en mm).

t = Día final del experimento. En tu caso, ($t = 5$); por lo tanto $t - 1 = 4$.

3.8.7 Regresión lineal simple

Fue aplicada para modelar el crecimiento micelial en función del tiempo, obteniendo la pendiente de la recta como una estimación ajustada de la MLGR, según, Reyes et al. (2011), Se expresa:

$$y = a + b \cdot x$$

Equivalencias:

y = diámetro del hongo (mm)

x = días de crecimiento.

b = pendiente de la recta = MLGR por regresión

a = intercepto (valor de y cuando x = 0)

Para la calcular la pendiente (b) se formula:

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

3.8.8 Área bajo la curva (AUC)

Se aplicó para calcular el crecimiento acumulado de los hongos durante todo el periodo experimental, integrando los valores de diámetro obtenidos en cada día de medición, según, Pruessner et al. (2003):

Se aplicará usando la regla de integración Simpson o trapezoidal. Para esta ocasión usaremos la regla trapezoidal, formulándose:

$$AUC = \int_1^5 y(x) dx \approx \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(x_{i+1} - x_i)}{2} \cdot (y_i + y_{i+1})$$

y(x) = Función que representa el crecimiento micelial en función del tiempo

$\int_1^5 y(x) dx$ = Integral definida entre el día 1 y 5. Con una suma discreta (trapecios).

x_i = Día i de medición (por ejemplo: día 1, 2, 3, 4, 5).

y_i = Diámetro del crecimiento micelial (en mm) medido en el día x_i .

n = Número total de puntos de medición en este caso (n = 5 días)

$x_{i+1} - x_i$ = diferencias entre 2 días consecutivos.

$y_i + y_{i+1}$ = Suma de los diámetros medidos en días consecutivos (área del trapecio).

\sum = Suma de todos los trapecios entre los pares de días.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización morfológica

El análisis se centra en la caracterización morfológica macroscópica de los aislados, considerando sus principales atributos coloniales de los 22 organismos fúngicos, de los cuales 11 provienen de la rizosfera de *Helianthus annuus* (girasol) y 11 de la rizosfera de *Momordica charantia* (papayita de soña), los cuales se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Descripción de las características morfológicas

Código	Forma	Color	Borde	Elevación	Superficie
<i>Momordica charantia</i>					
P1	IR	VB	LO	CR	LI
P2	FI	B	FI	EL	IN
P3	CI	VAB	E	EL	RU
P4	FI	N	O	EL	IN
P5	CI	VB	E	CR	RE
P6	RA	N	E	CR	RU
P7	IR	VAM	FI	PL	CRE
P8	IR	VB	LO	CR	CRE
P9	RA	N	LO	AC	IN
P10	CI	VAB	E	EL	RU
P11	RA	N	E	CR	RU
<i>Helianthus annuus</i>					
G1	CI	VAB	E	PL	RU
G2	IR	VAB	FI	CR	RU
G3	CI	CB	E	PL	CRE
G4	CI	VAB	FI	CR	S
G5	RA	C	ON	EL	IN
G6	RA	B	ON	EL	IN
G7	FI	CN	ON	CO	IN
G8	IR	VB	LO	CR	LI
G9	CI	VB	FI	CR	RU
G10	CI	VB	FI	CR	RU
G11	CI	VB	FI	CR	RU

Forma: IR (Irregular), FI (Filamentosa), CI (Circular), RA (Rizoidal).

Color: BI (Blanco), VB (Verde con bordes blancos), VAB (Verde con anillos blancos), N (Negro), VAM (Verde con anillos marrones), CB (Crema blanquecino), C (Crema), CN (Ceniza con centro negro).

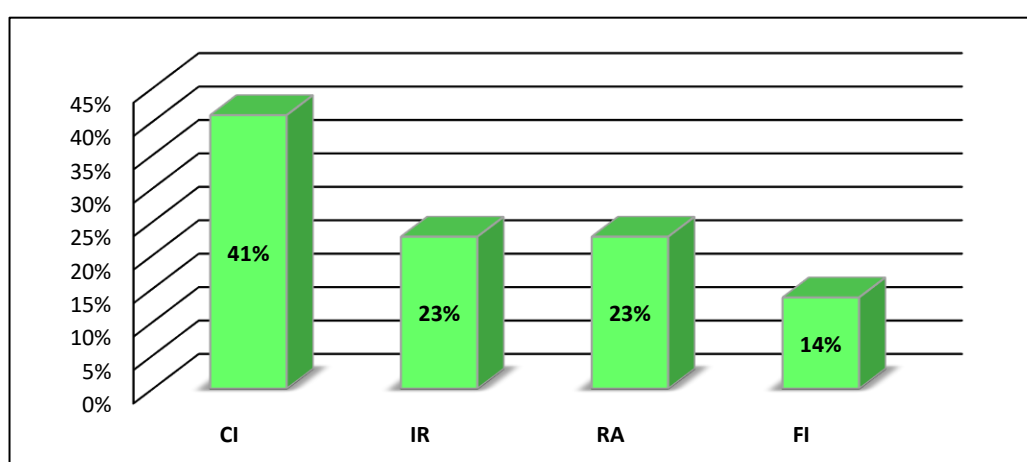
Borde: LO (Lobulado), FI (Filamentoso), E (Entero), ON (Ondulado).

Elevación: CR (Crateriforme), EL (Elevada), PL (Plana), AC (Acuminada), CO (Convexa).

Superficie: Li (Lisa), RU (Rugosa), SE (Seca), CRE (Cremosa), AL (Algodonosa).

De acuerdo con el análisis morfológico de los aislados fúngicos, se realiza una representación gráfica de las variables analizadas, todos los gráficos que se realizan son en base a la información de la **Tabla 6**.

Fig. 6 Distribución porcentual de la forma fúngica de aislamientos



Se observó en la **Tabla 6**, de acuerdo a la descripción morfológica, que el 41 % de las colonias presentó una forma circular (CI), seguido por un 23 % con forma irregular (IR) y Rizoidal (RA), respectivamente. El 14 % restante mostró una forma filamentosa (FI), esto se evidencia en la (**fig. 6**).

Esta caracterización morfológica indica una marcada predominancia de colonias circulares, seguida por formas irregulares y rizoides, lo cual concuerda con lo reportado por Chowdhury et al. (2015), quienes destacan que los hongos filamentosos suelen presentar colonias con una morfología diversa, moduladas por factores genéticos y condiciones del medio de cultivo. La variabilidad en la forma de las colonias puede reflejar estrategias de colonización y expansión micelial, así como diferencias en la producción de metabolitos secundarios o en la retención de humedad, atributos estrechamente vinculados con la fisiología del hongo y su adaptación al entorno (Matos et al., 2024; Seerat et al., 2022).

Finalmente, esta diversidad morfológica no solo enriquece la caracterización taxonómica, sino que también aporta información clave sobre la ecología y comportamiento de los hongos en distintos ambientes. Como destaca,

Geremew et al. (2024), la observación de estos rasgos es crucial para una identificación preliminar eficaz y para inferir el potencial biotecnológico de los aislados, especialmente en estudios aplicados como la biorremediación.

Fig. 7 Distribución porcentual del color fúngico

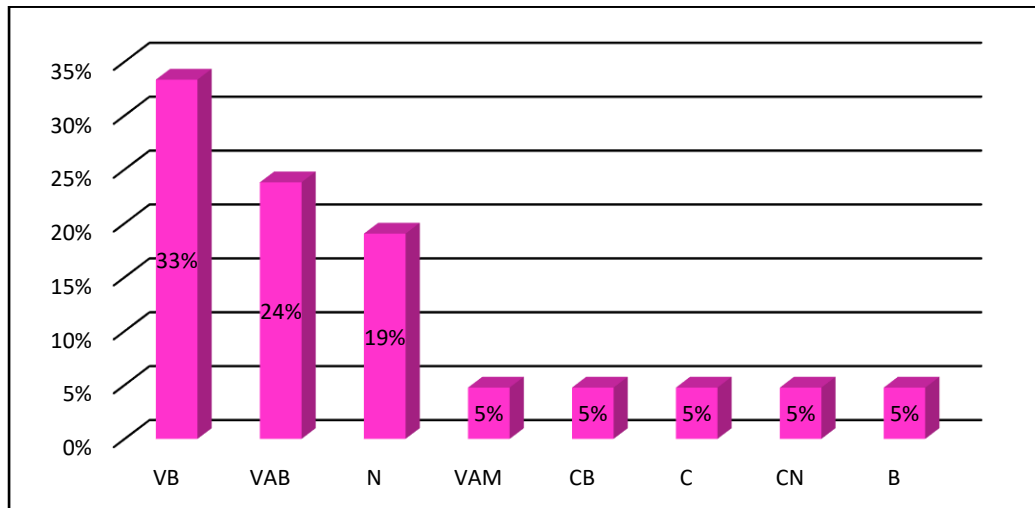
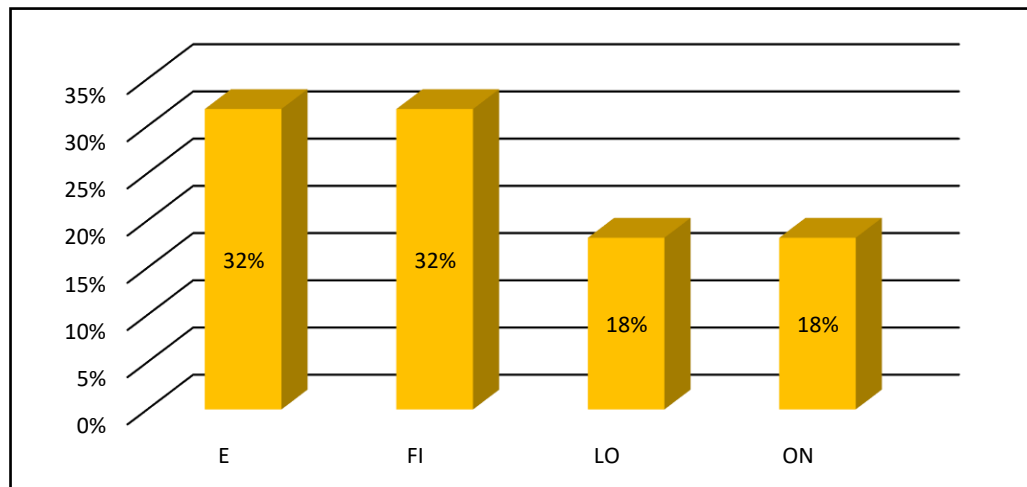


Fig. 8 Distribución porcentual del borde micelar



En cuanto a la coloración de los aislados fúngicos, se observó en la **fig. 7**, que el mayor porcentaje (33 %) correspondió a colonias de color verde con bordes blancos (VB), seguido por un 24 % de colonias verdes con anillos blancos (VAB), y un 19 % de colonias de color negro (N). En menor proporción (5 %), se identificaron colonias con coloraciones verde con anillos marrones (VAM), crema blancuzca (CB), crema (C), ceniza con centro negro (CN) y blanco (BL). Asimismo, los bordes presentaban una característica entera y filamentosa (FI) con un 32%, Lobulado (LO) y ondulado (ON) con un (18%) respectivamente (**fig. 8**).

Según, Bhusal et al. (2017), la diversidad en la coloración de las colonias fúngicas observada en este estudio, predominando los tonos verdes con bordes blancos (33 %) y anillos blancos (24 %), refleja una amplia variabilidad fenotípica entre los aislados. Esta variabilidad no es meramente estética, sino que representa adaptaciones funcionales reguladas por factores genéticos y ambientales. Asimismo, la expresión de pigmentos puede influir directamente en la fisiología del hongo, su interacción con el ecosistema y la producción de metabolitos secundarios.

Además, Abadie et al. (2015), indican que la pigmentación puede actuar como un mecanismo protector ante condiciones adversas, regulando la captación de luz, la protección contra radiación UV y el estrés oxidativo. En particular, pigmentos como la melanina, asociada a colonias de color negro, han sido vinculados con una mayor resistencia frente a metales pesados y condiciones extremas, lo que sugiere que los aislados oscuros podrían tener un papel relevante en contextos de biorremediación.

En conjunto, la variabilidad en color y forma sugiere que estos caracteres podrían estar correlacionados con la tolerancia ambiental, la competencia microbiana y la potencial funcionalidad en procesos como la biorremediación o la simbiosis con plantas. Por ello, comprender la morfología macroscópica no solo es relevante para la taxonomía tradicional, sino también para inferir posibles roles ecológicos y biotecnológicos de los aislados.

Fig. 9 Distribución porcentual del tipo de elevación

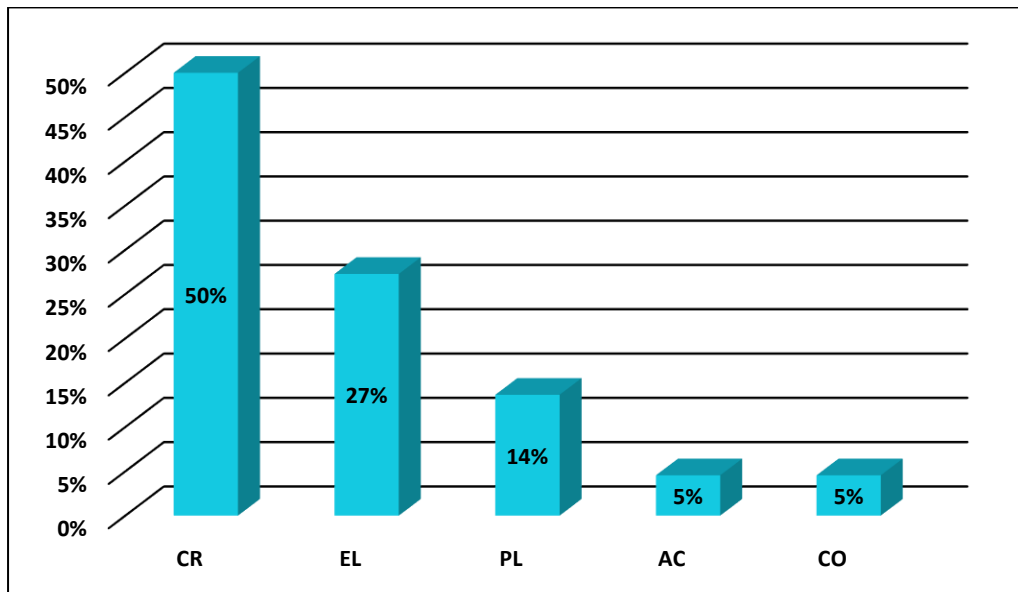
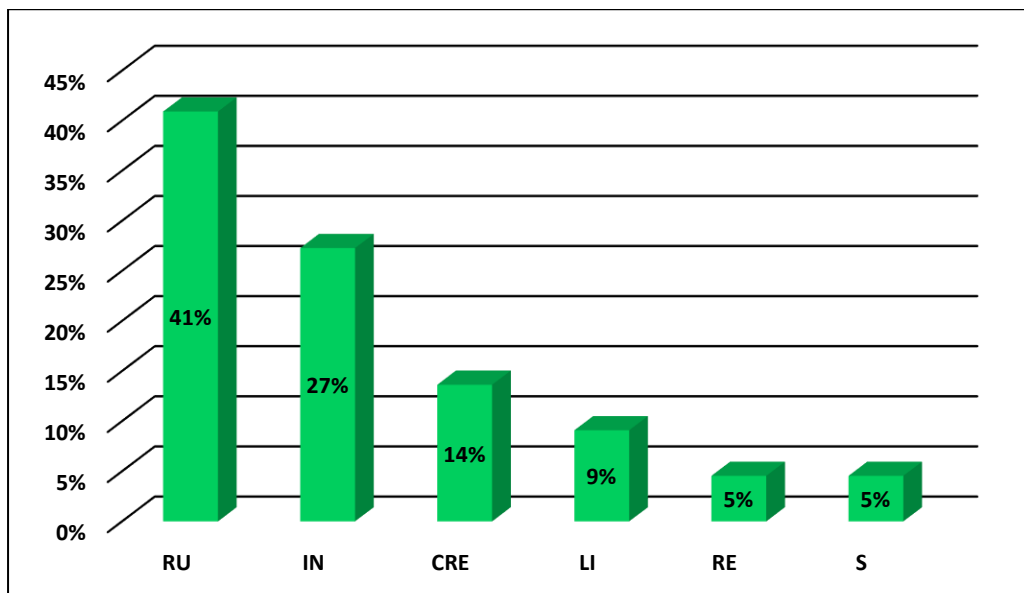


Fig. 10 Distribución porcentual del tipo superficie micelar



Las características de elevación (**fig. 9**), también son resaltantes con un 50% las crateriformes (CR), 27% las Elevada (EL), 14% las Planas (PL), 5% las Acuminada (AC) y Convexas (CO). Respecto a la superficie de las especies (**fig. 10**), la mayoría de hongos, presento una superficie rugosa (41%), el 27% una superficie invasiva (IN), el 14% cremosa (CRE), el 9% lisa (LI), y el 5% reseca (RE).

Estas características morfológicas son relevantes, ya que la elevación y superficie de las especies pueden reflejar adaptaciones ecológicas y estrategias de supervivencia en distintos ambientes (Kong et al., 2018).

De igual manera, Medel (2013), especifica que la diversidad morfológica no solo se relaciona con la forma y superficie, sino también se correlaciona con aspectos eco-evolutivos y funcionales de los aislados.

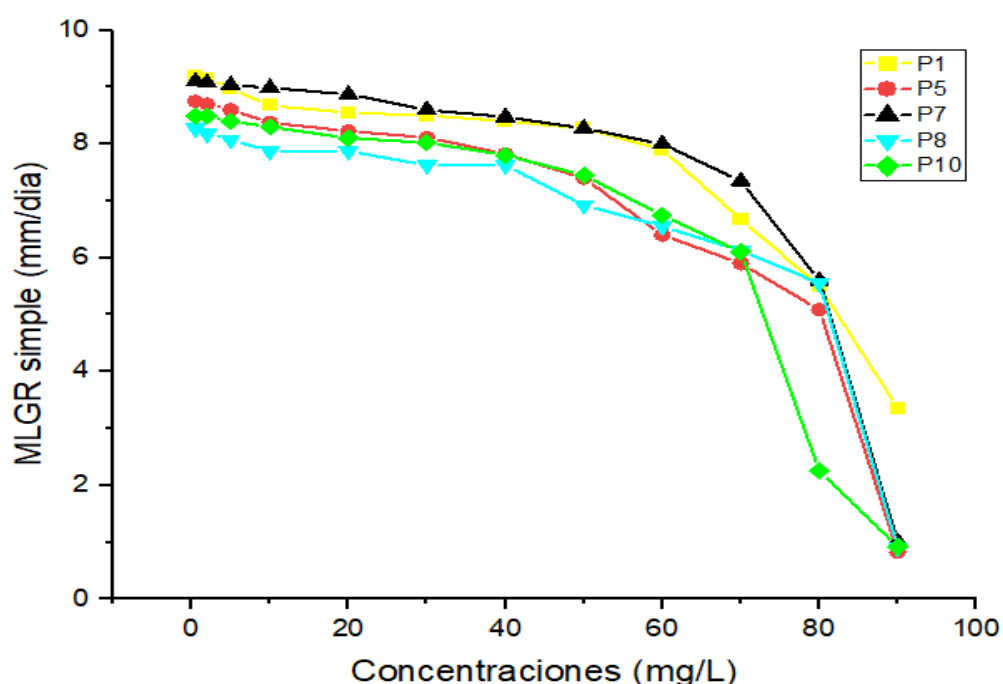
Cabe resaltar que la presencia que organismos fúngicos se sitúa usualmente en la rizosfera y en otras partes de la planta de la gran mayoría de especies vegetales, esto se debe a la asociación simbiótica en acción benéfica tanto del hongo como la planta, teniendo en cuenta que las especies tienen características diferenciables, comportamientos asimétricos, identidad variable, y secuencia diferencial (Sumin et al., 2025).

Los parámetros evaluados permiten caracterizar la diversidad fúngica asociada a especies vegetales como *Momordica charantia* y *Helianthus annuus*, facilitando la identificación de taxones presentes en el suelo (Ontivero et al., 2022). Las comunidades de hongos filamentosos juegan un rol ecológico crucial, participando en procesos de nutrición, translocación de compuestos y simbiosis vegetal, factores esenciales para la resiliencia y adaptación biológica. Ante el estrés por metales pesados, algunas especies fúngicas muestran mecanismos de tolerancia que contribuyen a la protección fisiológica de las plantas, actuando como barreras bioquímicas antes del ingreso de contaminantes al sistema vegetal (Jung et al., 2012).

4.2 Concentración mínima inhibitoria (MIC)

Para determinar la capacidad de tolerancia de los hongos aislados se procedió a realizar las pruebas de MIC, donde se permite conocer el umbral mínimo de inhibición en función al crecimiento fúngico, frente a diferentes concentraciones metálicas, en total 13 variaciones de la solución metálica, teniendo como resultado que la gran mayoría de los aislados presentan una tolerancia entre 90 a 100 mg/L.

Fig. 11 Inhibición del crecimiento micelial de hongos rizosféricos de *Momordica charantia* frente a Cd (90 mg/L).



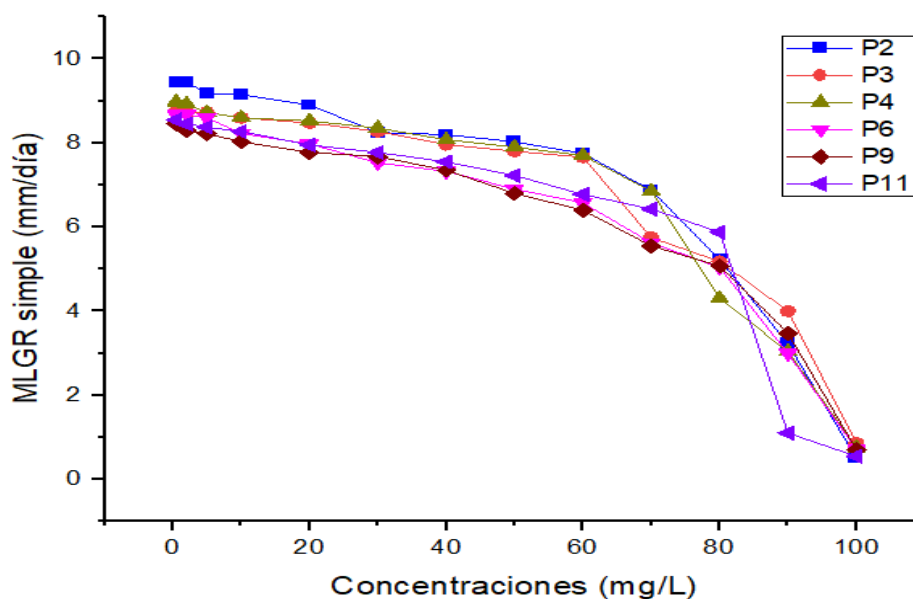
El gráfico (**Fig. 11**), muestra la respuesta del crecimiento micelial (expresado en mm/día) de cinco aislados (P1, P5, P7, P8 y P10) frente a 13 concentraciones de cadmio (0.5 a 100 mg/L). Estos aislados presentan una inhibición progresiva del crecimiento conforme aumenta la concentración de Cd, con una reducción completa del crecimiento (0 mm/día) a una tolerancia máxima de 90 mg/L. Las líneas de tendencia permiten visualizar el umbral de toxicidad para cada aislado, destacando su potencial uso en ambientes contaminados con Cd.

Este comportamiento sugiere la presencia de mecanismos de resistencia al cadmio, como la producción de sideróforos que forman complejos con metales pesados, reduciendo su toxicidad (Adumanya et al., 2022; Kurucz et al., 2018).

Así mismo, Ni et al. (2018), describe que la producción de antioxidantes juega un papel crucial en la mitigación de este tipo de toxicidad, y los aislados pueden

demostrar una capacidad elevada para generar tales compuestos en respuesta a la exposición al Cd. En concordancia Rahman et al. (2021), especifica que la presencia de antioxidantes, como las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y peroxidasa (APX), actúan como compuestos activos que le permiten al hongo sobrevivir y prosperar en ambientes contaminados.

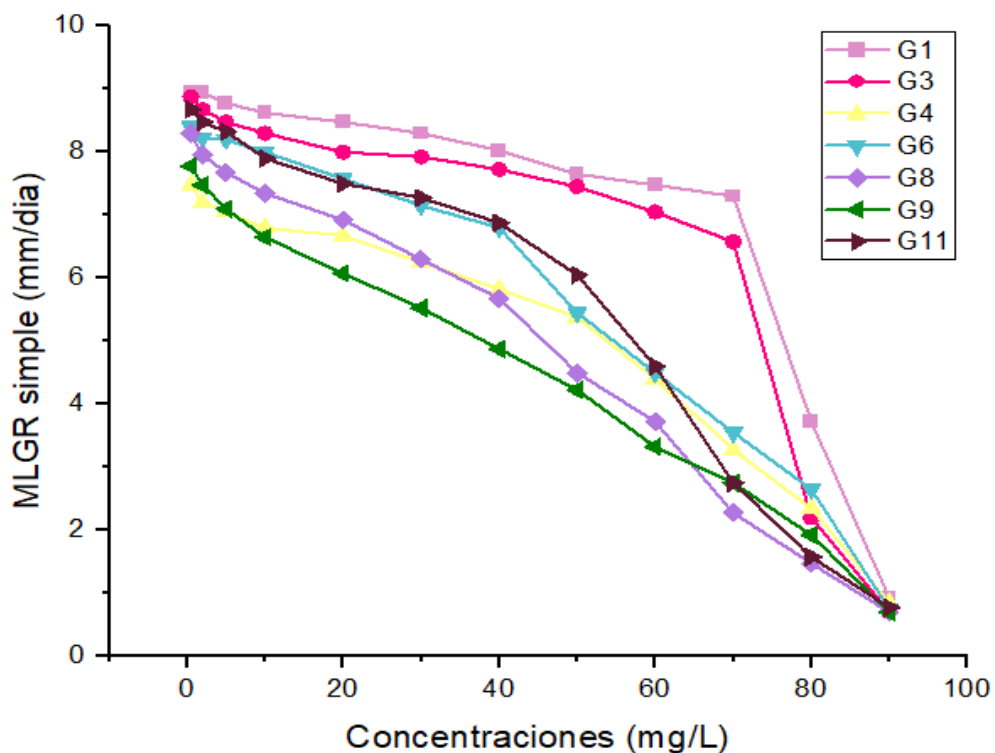
Fig. 12 Inhibición del crecimiento micelial de hongos rizosféricos de *Momordica charantia* frente a Cd (100 mg/L).



El gráfico (**Fig. 12**), muestra la respuesta en crecimiento micelial (mm/día) de seis aislados (P2, P3, P4, P6, P9 y P11) frente a concentraciones crecientes de cadmio (0.5 a 100 mg/L). Todos los aislados presentaron una disminución progresiva en su MLGR a medida que aumentó la concentración del metal, observándose un crecimiento hasta en 100 mg/L, ese fue el rango de tolerancia máximo que presentaron los aislados. Esta tendencia refleja una tolerancia moderada, con diferencias sutiles entre aislados en su capacidad para resistir la toxicidad del cadmio.

En contraste, Cartaya - Rubio et al. (2024), sugieren que la inmovilización de metales pesados se puede lograr a través de la formación de complejos en las paredes celulares de los hongos, así como por medio de proteínas metalotioneínas que se secretan para quelar estos metales, disminuyendo así sus efectos tóxicos en el organismo del hongo.

Fig. 13 Inhibición del crecimiento micelial de hongos rizosféricos de *Helianthus annuus* expuestos a Cd (90 mg/L).

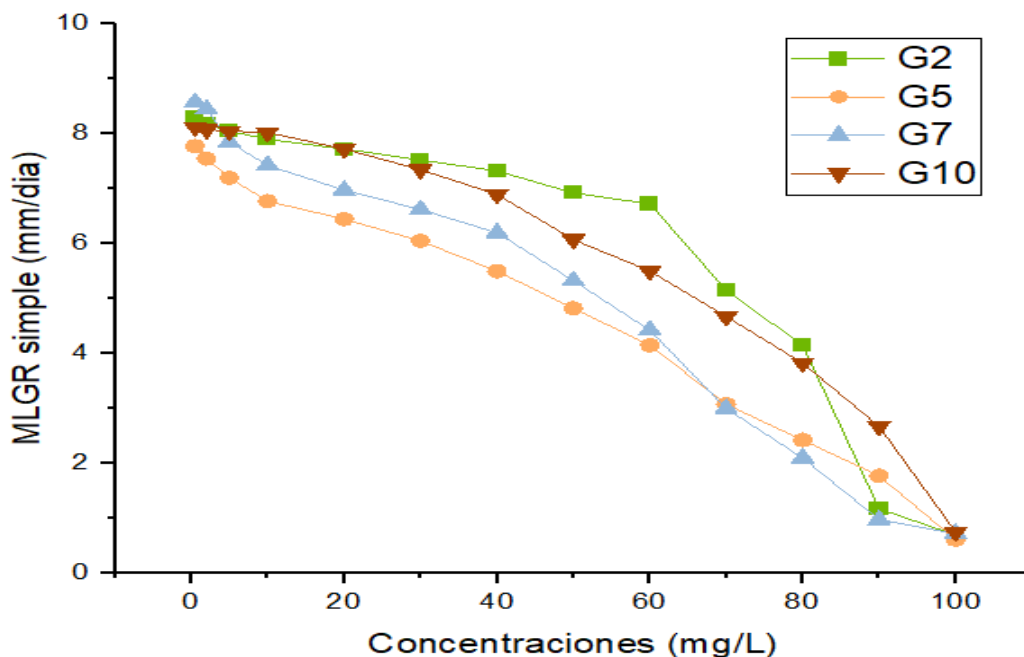


El análisis gráfico (**fig. 13**), evidenció diferencias en la tolerancia al metal entre los aislados fúngicos. G1 y G3 presentaron alta tolerancia, con crecimiento sostenido hasta 80 mg/L y residual a 90 mg/L. En contraste, G4, G6, G8, G9 y G11 mostraron sensibilidad creciente, con inhibición significativa desde 40 mg/L y ausencia de crecimiento a 90 mg/L. Estos resultados permiten clasificar los aislados según su tolerancia y seleccionar candidatos con potencial en biorremediación, los aislados más prometedores para estudios posteriores de biorremediación o aplicaciones biotecnológicas en ambientes contaminados.

Esta capacidad de tolerancia, Acosta et al. (2007), la relaciona con su habilidad para acumular este metal en su biomasa, un proceso que involucra la interacción de diversas estructuras celulares y macromoléculas como la quitina y la melanina. Estas macromoléculas pueden contribuir a la estabilización del Cd, protegiendo al hongo de sus efectos nocivos.

Asimismo, se ha demostrado que la exposición al cadmio induce respuestas adaptativas que pueden incluir la modulación de la expresión de genes relacionados con el transporte y la detoxificación de metales pesados, lo cual refuerza las vías de resistencia fúngica (Pineda & Gómez-Rodríguez, 2016).

Fig. 14 Inhibición del crecimiento micelial de hongos rizosféricos de *Helianthus annuus* expuestos a Cd (100 mg/L).



El gráfico (**fig.14**), presenta la tasa de crecimiento lineal medio (MLGR), de cuatro aislados fúngicos (G2, G5, G7 y G10) en función de crecientes concentraciones del metal (0–100 mg/L). Se observa una tendencia general decreciente en el crecimiento de todos los aislados a medida que aumenta la concentración del metal, indicando un efecto tóxico progresivo.

Entre los aislados evaluados, G2 mostró la mayor tolerancia, manteniendo tasas de crecimiento superiores a 6 mm/día hasta aproximadamente 70 mg/L y conservando crecimiento residual por encima de 2 mm/día incluso a 90 mg/L. En contraste, G5 presentó una mayor sensibilidad, con una disminución más pronunciada del crecimiento desde las primeras concentraciones y una tasa inferior a 4 mm/día a 60 mg/L. Los aislados G7 y G10 exhibieron un comportamiento intermedio, con una reducción paulatina.

Las representaciones graficas de los aislados, nos permite apreciar que la resistencia a metales pesados como el Cd, no solo se limita a mecanismos de absorción y quelación, sino que puede incluir tipos de resistencia más complejos, que involucran respuestas fisiológicas y bioquímicas específicas frente a la toxicidad de estos compuestos en el entorno. Por eso, Guaman et al. (2022), señala que la combinación de diferentes estrategias, como la producción de metabolitos secundarios y la remodelación de la arquitectura celular, son fundamentales para entender cómo ciertos hongos pueden sobrevivir y prosperar en condiciones de alta toxicidad por cadmio.

4.3 Rendimiento y absorbancia

Previo al análisis molecular, se realizó la cuantificación de los ácidos nucleicos extraídos con el objetivo de evaluar la calidad y cantidad del ADN fúngico. Para ello, se midieron los valores de absorbancia a 260 / 280 nm, y 260 / 230 determinando así tanto el rendimiento como la pureza de las muestras (**Tabla 7**). Este paso es fundamental, ya que la integridad del material genético influye directamente en la eficiencia de las reacciones posteriores, como la amplificación por PCR y la secuenciación.

Tabla 7. Relación de los resultados entre la Absorbancia y el Rendimiento.

Muestra	ADN ($\mu\text{g/ml}$)	Absorbancia 260/280 (nm)	Absorbancia 260/230 (nm)
P1	11.4	0.870	0.091
P2	22.5	1.806	1.935
P3	42.4	1.953	1.824
P4	56.1	1.856	1.956
P5	11.8	0.567	0.058
P6	16.1	1.922	1.999
P7	13	1.237	0.184
P8	31.6	1.115	0.890
P9	58.4	1.707	1.874
P10	9.7	1.109	0.123
P11	25.8	1.900	1.990
G1	12.2	0.585	0.063
G2	19,2	1.808	1.799
G3	50.3	1.062	0.172
G4	30.2	0.725	0.092
G5	10.8	1.854	1.808
G6	8.1	1.019	0.128
G7	25.6	1.978	1.981
G8	2.6	0.716	0.031
G9	8.7	0.607	0.934
G10	15.6	1.707	1.874
G11	4.5	0.891	0.073

El análisis de las muestras P1 a P11 pertenecientes a *Momordica charantia*, revelan una amplia variabilidad en la concentración y pureza del ADN extraído. En términos generales, las relaciones de absorbancia A260/280 oscilaron entre 0.567 y 1.953, mientras que los valores de A260/230 variaron entre 0.058 y 1.999, lo que refleja distintos niveles de contaminación por proteínas y otros compuestos orgánicos o sales (**Tabla 7**).

Las muestras P2, P3, P4, P6 y P11 presentaron relaciones A260/280 dentro del rango óptimo (1.8–2.0). Además, sus valores A260/230 se acercaron al ideal de 2.0, siendo consideradas adecuadas para análisis moleculares posteriores, incluyendo PCR y secuenciación (Gratero et al., 2023).

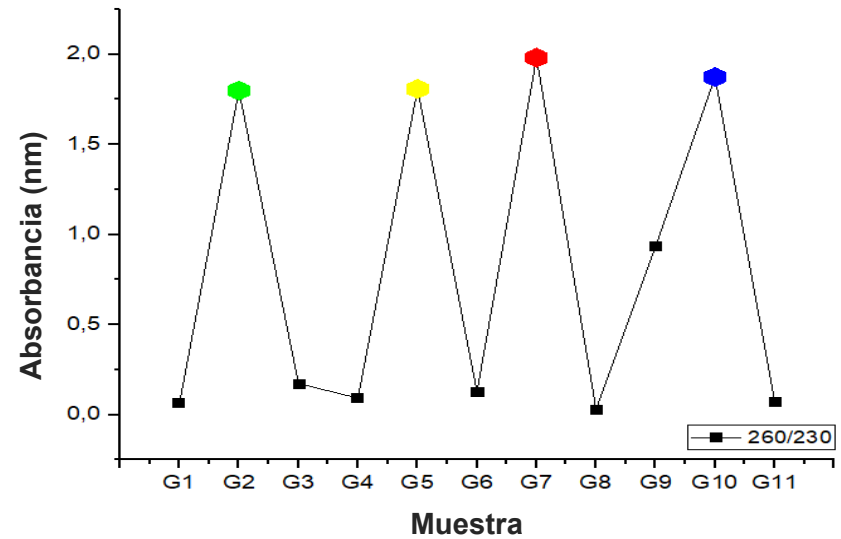
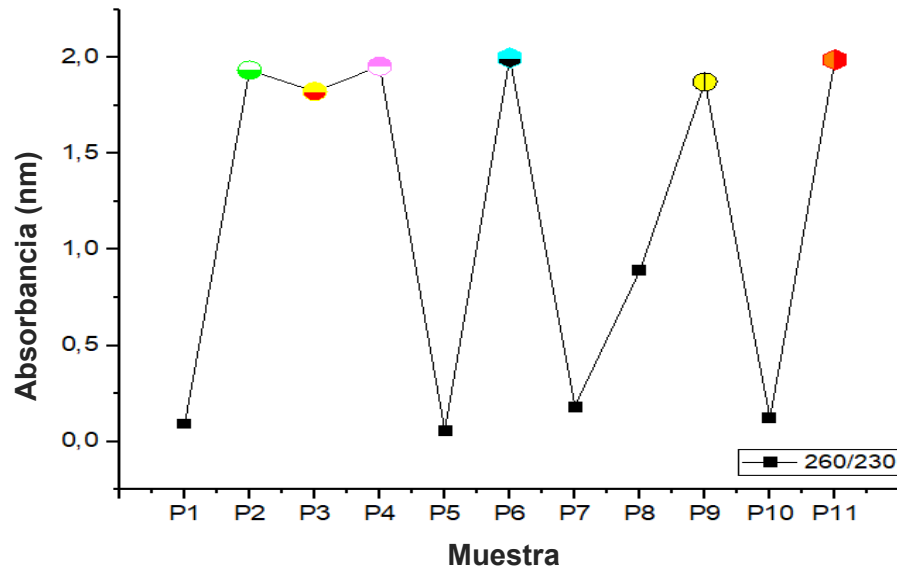
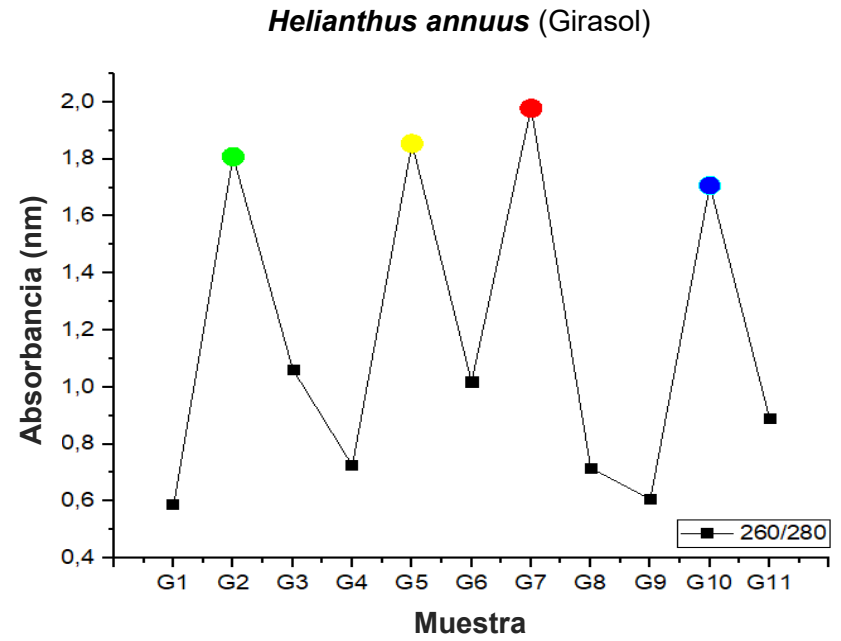
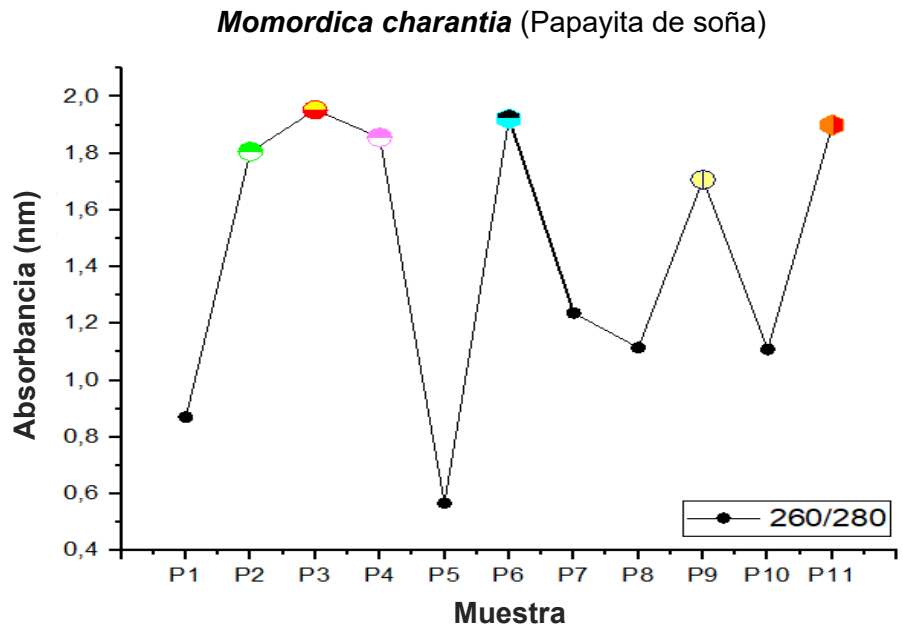
En las muestras G1 a G11, correspondientes a *Helianthus annuus*, los resultados evidenciaron una variabilidad significativa entre muestras, con concentraciones de ADN que oscilaron entre 2.6 µg/ml (G8) y 50.3 µg/ml (G3), siendo el promedio general de aproximadamente 17.8 µg/ml. Respecto a la pureza proteica (A260/A280), se identificaron valores óptimos en las muestras G2 (1.808), G5 (1.854), G7 (1.978) y G10 (1.707), alineados con los parámetros aceptables para aplicaciones moleculares.

Por otro lado, muestras como G1, G4, G8, G9 y G11 presentaron relaciones inferiores a 1.0, indicando una notable presencia de proteínas o ARN remanente. En cuanto a la relación A260/A230, se observaron valores aceptables en G2, G5, G7 y G10 (>1.7), mientras que G1, G4, G6, G8 y G11 reflejaron proporciones muy bajas (<0.2), lo que sugiere contaminación significativa que podría interferir con la amplificación del ADN (**Fig. 15**).

Apreciando el análisis donde se presenta una baja pureza (por debajo de 1.5 en A260/280 y de 1.0 en A260/230), indicando contaminación por proteínas, polisacáridos o compuestos fenólicos, comunes en hongos del suelo (Castro et al., 2012). Esta contaminación puede interferir con las reacciones enzimáticas, reduciendo la eficiencia del análisis molecular (Solano-Flórez et al., 2009).

Para mejorar la calidad de ADN en futuras aplicaciones, se sugiere la optimización del protocolo de extracción o la realización de purificaciones adicionales (Sosa-Castillo et al., 2017). La calidad del ADN es crucial, ya que impacta directamente la confiabilidad de las secuencias obtenidas, lo que a su vez es esencial para la identificación molecular de los aislados fúngicos con potencial biotecnológico (Rubio et al., 2020).

Fig. 15 Evaluación de la relación de absorbanza 260/280 y 260/230.



4.4 Identificación molecular de los aislados fúngicos

Con el objetivo de identificar el taxón los aislados fúngicos obtenidos, se realizó un análisis molecular basado en la secuenciación de la región ITS del ADN ribosomal, ampliamente utilizada por su efectividad en la clasificación filogenética de hongos. Para ello, se enviaron al laboratorio AGROACUANÁLISIS SRL, para ser secuenciadas. Siendo analizadas mediante herramientas bioinformáticas como BLAST y MEGA.

Tabla 8. Identificación molecular de aislamientos rizosférico de *Momordica charantia*.

Momordica charantia (Papayita de soña)

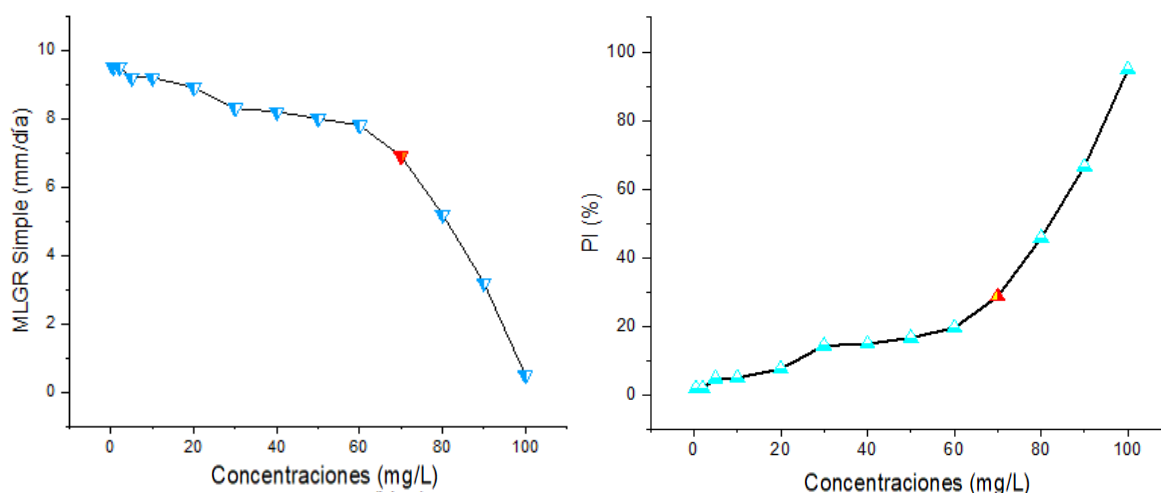
Código de la muestra	Región analizada	Identificación	Nombre científico	Similitud %	Código de acceso GenBank
COD0006232024	ITS1 ITS4	P2	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	99.43	EU938328.1
COD0006172024	ITS1 ITS4	P3	<i>Cunninghamella echinulata</i> (AUMC 14396)	99.75	OP955941.1
COD0006222024	ITS1 ITS4	P4	<i>Mucor frágil</i>	96.53	MK910058.1
COD0006162024	ITS1 ITS4	P6	<i>Aspergillus niger</i>	99.35	MG659650.1
COD0006192024	ITS1 ITS4	P9	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	97.39	OW988442.1
COD0006142024	ITS1 ITS4	P11	<i>Aspergillus welwitschiae</i>	99.27	OQ798926.1

La **Tabla 8** muestra la identificación molecular de seis aislamientos fúngicos obtenidos a partir de *Momordica charantia*, mediante el análisis de la región ITS del ADN ribosomal. Las secuencias amplificadas corresponden a las regiones ITS1 e ITS4, empleadas comúnmente en la identificación de hongos filamentosos debido a su alta variabilidad interespecífica.

Cada aislamiento fue identificado comparando su secuencia con la base de datos GenBank, obteniendo porcentajes de similitud entre el 96.53 % y el 99.75 %, lo que indica una alta precisión en las identificaciones. A continuación, se describen brevemente los resultados:

***Lasiodiplodia theobromae* (P2 y P9)**, es el primer aislado que se identifica, es un hongo fitopatógeno reconocido, causante de enfermedades en diversas especies vegetales tropicales. Su comportamiento bajo integración metálica es muy dinámico esto se precisa en la **fig. 16 y 17**.

Fig. 16. Interacción metálica de *Lasiodiplodia theobromae* (P2).

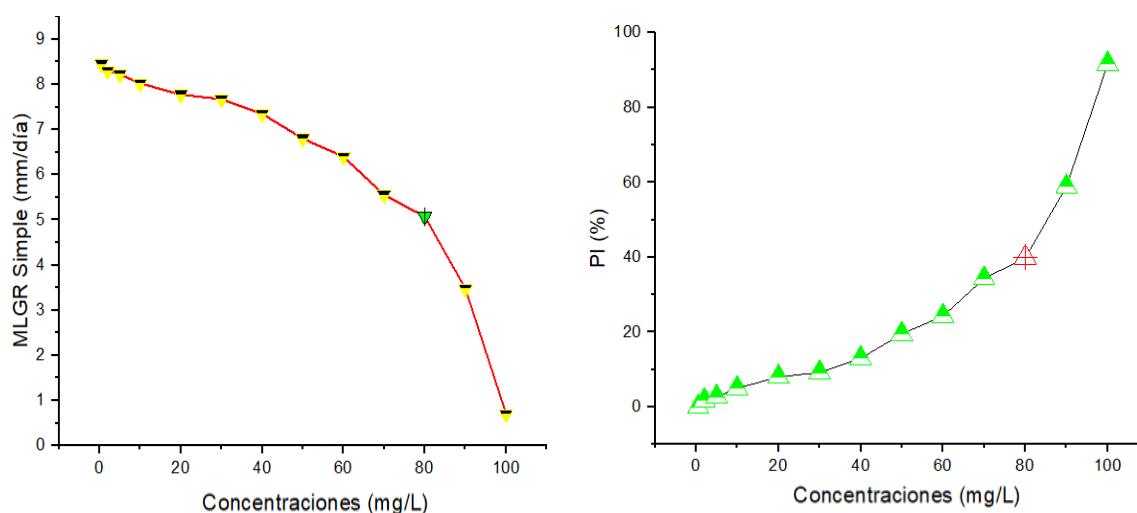


El aislamiento P2 (**fig.16**), presentó una respuesta sensible al incremento de Cd, con una disminución rápida y sostenida del crecimiento micelial desde los primeros niveles de exposición. La MLGR inicial fue de 9.5 mm/día en condiciones Cd (0,5 mg/L), pero una vez expuesta a una concentración de 0,5 hasta 70 mg/L, se observó un descenso abrupto en la tasa de crecimiento, alcanzando un valor mínimo de aproximadamente 1 a 3 mm/día llegando a una reducción casi total a 100 mg/L. Este patrón de inhibición sugiere que la capacidad de resistencia o exclusión del cadmio por parte del hongo es limitada, lo que invita a considerar a este organismo como un indicador potencial para la monitorización de contaminación metálica en ecosistemas tropicales (Lira et al., 2022).

El porcentaje de inhibición (PI%) mostró un patrón ascendente, pasando de valores cercanos al 5% en 10 mg/L hasta un máximo de 96% en 100 mg/L. En contraste Jia et al.

(2022), describe que una fuerte inhibición genera una eficiencia limitada de los mecanismos de resistencia, concretando así que *Lasiodiplodia theobromae*, no solo podría servir como un indicador biológico de la contaminación del suelo por metales pesados, sino que su estado de salud se correlaciona directamente con los niveles de contaminantes metálicos en el ambiente (Tabla 9).

Fig. 17. Interacción metálica de *Lasiodiplodia theobromae* (P9).



De igual manera la **fig. 17**, presenta el comportamiento de *Lasiodiplodia theobromae* (P9) frente a un gradiente de concentraciones metálicas. Se observa que la MLGR simple, muestra una tendencia descendente progresiva conforme aumentan las concentraciones del metal. La curva presenta una pendiente suave hasta aproximadamente 60 mg/L , indicando cierta tolerancia inicial; sin embargo, a partir de 70 mg/L , el decrecimiento se acentúa significativamente, culminando con una inhibición casi total a 100 mg/L . Esta respuesta sugiere que *L. theobromae* posee una tolerancia moderada al metal, con afectación severa a concentraciones elevadas.

Asimismo, el **PI%**, el cual incrementa paulatinamente con la concentración del metal, alcanzando valores superiores al 80 % en los niveles más altos, caracterizada por una inhibición creciente y sostenida del crecimiento fúngico.

Los resultados de ambas evaluaciones demuestran que el AUC, es un parámetro confiable y sensible para cuantificar los efectos del metal en el crecimiento fúngico. La coincidencia en los patrones de respuesta entre ambas repeticiones valida la robustez del modelo experimental y confirma que la especie evaluada presenta tolerancia a bajas concentraciones ($\leq 20 \text{ mg/L}$), pero una respuesta tóxica severa en concentraciones $\geq 70 \text{ mg/L}$. Esta evidencia apoya el uso del AUC como indicador en estudios de toxicidad fúngica frente a metales pesados (Tabla 10).

Tabla 9. Comportamiento frente a la exposición metálica P2.

***Lasiodiplodia theobromae* (P2)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	7.2	15.9	24.9	34.7	45.0	25.5	9.45	1.82	101.60
2	7.0	15.4	24.0	34.5	44.8	25.1	9.45	1.82	99.80
5	6.8	15.0	23.7	33.6	43.5	24.5	9.18	4.68	97.45
10	6.4	14.7	23.0	33.0	43.0	24.0	9.15	4.94	95.40
20	6.3	14.2	22.3	32.2	41.9	23.4	8.90	7.53	92.80
30	6.0	13.5	21.0	31.4	39.0	22.2	8.25	14.29	88.40
40	5.7	13.0	20.5	30.6	38.5	21.7	8.20	14.81	86.20
50	5.0	12.6	20.0	28.9	37.1	20.7	8.03	16.62	82.55
60	4.4	11.5	19.4	26.1	35.4	19.4	7.75	19.48	76.90
70	4.0	9.8	15.7	23.7	31.5	16.9	6.88	28.57	66.95
80	3.8	8.2	13.6	19.5	24.7	14.0	5.23	45.71	55.55
90	3.6	6.6	9.5	13.7	16.5	10.0	3.23	66.49	39.85
100	3.0	3.9	4.3	4.7	5.0	4.8	0.45	95.32	16.75

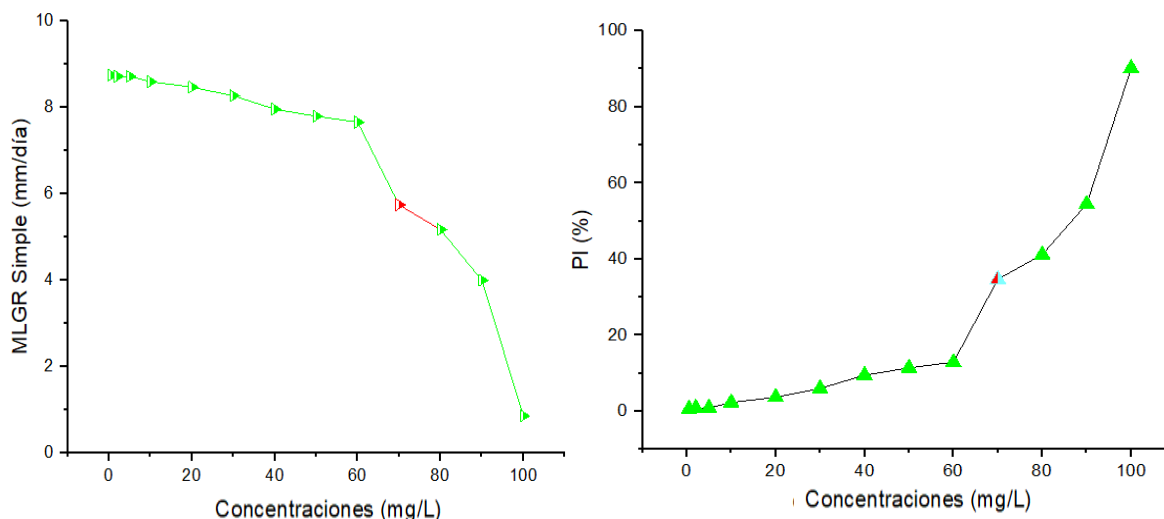
Tabla 10. Comportamiento frente a la exposición metálica P9.

***Lasiodiplodia theobromae* (P9)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	8.1	16.3	25.7	32.4	41.9	24.9	8.45	0.00	99.40
2	8.0	16.0	25.5	32.1	41.2	24.6	8.30	1.78	98.20
5	7.6	15.7	25.0	31.4	40.5	24.0	8.23	2.66	96.15
10	7.3	15.3	24.5	30.3	39.4	23.4	8.03	5.03	93.45
20	7.0	15.0	24.0	29.6	38.1	22.7	7.78	7.99	91.15
30	6.7	14.1	22.5	28.9	37.4	21.9	7.68	9.17	87.55
40	6.3	13.7	21.2	27.3	35.7	20.8	7.35	13.02	83.20
50	6.0	12.5	20.1	26.7	33.2	19.7	6.80	19.53	78.90
60	5.6	11.8	19.1	25.2	31.2	18.6	6.40	24.26	74.50
70	5.3	11.0	18.1	23.2	27.5	17.0	5.55	34.32	68.70
80	5.0	10.2	16.3	21.2	25.3	15.6	5.08	39.94	62.85
90	4.3	9.1	13.2	15.3	18.2	12.0	3.48	58.88	48.85
100	3.0	3.8	4.2	4.5	4.7	4.0	0.43	94.97	16.35

La identificación de la cepa, *Cunninghamella echinulata* (AUMC 14396), registrada en la base de datos GenBank bajo el número de acceso OP955941.1. Esta alta identidad (99.75%), lo que sugiere una identificación confiable a nivel de especie, lo que permite inferir con mayor precisión el comportamiento fisiológico y ecológico del aislamiento frente a condiciones de estrés por metales pesados.

Fig. 18. Interacción metálica de *Cunninghamella echinulata*.



El análisis gráfico (**Fig. 18**). muestra un descenso progresivo de la MLGR conforme aumentan las concentraciones metálicas, indicando una respuesta dosis-dependiente. En condiciones de baja concentración (0.5 a 20 mg/L), la MLGR se mantiene relativamente estable, con valores cercanos a los 6.88 – 7 mm/día, lo que sugiere una tolerancia inicial al estrés metálico.

Rasbold et al. (2021), indican que la exposición a concentraciones de metales pesados no solo impacta la actividad metabólica del hongo, sino que también afecta sus mecanismos de crecimiento y supervivencia, aumentando la generación de especies reactivas de oxígeno que contribuyen al estrés celular. En particular, la presencia de iones metálicos como Cu^{2+} y Zn^{2+} ha demostrado reducir significativamente la actividad enzimática de las células de *C. echinulata*, lo que indica que estos metales afectan la viabilidad del hongo e intensifican el daño celular.

A partir de 30 ppm, la MLGR disminuye paulatinamente: 6.62 mm/día, en 60 ppm (6.13 mm/día). y cae significativamente en concentraciones mayores a 70 mg/L. la MLGR se reduce a 4.6 mm/día, y a partir de 80 mg/L se desploma aún más, hasta llegar a 0.69 mm/día en 100 mg/L, lo que representa un descenso de más del 90% respecto al valor inicial. Este patrón indica que *C. echinulata* presenta una tolerancia media a

moderada en concentraciones $\leq 60 \text{ mg/L}$, pero evidencia una inhibición crítica del crecimiento micelial en concentraciones $\geq 70 \text{ mg/L}$.

En concordancia. PI% permite cuantificar la magnitud de la inhibición del crecimiento respecto a las diferentes concentraciones. Este indicador refuerza la tendencia observada en la MLGR. Lo cual refuerza la síntesis de Duran-Izquierdo et al. (2023), que esta relación es crucial para entender hasta qué punto estos factores pueden influir en la ecología del hongo en ambientes contaminados, además de la importancia de seguir estudiando más a fondo los procesos bioquímicos y fisiológicos que *C. echinulata* utiliza para adaptarse y responder al estrés generado por la presencia del metal.

En concentraciones entre 2 y 60 mg/L , el PI% se incrementa gradualmente desde 0.85% hasta 12.93%. indicando una inhibición moderada y una respuesta adaptativa del hongo. A partir de 70 mg/L , se observa una transición abrupta hacia una inhibición severa, con valores de 34.66% (70 mg/L), 41.19% (80 mg/L) y 54.55% (90 mg/L).

Finalmente, en 100 mg/L , el PI% alcanza un valor extremo de 90.20%. lo cual implica una casi total supresión del crecimiento micelial. Este comportamiento sugiere que *C. echinulata*, mantiene un crecimiento funcional bajo condiciones de exposición leve a moderada, pero no es capaz de sostener su metabolismo ni desarrollo morfológico en ambientes altamente contaminados por el metal evaluado.

Otro indicador de importancia es el AUC, que respalda cuantitativamente la inhibición funcional del crecimiento fúngico observada en *Cunninghamella echinulata* bajo exposición metálica. Los valores de AUC evidenciaron una reducción gradual desde 94.30 (0.5 mg/L) hasta 16.33 (100 mg/L), lo cual representa una pérdida progresiva en la capacidad de expansión micelial acumulada. Esta métrica integra el efecto temporal de la toxicidad. reflejando no solo la disminución puntual del crecimiento, sino también la merma en la eficiencia fisiológica del hongo a lo largo del ensayo.

La caída drástica del AUC a partir de 70 mg/L sugiere una disrupción sostenida del metabolismo basal, probablemente asociada a mecanismos de estrés oxidativo, alteración enzimática o interferencia en rutas biosintéticas clave. En conjunto. estos datos consolidan el valor del AUC como un descriptor integral del impacto tóxico y posicionan a *C. echinulata* como una especie meso-tolerante, con umbrales de respuesta críticos en exposiciones $\geq 70 \text{ mg/L}$. (**Tabla 11**).

Tabla 11. Comportamiento de *Cunninghamella echinulata* frente a la exposición metálica.

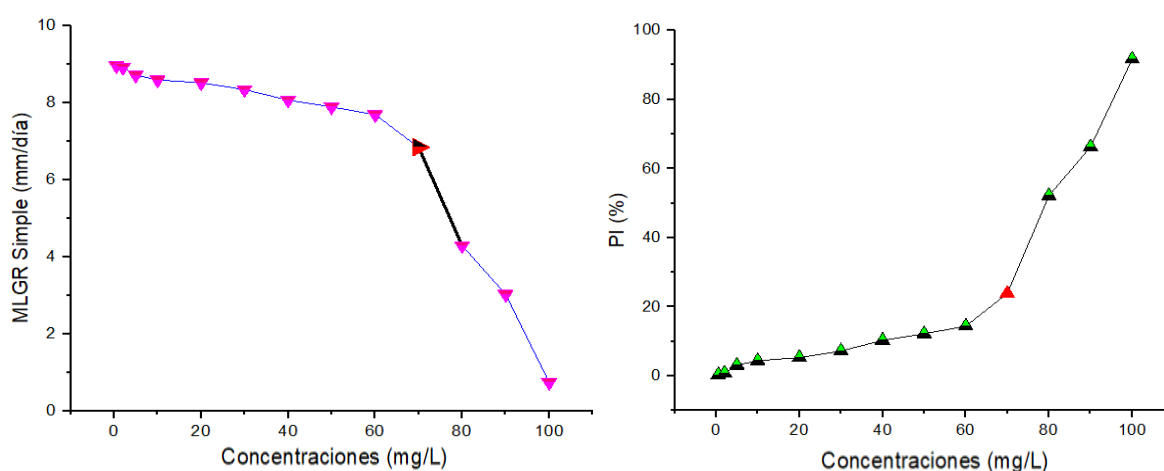
***Cunninghamella echinulata* (P3)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	7.6	14.8	22.7	31.7	42.6	8.8	8.45	0.57	94.30
2	7.5	14.5	22.5	31.3	42.4	8.7	8.30	0.85	93.25
5	7.3	14.2	22.3	31.0	42.2	8.7	8.23	0.85	92.25
10	7.0	14.1	21.8	30.4	41.4	8.6	8.03	2.27	90.50
20	6.7	13.7	21.3	30.1	40.6	8.5	7.78	3.69	88.70
30	6.4	13.1	21.0	29.5	39.5	8.3	7.68	5.97	86.55
40	6.2	12.5	20.5	29.0	38.0	8.0	7.35	9.52	84.08
50	6.0	12.0	19.4	28.4	37.2	7.8	6.80	11.36	81.40
60	5.8	11.5	18.6	28.0	36.4	7.7	6.40	12.93	79.18
70	5.5	11.0	16.8	23.7	28.5	5.8	5.55	34.66	68.50
80	5.0	10.6	14.0	21.5	25.7	5.2	5.08	41.19	61.45
90	4.4	8.4	12.6	17.9	20.4	4.0	3.48	54.55	51.30
100	3.0	3.4	3.8	4.5	6.5	0.9	0.43	90.20	16.33

La secuenciación de la región ITS, también permitió identificar a *Mucor fragilis* (96.53%), lo que sugiere una fuerte afinidad filogenética dentro del género *Mucor*. Esta especie pertenece a un grupo de hongos mucorales de rápido crecimiento, ampliamente reconocidos por su papel saprobio en la descomposición de materia orgánica y su capacidad de colonizar sustratos ricos en nutrientes.

La exposición a gradientes de concentración metálica permitirá evaluar la robustez de sus mecanismos de tolerancia y detoxificación, así como su capacidad de mantener el crecimiento bajo condiciones adversas. Dada su alta tasa de desarrollo micelial y su posible sensibilidad diferencial.

Fig. 19. Interacción metálica de *Mucor fragilis*.



La dinámica de respuesta de *Mucor fragilis* ante gradientes crecientes de metal evidenció una trayectoria fisiológica regresiva. El MLGR simple presentó una declinación sostenida, particularmente pronunciada a partir de 70 mg/L, lo que denota un colapso de la funcionalidad apical posiblemente vinculado al deterioro de estructuras polares o al bloqueo del tráfico intracelular (Estupiñan et al., 2020).

Simultáneamente, el porcentaje de inhibición (PI%) describió una curva de tipo umbral, con una transición abrupta de baja a alta inhibición, lo que sugiere una saturación de los mecanismos de resiliencia celular. Gréau et al. (2022), ha observado en otros organismos, donde el estrés por metales resulta en una reducción de la diversidad y riqueza fúngica, así como en una mayor sensibilidad a la contaminación (**Fig. 19**).

La reducción progresiva del AUC (96.05 a 18.30), refuerza esta tendencia al evidenciar un descenso acumulativo en la productividad fúngica total a lo largo del tiempo (Gómez et al., 2024). La interacción entre estas tres métricas revela una capacidad de amortiguación transitoria que es sobrepasada en niveles críticos, posicionando a *M. fragilis* como un organismo sensible ante presiones tóxicas elevadas y potencialmente útil como bioindicador en zonas de contaminación intermedia a severa (**Tabla 12**).

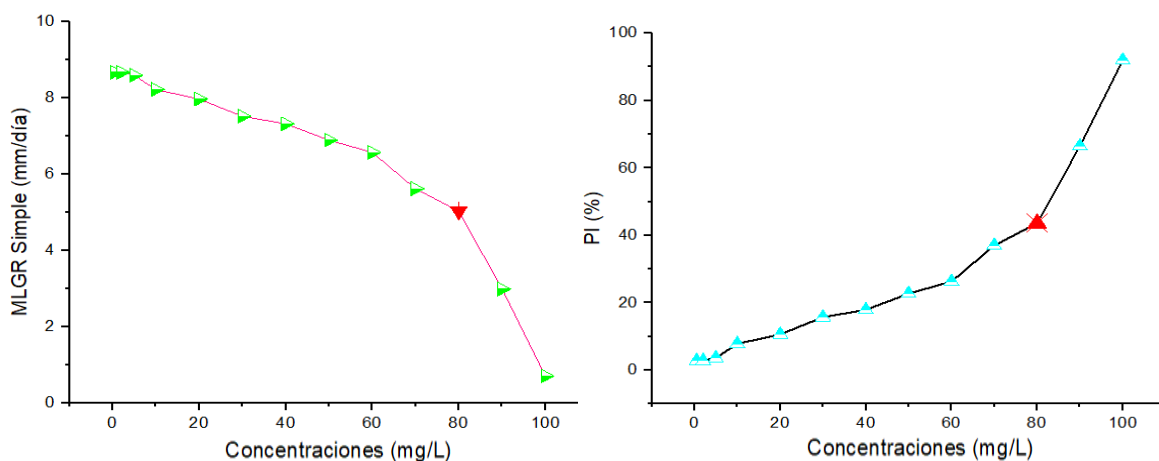
Tabla 12. Comportamiento de *Mucor fragilis*. frente a la exposición metálica.

***Mucor fragilis* (P4)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	7.7	15.2	23.6	31.6	43.6	24.3	9.0	0.28	96.05
2	7.5	15.0	23.4	31.2	43.2	24.1	8.9	0.83	94.95
5	7.3	14.2	22.3	31.0	42.2	23.4	8.7	3.06	92.25
10	7.0	14.1	21.8	30.4	41.4	22.9	8.6	4.44	90.50
20	6.9	13.9	21.3	30.0	41.0	22.6	8.5	5.28	89.15
30	6.6	13.4	20.8	29.8	40.0	22.1	8.4	7.22	87.30
40	6.1	13.0	19.5	28.3	38.4	21.1	8.1	10.28	83.05
50	5.7	12.6	18.9	27.6	37.3	20.4	7.9	12.22	80.60
60	5.4	12.1	18.0	26.0	36.2	19.5	7.7	14.44	76.90
70	5.1	11.6	16.6	24.7	32.5	18.1	6.9	23.89	71.70
80	4.2	9.5	13.6	16.8	21.4	13.1	4.3	52.22	52.70
90	3.6	7.1	10.2	12.6	15.7	9.8	3.0	66.25	39.48
100	3.0	3.8	3.9	4.3	4.5	3.9	0.4	95.83	15.70

Siguiendo con los resultados de los aislamientos, se logró identificar a *Aspergillus niger*, perteneciente a la sección *Nigri* del género *Aspergillus*, con una similitud del 99.35% en la región ITS, lo que respalda una identificación molecular robusta. *A. niger* muestra alta tolerancia a metales pesados gracias a mecanismos complejación intracelular, lo que refuerza su potencial en biorremediación.

Fig. 20. Interacción metálica de *Aspergillus niger*.



El aislamiento fúngico identificado como *Aspergillus niger* presentó un patrón de crecimiento caracterizado por una reducción progresiva del MLGR simple a medida que aumentó la concentración metálica. En concentraciones de hasta 30 mg/L, el crecimiento se mantuvo relativamente estable (MLGR entre 8.7 y 7.5 mm/día), acompañado de bajos niveles de inhibición (PI% < 16%), lo que indica un umbral de tolerancia inicial (Male et al., 2020; Ruhatiya et al., 2020).

Sin embargo, a partir de 40 mg/L, se observó una declinación más marcada del crecimiento fúngico y un incremento sostenido del PI%, alcanzando niveles de inhibición severa (>90%) a 100 mg/L, con un MLGR mínimo de 0.3 mm/día. Sule et al. (2022), describe que esta transición evidencia un cambio en la fisiología del hongo, que pasa de una fase adaptativa a una de colapso funcional (**Fig. 20**).

El **AUC** muestra una tendencia decreciente, pasando de 99.85 a 14.65 unidades conforme se intensifica la exposición metálica (**Tabla 13**). Esta caída refleja una pérdida acumulativa del rendimiento biológico global del hongo.

En este contexto, el AUC valida y consolida las tendencias observadas tanto en el MLGR como en el PI%, y permite interpretar de manera integral el impacto del metal, donde las altas concentraciones conducen a un colapso funcional significativo, mientras que las bajas mantienen la capacidad metabólica del organismo casi intacta (Jadhav et al., 2018).

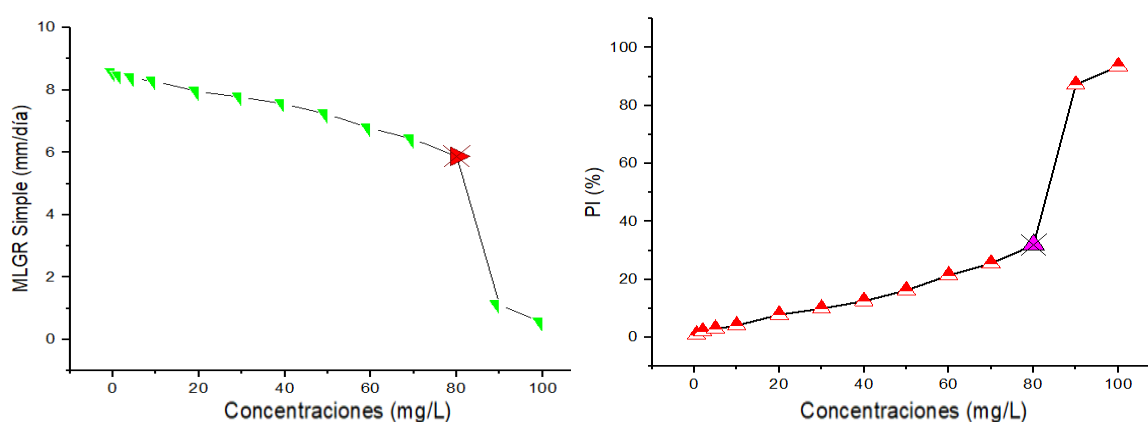
Tabla 13. Comportamiento de *Aspergillus niger*. frente a la exposición metálica.

***Aspergillus niger* (P6)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	7.9	15.9	24.0	34.7	42.6	25.0	8.7	2.80	99.85
2	7.8	15.8	23.8	33.1	42.5	24.6	8.7	2.80	97.85
5	7.6	15.3	23.7	32.5	42.0	24.2	8.6	3.64	96.30
10	7.2	14.0	23.0	31.8	40.1	23.2	8.2	7.84	92.45
20	6.8	13.6	22.1	30.4	38.7	22.3	8.0	10.64	88.80
30	6.1	12.5	20.2	29.4	36.2	20.9	7.5	15.69	83.25
40	6.0	11.6	19.4	28.3	35.3	20.1	7.3	17.93	79.95
50	5.6	11.0	18.4	26.5	33.2	18.9	6.9	22.69	75.30
60	5.2	10.2	17.3	24.3	31.5	17.7	6.6	26.33	70.15
70	5.0	9.4	16.3	22.6	27.5	16.2	5.6	36.97	64.55
80	4.5	7.4	14.2	19.4	24.6	14.0	5.0	43.56	55.53
90	3.2	6.5	10.1	12.4	15.2	9.5	3.0	66.46	38.16
100	3.0	3.5	3.7	3.9	4.1	3.6	0.3	96.92	14.65

El aislamiento fúngico P11 fue identificado molecularmente como *Aspergillus welwitschiae*, alcanzando un 99.27% de similitud con la secuencia de referencia OQ798926.1 registrada en GenBank. Este valor de homología respalda una asignación taxonómica precisa dentro del clado *Aspergillus* sección *Nigri*, grupo conocido por su diversidad fisiológica y adaptabilidad ambiental. *A. welwitschiae* ha sido documentado como un organismo oportunista tanto en contextos ambientales como clínicos, destacándose por su capacidad para secretar una variedad de metabolitos secundarios, incluyendo micotoxinas como la fumonisina y ocratoxina, lo que le confiere una relevancia dual como especie saprobia y como posible patógeno.

Fig. 21. Interacción metálica de *Aspergillus welwitschiae*.



El perfil de *Aspergillus welwitschiae* bajo exposición metálica revela una respuesta progresivamente inhibitoria, evidenciada por la reducción sostenida de la tasa de elongación radial (MLGR simple). Esta variable decae desde 8.55 mm/día hasta apenas 0.55 mm/día a 100 mg/L, marcando una respuesta lineal negativa que se acentúa en torno a los 80 mg/L. Matsumoto et al. (2022), resalta que el cambio drástico en la pendiente de crecimiento sugiere un umbral de disfunción fisiológica posiblemente asociado a interferencias en el metabolismo energético o enzimático (**Fig. 21**).

En términos de resistencia, los valores de PI% se mantienen relativamente bajos en concentraciones iniciales, pero escalan rápidamente a partir de los 70 mg/L, alcanzando una inhibición del 93.62% a la máxima concentración (Oladipo et al., 2018). Este patrón de aumento acelerado sugiere que la cepa enfrenta una ruptura en su capacidad de adaptación probablemente por agotamiento de sus defensas antioxidantes o limitación en la homeostasis iónica (Takeda et al., 2019).

El análisis del AUC (91.10 a 17.40), refleja una pérdida acumulativa de rendimiento biológico. Esta métrica integra el efecto del estrés en el tiempo, mostrando que el impacto no solo es inmediato, sino también persistente (**Tala 14**).

Tabla 14. Comportamiento de *Aspergillus welwitschiae* frente a la exposición metálica

***Aspergillus welwitschiae* (P11)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	7.4	13.8	21.3	31.5	41.6	23.1	8.6	0.87	91.10
2	7.2	13.2	21.0	31.0	41.0	22.7	8.5	2.03	89.30
5	7.0	13.0	20.4	30.4	40.5	22.3	8.4	2.90	87.55
10	6.4	12.5	19.6	29.3	39.5	21.5	8.3	4.06	84.35
20	6.2	12.3	19.0	28.3	38.0	20.8	8.0	7.83	81.70
30	6.0	12.0	18.4	27.4	37.1	20.2	7.8	9.86	79.35
40	5.8	11.2	17.4	26.5	36.0	19.4	7.6	12.46	76.00
50	5.3	10.3	16.7	24.3	34.2	18.2	7.2	16.23	71.05
60	5.1	10.0	16.0	23.5	32.2	17.4	6.8	21.45	68.15
70	4.7	9.5	15.0	21.4	30.4	16.2	6.4	25.51	63.45
80	4.0	8.4	14.6	20.3	27.5	15.0	5.9	31.88	59.05
90	3.7	6.3	7.3	7.9	8.1	6.7	1.1	87.25	27.40
100	3.0	3.3	3.5	3.7	3.9	3.5	0.2	97.39	13.95

Tabla 15. Comportamiento ecosistémico de los aislados fúngicos de *Momordica charantia*.

Nombre científico	Comportamiento ecosistémico	Tipo funcional	Origen estimado	Referencias
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Patógeno oportunista	Necro-trófico latente	Tejido vegetal	(Wen et al., 2023); (Peng et al., 2022); (Ko et al., 2023).
<i>Cunninghamella echinulata</i>	Saprófito	Degradador orgánico rápido	Rizosfera	(Andrade et al., 2018); (Souza et al., 2018); (Xu et al., 2021).
<i>Mucor fragilis</i>	Sensible-saprobio	Colonizador temprano	Suelo agrícola	(Massi et al., 2020); (Quintanilha-Peixoto et al., 2019); (Maliehe et al., 2022).
<i>Aspergillus niger</i>	Competidor tolerante	Saprófito versátil	Ambiente contaminado	(Male et al., 2020); (Chukwuma et al., 2025); (Chen et al., 2023).
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Endófito potencial	Patógeno latente	Corteza leñosa	(Terhonen et al., 2019); (Peng et al., 2022); (Ali et al., 2020).
<i>Aspergillus welwitschiae</i>	Oportunista versátil	Saprófito competitivo	Fruto o residuo orgánico	(Duarte et al., 2018); (Gits-Muselli et al., 2021); (Matsumoto et al., 2022); (Guo et al., 2024).

Tabla 16. Identificación molecular de los aislamientos rizosférico de *Helianthus annuus*.

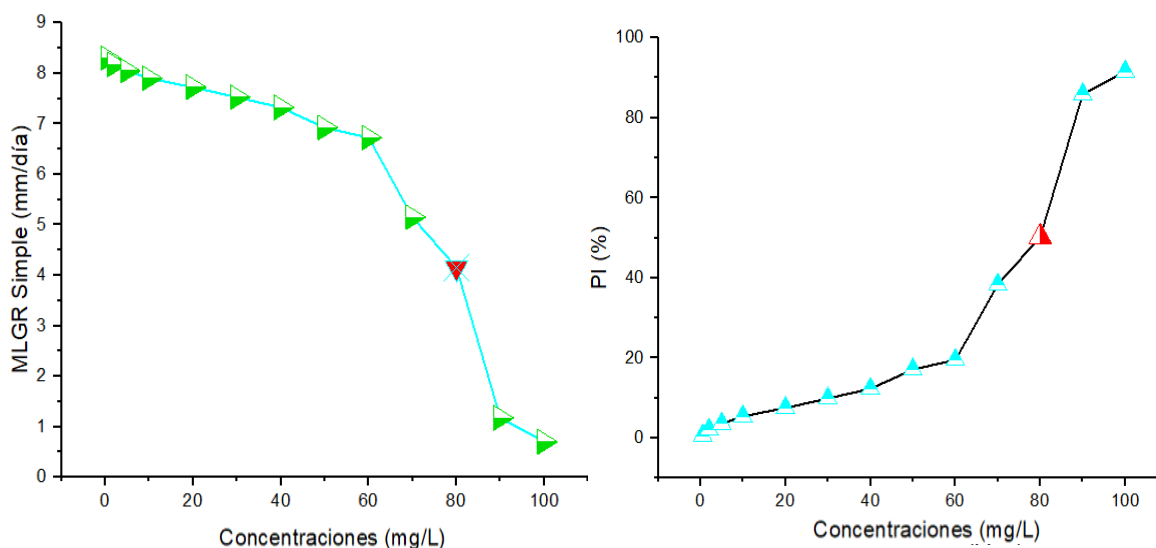
Helianthus annuus (Girasol)

Código de la muestra	Región analizada	Identificación	Nombre científico	Similitud %	Código de acceso GenBank
COD0006212024	ITS1 ITS4	G2	<i>Cunninghamella echinulata</i> (AUMC 14396)	90.85	OP955941.1
COD0006182024	ITS1 ITS4	G5	<i>Cunninghamella blakesleeana</i> (CBS 133.27)	84.41	NR_119974.1
COD0006202024	ITS1 ITS4	G7	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	99.78	MK584597.1
COD0006152024	ITS1 ITS4	G10	<i>Cunninghamella arunalokei</i> (NCCPF 890012)	84.91	NR_177485.1

Para el caso de los aislados pertenecientes a la rizosfera de la especie *Helianthus annuus*, en la **Tabla 16** se refleja la identificación de los aliados fúngicos en este caso tenemos la presencia a nivel molecular de *Cunninghamella echinulata*, con un nivel de similitud genética del 90.85%. Desde el punto de vista fisiológico, G2 mostró una tasa máxima de crecimiento en función al MLGR simple de 8.30 mm/día en presencia de 0.5 mg/L del metal, evidenciando una notable capacidad de desarrollo bajo condiciones ligeramente estresantes (Ni et al., 2018).

Sin embargo, conforme aumentaron las concentraciones, el perfil de inhibición (PI%) se incrementó significativamente, alcanzando un 91.62% a 100 mg/L (Duarte et al., 2018), lo que indica una sensibilidad pronunciada a niveles altos del contaminante (**Fig. 22**).

Fig. 22. Interacción metálica de *Cunninghamella echinulata*



El área bajo la curva (AUC), estimada en 86.50 unidades arbitrarias (*a. u.*), representa el rendimiento acumulado del crecimiento fúngico frente al gradiente de concentración del metal descendiendo progresivamente hasta 17.85 en la concentración más alta, reflejando una merma sustancial en el rendimiento fúngico acumulado (Hernández & Hernández, 2022). Este patrón evidencia una respuesta típicamente sensible al estrés por metales sugiriendo que *C. echinulata* podría desempeñar funciones limitadas en ambientes altamente contaminados, aunque su respuesta inicial a bajas concentraciones sugiere un potencial uso en escenarios de contaminación leve (**Tabla 17**).

Tabla 17. Comportamiento de *Cunninghamella echinulata* frente a la interacción metálica.

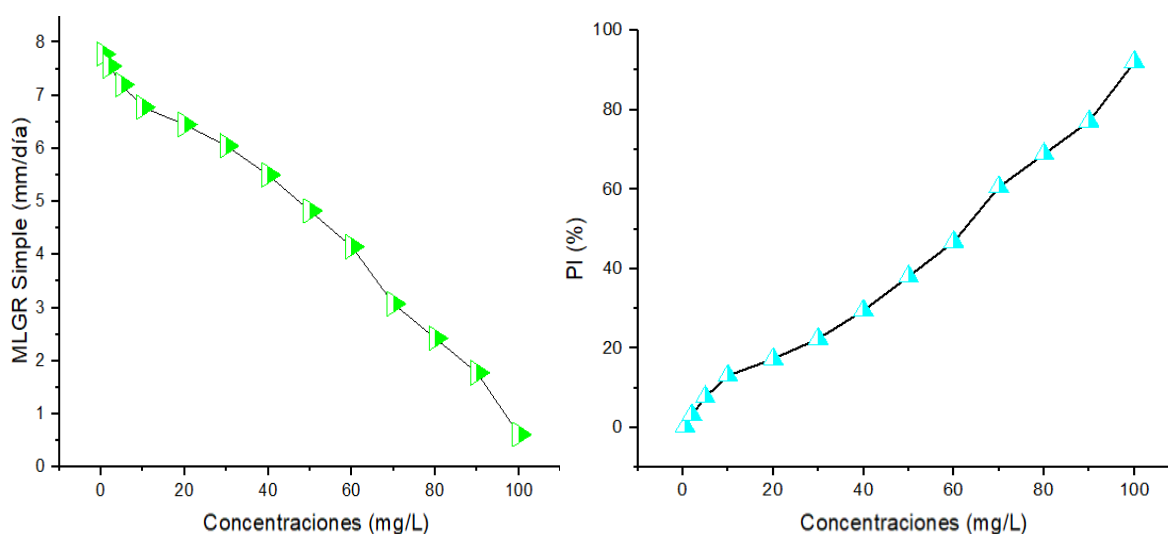
***Cunninghamella echinulata* (G2)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	6.5	13.4	20.5	29.5	39.7	21.9	8.30	0.60	86.50
2	6.3	13.1	20.0	29.0	39.0	21.5	8.18	2.10	84.75
5	6.0	12.3	19.3	28.1	38.2	20.8	8.05	3.59	81.80
10	5.6	12.0	18.3	27.3	37.2	20.1	7.90	5.39	79.00
20	5.4	11.8	17.4	26.3	36.3	19.4	7.73	7.49	76.35
30	5.2	11.4	16.3	25.3	35.3	18.7	7.53	9.88	73.25
40	4.6	11.1	15.3	24.3	33.9	17.8	7.33	12.28	69.95
50	4.4	10.2	14.3	23.1	32.1	16.8	6.93	17.07	65.85
60	4.1	9.3	13.2	22.1	31.0	15.9	6.73	19.46	62.15
70	3.7	8.3	10.4	15.0	24.3	12.3	5.15	38.32	47.70
80	3.5	7.1	9.2	14.2	20.1	10.8	4.15	50.30	42.30
90	3.2	4.1	5.6	6.7	7.9	5.5	1.18	85.93	21.95
100	3.0	3.8	4.5	5.2	5.8	4.5	0.70	91.62	17.85

De igual manera se logró identificar a la especie *Cunninghamella blakesleeana*, con un margen de similitud de 84.41%, lo que sugiere una afinidad moderada con la especie, posiblemente representando una variante o cepa ambiental (Souza et al., 2018).

Fisiológicamente, *C. blakesleeana* alcanzó un valor máximo de MLGR simple de 7.78 mm/día a 0.5 mg/L, lo que revela un crecimiento ligeramente inferior al observado en *C. echinulata*. A pesar de ello, su curva de decrecimiento fue más pronunciada, con un PI% que ascendió abruptamente hasta el 92.15% a 100 mg/L, lo cual delata una alta susceptibilidad al metal en cuestión (Fig. 23).

Fig. 23. Interacción metálica de *Cunninghamella blakesleeana*



El AUC con un valor inicial de 90.85, decayó hasta apenas 16.93 a máxima concentración, demostrando una pérdida dramática del vigor metabólico fúngico (Tabla 18). Esta especie exhibe una respuesta negativa marcada al estrés por metales, lo que restringe su aplicación en escenarios de alta contaminación, aunque su comportamiento a concentraciones intermedias sugiere utilidad potencial como bioindicador de estrés ambiental incipiente (Mendarte-Alquisira et al., 2021).

El comportamiento observado sugiere que *C. blakesleeana* no posee mecanismos efectivos de tolerancia al metal específico evaluado posiblemente debido a deficiencias en sistemas antioxidantes metalo-tioneinas o bombas de eflujo (Ontivero et al., 2022). Desde una perspectiva ecológica este aislamiento podría clasificarse como sensible o no adaptado a ambientes metalizados limitando su utilidad en aplicaciones de biorremediación directa (Ibrahim et al., 2018). Sin embargo, su sensibilidad podría resultar útil como bioindicador en evaluaciones de toxicidad ambiental.

Tabla 18. Comportamiento de *Cunninghamella blakesleeana* frente a la interacción metálica.

***Cunninghamella blakesleeana* (G5)**

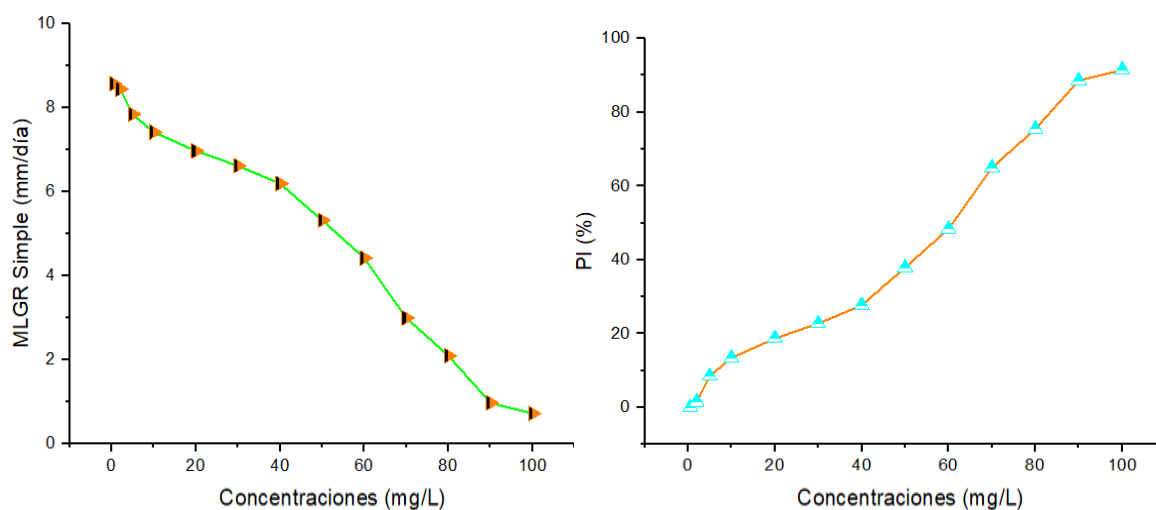
Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	8.3	15.8	21.4	29.8	39.4	22.9	7.78	0.32	90.85
2	8.0	15.0	21.0	28.7	38.2	22.2	7.55	3.21	87.80
5	7.5	14.2	20.1	27.1	36.3	21.0	7.20	7.69	83.30
10	7.0	13.2	19.2	26.2	34.1	19.9	6.78	13.14	79.15
20	6.5	12.3	18.4	24.4	32.3	18.8	6.45	17.31	74.50
30	6.0	11.2	17.3	22.1	30.2	17.4	6.05	22.44	68.70
40	5.4	10.2	16.3	20.3	27.4	15.9	5.50	29.49	63.20
50	5.0	9.1	15.3	17.3	24.3	14.2	4.83	38.14	56.35
60	4.6	8.4	13.4	15.3	21.2	12.6	4.15	46.79	50.00
70	4.0	7.4	11.3	13.2	16.3	10.4	3.08	60.58	42.05
80	3.7	6.2	9.2	11.2	13.4	8.7	2.43	68.91	35.15
90	3.3	4.1	7.0	9.1	10.4	6.8	1.78	77.24	27.05
100	3.0	3.6	4.2	4.9	5.5	4.2	0.61	92.15	16.93

Por otro lado, los aislamientos realizados en la rizosfera de girasol, también nos permitió conocer la presencia de *Lasiodiplodia theobromae*, siendo una especie que se puede encontrar en diversos hábitat, siendo codificada en la Zona 2, de la recolección de las muestras. se le identificó con un 99.78% de similitud lo que resalta en gran criterio la identificación de esta especie, es por ello que también se le realizó una prueba de interacción metálica para conocer si el estar ubicada en otra zona de muestreo, permite algunos cambios en su estructura fisiológica (Peng et al., 2022).

Confirmando la pertenencia inequívoca a una especie fitopatógena conocida por su versatilidad ecológica (Estupiñán et al., 2020). En términos de crecimiento este aislamiento alcanzó una MLGR simple de 8.58 mm/día bajo la menor concentración (0.5 mg/L), siendo el valor más alto registrado entre los cuatro aislamientos (**Fig. 24**).

El perfil de inhibición (PI%) fue progresivamente ascendente. aunque más gradual que en G2 y G5, alcanzando 91.55% a 100 mg/L. Este comportamiento sugiere un umbral de tolerancia más amplio.

Fig. 24. Interacción metálica de *Lasiodiplodia theobromae* (G7).



El AUC, que inició en 96.25 y descendió hasta 17.95, se mantuvo superior en la mayoría de los tramos, lo que indica un rendimiento más sostenido frente al estrés (**Tabla 19**). La combinación de alta identidad genética, mayor tolerancia inicial y un perfil AUC más favorable posiciona a *L. theobromae* como un organismo de interés tanto para estudios de resiliencia microbiana como para aplicaciones en fitorremediación moderada, aunque su carácter fitopatógeno exige monitoreo para evitar impactos colaterales (Male et al., 2020).

Tabla 19. Comportamiento de *Lasiodiplodia theobromae* frente a la interacción metálica (G7).

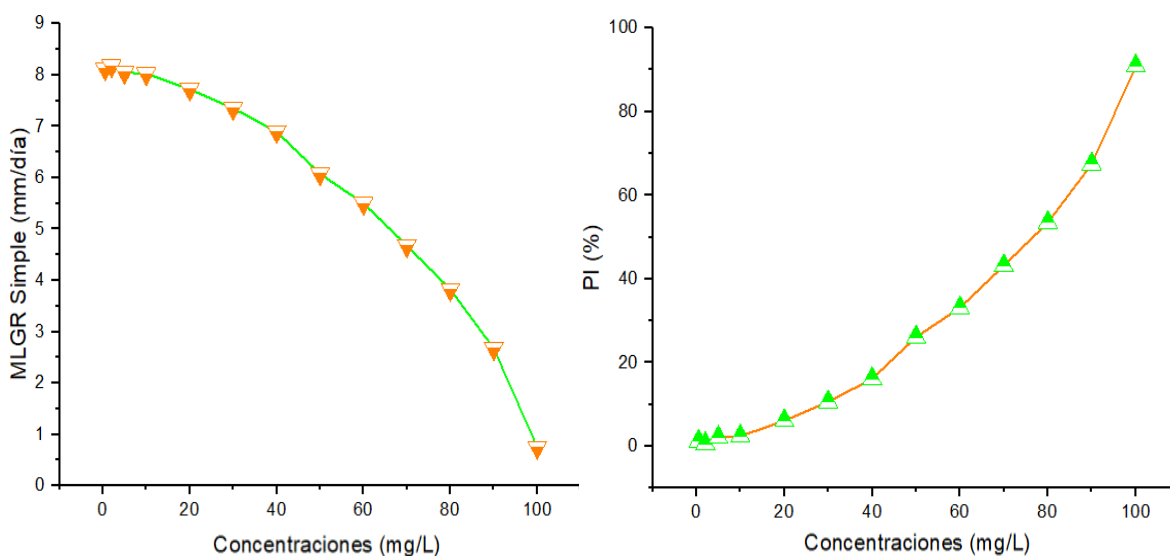
***Lasiodiplodia theobromae* (G7)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	7.4	15.7	23.5	32.5	41.7	24.2	8.58	0.00	96.25
2	7.2	15.1	23.0	32.0	41.0	23.7	8.45	1.46	94.20
5	7.0	14.5	22.4	31.2	38.4	22.7	7.85	8.45	90.80
10	6.7	14.0	21.3	30.0	36.4	21.7	7.43	13.41	86.85
20	6.3	13.5	20.3	28.4	34.2	20.5	6.98	18.66	82.45
30	5.8	13.0	18.4	26.4	32.3	19.2	6.63	22.74	76.85
40	5.4	12.4	16.4	24.3	30.2	17.7	6.20	27.70	70.90
50	5.0	11.3	14.2	20.4	26.3	15.4	5.33	37.90	61.55
60	4.6	10.2	12.5	16.3	22.3	13.2	4.43	48.40	52.45
70	4.3	9.2	11.3	12.3	16.3	10.7	3.00	65.01	43.10
80	3.8	7.3	8.3	9.4	12.2	8.2	2.10	75.51	33.00
90	3.4	5.2	6.2	6.9	7.3	5.8	0.98	88.63	23.65
100	3.0	3.9	4.5	5.2	5.9	4.5	0.73	91.55	17.95

Finalmente. como ultimo aislado se registró la presencia *Cunninghamella arunaloeki* (84.91% GenBank: NR_177485.1). Lo que indica una relación filogenética cercana, aunque no absoluta, que podría corresponder a una cepa ambiental divergente.

A nivel funcional. esta cepa mostró una tasa de crecimiento MLGR simple de 8.13 mm/día en condiciones de baja concentración (0.5 mg/L). manteniendo un rendimiento casi comparable al de G7. Sin embargo. su comportamiento frente a concentraciones crecientes reveló una tolerancia intermedia, con un PI% que alcanzó un 90.88% a 100 ppm (**Fig. 25**).

Fig. 25. Interacción metálica de *Cunninghamella arunaloeki* (G10).



El valor de AUC fue el más elevado del grupo (110.45 a 0.5 ppm), decayendo progresivamente hasta 18.00 mm/día, aunque sin presentar un colapso abrupto lo que sugiere un proceso de inhibición más gradual (Iqbal et al., 2020). Esta dinámica de respuesta podría interpretarse como una estrategia fisiológica adaptativa hasta concentraciones moderadas (Li et al., 2025).

Este perfil sugiere que *C. arunaloeki* podría poseer mecanismos de adaptación más refinados frente a condiciones ambientales adversas, como producción de compuestos antioxidantes o ajustes regulatorios (Oladipo et al., 2018). Por lo tanto. su uso potencial se orienta a biorremediación en fases tempranas de contaminación metálica, con mayor estabilidad que otros miembros del género (**Tabla 20**).

Los tres aislamientos del género *Cunninghamella* (G2, G5 y G10) exhibieron respuestas diferenciadas frente al estrés por metales, reflejando una notable diversidad funcional dentro del mismo linaje. *C. echinulata* (G2) mostró una alta sensibilidad a concentraciones elevadas, aunque con buen crecimiento en condiciones leves de estrés, lo que lo posiciona como posible bioindicador en fases tempranas de contaminación.

C. blakesleeana (G5) evidenció la mayor vulnerabilidad del grupo con un colapso fisiológico abrupto, lo que refuerza su valor como centinela de estrés agudo, pero limita su uso en ambientes contaminados de forma crónica.

En contraste, *C. arunaloeki* (G10) presentó una inhibición más gradual y un desempeño sostenido a concentraciones intermedias, sugiriendo una mayor capacidad adaptativa y potencial para aplicaciones en procesos de biorremediación en etapas iniciales.

Estas diferencias reafirman la importancia de combinar datos moleculares y fisiológicos para seleccionar cepas funcionalmente aptas en estrategias de monitoreo y descontaminación ambiental (Güneş et al., 2022). La degradación microbiana, incluyendo la posible aplicación de *Cunninghamella arunaloeki*, representa una estrategia prometedora para la remediación ambiental. Este método se considera sostenible, ya que aprovecha la capacidad natural de los microorganismos para degradar diversos contaminantes (Wang et al., 2024). La diversidad de respuestas entre aislados destaca la importancia de combinar la identificación molecular con ensayos funcionales para seleccionar cepas con verdadero potencial en biotecnología ambiental.

La interacción de hongos con metales pesados revela una notable variabilidad en su tolerancia y capacidad de bioacumulación, lo que los posiciona como organismos clave en estrategias de biorremediación de suelos contaminados (Aportela & Paulino, 2020).

Esta respuesta diferencial, influenciada por la especie y el entorno se sustenta en mecanismos fisiológicos como la quelación, adsorción celular y transformación química de los metales (Covarrubias et al., 2015). En particular, géneros como *Cunninghamella* han demostrado un alto potencial para resistir y transformar contaminantes como cadmio y plomo, lo que los convierte en candidatos prometedores para mitigar la toxicidad ambiental y restaurar ecosistemas degradados (Sierra et al., 2014).

La combinación de análisis morfológicos, pruebas de tolerancia y caracterización molecular proporciona una base sólida para futuras investigaciones aplicadas en este campo.

Tabla 20. Comportamiento de *Cunninghamella arunalokei* frente a la interacción metálica (G10).

***Cunninghamella arunalokei* (G10)**

Concentraciones (mg/L)	Diámetro en mm/día					Promedio	MLGR (mm/día)	PI%	AUC
	1	2	3	4	5				
0.5	10.3	18.4	28.5	37.0	42.8	27.4	8.13	1.22	110.45
2	9.8	18.0	27.5	36.5	42.1	26.8	8.08	1.82	107.95
5	9.1	17.6	26.5	35.4	41.3	26.0	8.05	2.13	104.70
10	8.3	17.0	25.4	33.4	40.4	24.9	8.03	2.43	100.15
20	7.5	16.4	24.3	31.2	38.4	23.6	7.73	6.08	94.85
30	7.0	15.3	23.1	29.4	36.4	22.2	7.35	10.64	89.50
40	6.6	14.6	22.3	27.4	34.2	21.0	6.90	16.11	84.70
50	6.0	13.2	21.3	25.3	30.3	19.2	6.08	26.14	77.95
60	5.4	11.2	20.3	23.5	27.4	17.6	5.50	33.13	71.40
70	4.7	10.4	18.4	20.4	23.4	15.5	4.68	43.16	63.25
80	4.1	8.3	13.0	16.4	19.4	12.2	3.83	53.50	49.45
90	3.6	5.2	8.4	11.3	14.3	8.6	2.68	67.48	33.85
100	3.0	3.7	4.5	5.3	6.0	4.5	0.75	90.88	18.00

Tabla 21. Comportamiento ecosistémico de los aislados fúngicos de *Helianthus annuus*.

Nombre científico	Comportamiento ecosistémico	Tipo funcional	Origen estimado	Referencias
<i>Cunninghamella echinulata</i> (AUMC 14396)	Saprótrofo ambiental	Bio-absorbente y degradador de materia orgánica y contaminantes	Suelos agrícolas, residuos vegetales.	(Dourou et al., 2021); (Khan & Murphy, 2021);(Ibrahim et al., 2018)
<i>Cunninghamella blakesleeana</i> (CBS 133.27)	Saprótrofo oportunista	Transformador orgánico; útil en biocatálisis	Suelos ricos en materia orgánica y residuos industriales	(Farooq et al., 2018); (Khan et al., 2021); (Ye et al., 2023).
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Endófito y patógeno	Tolerante a metales; necro-trófico en plantas	Tejidos leñosos, frutos, cortezas y ambientes tropicales	(Terhonen et al. 2019); (Peng et al. 2022); (Ali et al. 2020).
<i>Cunninghamella arunalokei</i> (NCCPF 890012)	Saprótrofo con registros clínicos ocasionales.	Degradador ambiental; (patógeno oportunista)	Suelos húmedos, residuos agrícolas y ambientes orgánicos	(Okon, 2019); (Yeganeh, 2020); (Güneş et al., 2022).

V. CONCLUSIONES

1. La identificación molecular permitió conocer el taxón de *Lasiodiplodia theobromae*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus welwitschiae*, *Cunninghamella echinulata*, *Mucor frágil* hongos asociados al rizoplaneo de *Momordica charantia*, con un nivel de tolerancia muy alto. donde la relación del crecimiento micelar y el PI %, se rige en sentido simultaneo, a medida que la concentración aumenta, el crecimiento micelar entra en decadencia, donde el crecimiento es constante y la etapa de coyuntura se resalta a partir del 70 – 80 mg/L.
2. Los agentes fúngicos evaluados e identificados mostraron una respuesta variable ante la exposición metálica, destacando *Cunninghamella echinulata*, *Cunninghamella blakesleeana*, *C. arunalokei* y *Lasiodiplodia theobromae*, aislados del rizoplaneo de *Helianthus annuus*, por su alta tolerancia y crecimiento constante hasta concentraciones de 60 -70 mg/L, siendo el límite máximo de inhibición 90 - 100mg/L, lo que indica una mayor capacidad adaptativa y los posiciona como candidatos prometedores para procesos de biorremediación.
3. Se evidenció una relación inversamente proporcional entre la tasa de crecimiento micelial (MLGR) y el porcentaje de inhibición (PI%), reflejando sensibilidad progresiva a mayores concentraciones y una resistencia parcial en niveles intermedios, útil para seleccionar cepas según el grado de contaminación del suelo, donde los aislados provenientes de *Momordica charantia* y *Helianthus annuus* mostraron comportamientos similares en algunos casos, pero con ciertas diferencias en la tolerancia al metal, lo que sugiere que el entorno del hospedador también puede influir en la resistencia fúngica.
4. Aunque los resultados son promisorios en condiciones controladas, se requiere validar el comportamiento de las cepas en condiciones de campo, así como estudiar a mayor profundidad los mecanismos moleculares implicados en la tolerancia a metales pesados, con el fin de optimizar su aplicación en estrategias reales de biorremediación.

VI. RECOMENDACIONES

Incluir otros hospederos vegetales y suelos con distintos niveles de contaminación puede aumentar la diversidad fúngica y revelar cepas con mayor tolerancia a metales pesados.

Se recomienda profundizar en la producción de sideróforos, enzimas antioxidantes o metabolitos secundarios que expliquen la tolerancia observada en los hongos.

Realizar ensayos en suelos contaminados o sistemas simulados que permitan confirmar la eficacia de las cepas en ambientes naturales.

Complementar el análisis ITS con otros marcadores genéticos mejorará la precisión en la identificación de las especies y su posible aplicación biotecnológica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abadie, C., Lamothe-Sibold, M., Mauve, C., Gilard, F., & Tcherkez, G. (2015). Leaf Green-White Variegation Is Advantageous Under N Deprivation in *Pelargonium×hortorum*. *Functional Plant Biology*, 42(6), 543. <https://doi.org/10.1071/fp14250>
- Acosta, I., Moctezuma-Zárate, M. d. G., Cardenas, J., & Gutiérrez, C. (2007). Bioadsorción De Cadmio (II) en Solución Acuosa Por Biomasa Fúngicas. *Información Tecnológica*, 18(1). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642007000100003>
- Adumanya, O. C. U., Onwubuche, B. C., Nwinee, S. A., & Umensofor, G. A. (2022). Biosorption Potentials of *Pleurotus Tuber-Regium* (Fr.) Sing in Lead and Cadmium Polluted Soil. *J Pollut Monit Eval Stud Contr*, 1(1), 1-3. <https://doi.org/10.54117/jpmesc.v1i1.1>
- Agosto, V. (2007). *Evaluación de dos sistemas de tutorio en dos variedades de cundeamor (Momordica charantia L.) en los llanos de la La Fragua, Zacapa* Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Aguirre, H., Viteri, P., León, P., Mayía, Y., Cobos, P., Mero, M., & Pernía, B. (2022). Phytotoxicity of cadmium on the germination and initial growth of Ecuadorian maize varieties [Article]. *Bioagro*, 34(1), 3-14. <https://doi.org/10.51372/bioagro341.1>
- Alderete-Suárez, M., Valles-Aragón, C., Canales-Reyes, S., Peralta-Pérez, R., & Orrantia-Borunda, E. (2019). Bioconcentración de Pb, y Cd en la biomasa de *Eleocharis Macrostachya* (CYPERACEAE). *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 35(esp03), 93-101. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.esp03.11>
- Ali, S. S., Asman, A., Shao, J., Balidion, J. F., Strem, M. D., Puig, A. S., Meinhardt, L. W., & Bailey, B. A. (2020). Genome and Transcriptome Analysis of the Latent Pathogen *Lasiodiplodia Theobromae*, an Emerging Threat to the Cacao Industry. *Genome*, 63(1), 37-52. <https://doi.org/10.1139/gen-2019-0112>
- Allende, R., Picos Muñoz, P., Márquez Zequera, I., Carrillo Fasio, J., García Estrada, R., & León Félix, J. (2013). Identificación morfológica y molecular de *Penicillium oxalicum* causante de pudrición de tallos y frutos de tomate. *Revista mexicana de fitopatología*, 31(1), 13-19.

- Aminah, A., & Anna, P. (2011). Influence of ripening stages on physicochemical characteristics and antioxidant properties of bitter gourd (*Momordica charantia*). *International Food Research Journal*, 18(3).
- ANA; Asociación Nacional del Agua (2019). *Vertimientos y contaminación*. <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/tumbes/VC>
- Andrade, R. F. d. S., Silva, T. A. L., Ribeaux, D. R., Rodríguez, D. M., Souza, A. F. d., Lima, M. A. B. d., Lima, R. A., Silva, C. A. A. d., & Campos-Takaki, G. M. d. (2018). Promising Biosurfactant Produced by *Cunninghamella Echinulata* UCP 1299 Using Renewable Resources and Its Application in Cotton Fabric Cleaning Process. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018(1). <https://doi.org/10.1155/2018/1624573>
- Aportela, O. G., & Paulino, L. R. M. (2020). Evaluación De Metales Pesados en Ríos Y Truchas *Oncorhynchus Mykiss* De La Región Pasco, Perú. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 32-48. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.93>
- Arcos, J., Jara, N., & Josselyn, G. (2024). Toxicity of Metals from the Mining Industry in Latin American Countries. *Espoch Congresses: The Ecuadorian Journal of steam*, 110–128-110–128.
- Armas, S., & Ramírez, D. (2020). Aplicación del compost, para la absorción de metales pesados usando girasol (*Helianthus Annus L.*) en suelos procedentes del distrito de Irazola, Perú.
- Arteta, Y., Moreno, M., Steffanell, I., Aguilar, O., & Zuñiga, L. (2018). Assessment of the elements to be considered in the design of an environmental management model in watersheds from a socially responsible approach through the application of the individual aggregation experts' selection method [Article]. *Espacios*, 39(41). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055940053&partnerID=40&md5=ea9f68981dd96ed2d4e12468bb0389f0>
- Baack, E. J., Whitney, K. D., & Rieseberg, L. H. (2005). Hybridization and Genome Size Evolution: Timing and Magnitude of Nuclear DNA Content Increases in *Helianthus* Homoploid Hybrid Species. *New Phytologist*, 167(2), 623-630. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01433.x>
- Baranda, Y. H., Peña-Icart, M., Pérez, Z. N. C., Hernández, Y. M., Rubio, O. C., Ortego, J. L. M., Machado, I. E., Estévez, M. M., & Hernández, P. R. (2024). Effects of cadmium

on the physiology of *Solanum lycopersicum* L. grown in alternative hydroponic media [Article]. *Agronomia Colombiana*, 42(1), Article e112814. <https://doi.org/10.15446/AGron.Colombia.V42N1.112814>

Basch, E., Gabardi, S., & Ulbricht, C. (2003). Bitter melon (*Momordica charantia*): a review of efficacy and safety. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 60(4), 356-359.

Batool, N., Munazir, M., Qureshi, R., Anwar, T., Qureshi, H., Saba, I., Ikram, S., Ullah, N., Soufan, W., & Zaman, W. (2024). Morphological and physiological responses of *Momordica charantia* to heavy metals and nutrient toxicity in contaminated water. *Scientific Reports*, 14(1), 1-12.

Becerra, A. G., Marta, C., R., Z. M., & and Bartoloni, N. (2009). Arbuscular mycorrhizae of dominant plant species in Yungas forests, Argentina. *Mycologia*, 101(5), 612-621. <https://doi.org/10.3852/08-176>

Becheran, D. E., Corzo, M. A., Ploschuk, E. L., Nicosia, S., Moschen, S., Bengoa Luoni, S., Di Rienzo, J., Heinz, N., Álvarez, D., & Fernandez, P. (2024). Ecophysiological and Molecular Analysis of Contrasting Genotypes for Leaf Senescence in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Under Differential Doses of N in Soil [Article]. *Plants*, 13(24), Article 3540. <https://doi.org/10.3390/plants13243540>

Betts, K. S. (2011). Environmental pollution and child health: Domestic monitors establish cardiorespiratory connections [Note]. *Salud Publica de Mexico*, 53(5), 459-460. <https://doi.org/10.1590/s0036-36342011000500016>

Beyra, Á., León, M., Iglesias, E., Ferrándiz, D., Herrera, R., Volpato, G., Godínez, D., Guimarais, M., & Álvarez, R. (2004). Estudios etnobotánicos sobre plantas medicinales en la provincia de Camagüey (Cuba). *Anales del jardín botánico de Madrid*,

Bharathi, L. K., & John, K. J. (2013). Taxonomy and Biosystematics. In L. K. Bharathi & K. J. John (Eds.), *Momordica genus in Asia - An Overview* (pp. 45-60). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1032-0_4

Bhusal, N., Pahuja, S. K., Vats, A. K., Srivastava, A., & Kumar, R. (2017). Morphological Characterization of Forage Sorghum Genotypes for Its Various DUS Traits. *Journal of Applied and Natural Science*, 9(2), 912-919. <https://doi.org/10.31018/jans.v9i2.1297>

- Borjas-Ventura, R., Bello-Medina, N., Bello-Amez, S., Alvarado-Huamán, L., Rebaza-Fernandez, D., Tapia Y Figueroa, L., Castro-Cepero, V., & Julca-Otiniano, A. (2022). Differentiated Cadmium uptake and its effect on the physiology of six Cacao Genotypes (*Theobroma cacao* L.) in San Ramón Central Peruvian Jungle. [Article]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3), Article 087. <https://doi.org/10.56369/TSAES.4000>
- Borneman, J., & Hartin, R. J. (2000). PCR Primers That Amplify Fungal rRNA Genes From Environmental Samples. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(10), 4356-4360. <https://doi.org/10.1128/aem.66.10.4356-4360.2000>
- Bortolotti, M., Mercatelli, D., & Polito, L. (2019). *Momordica charantia*, a Nutraceutical Approach for Inflammatory Related Diseases. *Front Pharmacol*, 10, 486. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.00486>
- Bravo, C., & Quispe, L. (2018). Metales pesados: Fuentes y su toxicidad sobre la salud humana. *Ciencias*, 2(1), 20-36.
- Bustamante, J., Chaparro, A., & Peláez, M. (2015). Impacto de las actividades antrópicas derivadas de la industria petrolera en relación con la presencia de metales pesados en la ganadería bovina colombiana. *Revista de toxicología*, 32(2), 127-130.
- Bustamante Leyva, C. D., & Buitron Alvarado, L. Á. (2020). Nèctar de aguaymanto (*Physalis peruviana*), balsamina (*Momordica charantia* L.) y arándanos (*Vaccinium myrtillus*) y su efecto en la glicemia.
- Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(3), 409-421.
- Cartaya-Rubio, E., Mujica-Perez, Y., & Blanco-Valdes, Y. (2024). Influence of mycorrhizal fungi on growth and cadmium adsorption in sunflower (*Helianthus annuus* L.) [Article]. *Agronomía Mesoamericana*, 35. <https://doi.org/10.15517/am.2024.57500>
- Cartaya - Rubio, O., Pérez, Y., & Blanco, Y. (2024). Influencia De Hongos Micorrícicos en El Crecimiento Y La Adsorción De Cadmio en Girasol (*Helianthus Annuus* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 57500. <https://doi.org/10.15517/am.2024.57500>
- Castillo, I. (2018). Estudio fisicoquímico, microbiológico, contenido de metales pesados y alternativas de solución en el agua potable del Distrito de Ilave–Puno 2018.

- Castrillón, L., Pino, N., & Peñuela, G. (2012). Biosorción de plomo por tres diferentes tipos de biomasa de *Aspergillus niger* aislado de un sitio con múltiple contaminación.
- Castro, J. C., Cobos, M., Saavedra, R. R., & Correa, S. I. (2012). Aislamiento de ADN genómico de *Myrciaria Dubia* (HBK) "Camu camu" Apropiado para análisis molecular. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 2(1), 7. <https://doi.org/10.22386/ca.v2i1.19>
- Cayotopa-Torres, J., Arévalo-López, L., Pichis-García, R., Olivera-Cayotopa, D., Rimachi-Valle, M., & Márquez-Dávila, K. (2021). New cadmium bioremediation agents: *Trichoderma* species native to the rhizosphere of cacao trees [Article]. *Scientia Agropecuaria*, 24(2), 155-160. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.017>
- Chávez-Gómez, N., Cabello-López, A., Gopar-Nieto, R., Aguilar-Madrid, G., Marin-López, K., Aceves-Valdez, M., Jiménez-Ramírez, C., Cruz-Angulo, M., & Juárez-Pérez, C. (2017). Enfermedad renal crónica en México y su relación con los metales pesados. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 55(6), 725-734.
- Chávez, G., Estrada, N., Gómez, J., Choque, R., Crespo, C., & Alvarez, M. (2013). Potencial de cepas fúngicas aisladas en el área de Biotecnología Fúngica. Primera parte: Uso de hongos en biorremediación. *Revista Con-Ciencia*, 1, 85.
- Chen, F., Xiao, L., Huang, Q., Xiang, L., Li, Q., Hou, X., Lei, Z., & Zeng, Y. (2024). Physiological Evaluation of Salt Tolerance in Sunflower Seedlings Across Different Genotypes [Article]. *Agronomy*, 14(12), Article 2995. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122995>
- Chen, S. C., Meyer, W., Sorrell, T. C., & Halliday, C. (2023). *Aspergillus*, *Talaromyces*, And *Penicillium*., 1-32. <https://doi.org/10.1002/9781683670438.mcm0123>
- Chowdhury, H. A., Islam, N., Hossain, B., Ahmed, M. I., Mohsin, S. M., & Islam, R. (2015). A Comparative Analysis of Culture Media for Optimizing the Mycelial Growth and Sporulation of *Stemphylium Vesicarium* Cause of White Blotch of Onion. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 5(6). <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.06.006>
- Chukwuma, C., Nengi-Benwari, A. O., & Kamalu, O. J. (2025). Bioremediation of Crude Oil-Contaminated Soil Using *Pseudomonas Aeruginosa* and *Aspergillus Niger*. *South Asian Journal of Research in Microbiology*, 19(4), 21-32. <https://doi.org/10.9734/sajrm/2025/v19i4428>

- Corbisier, P., Broothaerts, W., Gioria, S., Schimmel, H., Burns, M., Baoutina, A., Emslie, K. R., Furui, S., Kurosawa, Y., Holden, M. J., Kim, H.-H., Lee, Y., Kawaharasaki, M., Sin, D. W.-m., & Wang, J. (2007). Toward Metrological Traceability for DNA Fragment Ratios in GM Quantification. 1. Effect of DNA Extraction Methods on the Quantitative Determination of Bt176 Corn by Real-Time PCR. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(9), 3249-3257. <https://doi.org/10.1021/jf062931l>
- Correa, A. M., Vásquez, A. O., Trespalacios, A. A., & Suárez-Obando, F. (2017). Inhibición Del Crecimiento De *Erwinia Chrysanthemi* a Diferentes Concentraciones De Ácido Fólico: Posible Uso Del Ácido Fólico Como Agente Bacteriostático Y Fortificante De La Papa *Solanum Tuberosum*. *Universidad Y Salud*, *19*(1), 140. <https://doi.org/10.22267/rus.171901.77>
- Covarrubias, S. A., Berumen, J. A. G., & Peña-Cabriales, J. J. (2015). Microorganisms Role in the Bioremediation of Contaminated Soils With Heavy Metals. *Acta Universitaria*, *25*(NE-3), 40-45. <https://doi.org/10.15174/au.2015.907>
- Cruz, M., Acosta-suárez, M., Mena, E., Roque, B., Michel, L. M., Pichardo, T., Castro, R., Alvarado-Capó, Y., Autora, P., & Correspondencia. (2018). Cuantificación del crecimiento in vitro de *Mycosphaerella fijiensis* mediante lecturas de absorbancia.
- da Silva, O. B., de Castro, E. M., Pereira, M. P., Borges, I. A., Luiz Cândido, E., de Carvalho, C. G. P., & de Carvalho, L. M. (2025). Leaf morphoanatomical and physiological characteristics of sunflower genotypes under water deficit [Article]. *South African Journal of Botany*, *178*, 244-256. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.01.018>
- Damian, S., Laveriano, M., Rodriguez, L., Egúsquiza, M., del Pilar, R., Paz, A., & Romero, C. (2024). Impact of agricultural pollution on environmental sustainability: A Systematic Literary Review. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology,
- De la Torre-Munilla, P., Vicente-Vicente, L., Prieto, M., Casanova, A., & Morales, A. (2021). Neurotoxicidad por exposición a metales pesados: evidencias y cuestiones por resolver. *Revista de toxicología*, *38*(2), 103-108.
- de Luna, K. A. C., da Silva, R. V. G., Ribeiro, N. A., Fabrino, F. M., Freitas, P. G. N., de Soutello, R. V. G., & Rodrigues, M. G. F. (2025). Germination and growth control in ornamental sunflower grown under photoconverter screen using different doses of

gibberellic acid [Article]. *Semina:Ciencias Agrarias*, 46(1), 255-266.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n1p255>

de Mendoza, M. H., Rodríguez, F. S., Moreno, D. H., Rodríguez, M. G., Beceiro, A. L., & López, M. P. (2006). Estudio comparativo del nivel hepático de metales pesados y metaloides en aves rapaces diurnas de Galicia y Extremadura. *Revista de toxicología*, 23(2-3), 138-145.

de Mera, A. G., Linares-Perea, E., Martos, F., Montoya-Quino, J., Rodríguez-Zegarra, C., & Torres-Marquina, I. (2019). Distribución bioclimática de plantas medicinales y sus principios activos en el departamento de Cajamarca (Perú). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 18(2), 130-143.

Demir, T., Mutlu, E., & Gültepe, N. (2024). Bioaccumulation of heavy metals in Capoeta tinca fish and health risk assessment [Article]. *Revista Científica de la Facultad de Veterinaria*, 34(2), Article rcfcv-e34345. <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e34345>

DIRESA, D. R. d. S. (2023). *II Monitoreo de Metales Pesados 2023* (Vol. 2). <https://www.gob.pe/institucion/regiontumbes-diresa/informes-publicaciones/6506052-ii-monitoreo-de-metales-pesados-2023>

Dolatmand-Shahri, N., Modarres-Sanavy, S., Mirjalili, M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2024). Study the yield and quality of bitter melon fruit (*Momordica charantia*) in inoculation with two species of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer under different irrigation regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 208, 108479. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108479>

Dourou, M., Economou, C. N., Aggeli, L., Janák, M., Valdés, G., Elezi, N., Kakavas, D., Papageorgiou, T., Vayenas, D. V., Čertík, M., & Aggelis, G. (2021). Bioconversion of Pomegranate Residues Into Biofuels and Bioactive Lipids. <https://doi.org/10.1101/2021.04.27.441664>

Dresch, P., Aguianno, M. N. D., Rosam, K., Grienke, U., Rollinger, J. M., & Peintner, U. (2015). Fungal Strain Matters: Colony Growth and Bioactivity of the European Medicinal Polypores *Fomes Fomentarius*, *Fomitopsis Pinicola* and *Piptoporus Betulinus*. *Amb Express*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-014-0093-0>

Duarte, E. A. A., Damasceno, C. L., Thiago Alves Santos de, O., Barbosa, L. d. O., Martins, F. M., Jurema Rosa de Queiroz, S., Thaís Emanuelle Feijó de, L., Silva, R. M. d., Kato, R. B., Bortolini, D. E., Azevedo, V., Goés-Neto, A., & Soares, A. C. F. (2018).

Putting the Mess in Order: *Aspergillus Welwitschiae* (And Not *A. Niger*) Is the Etiological Agent of Sisal Bole Rot Disease in Brazil. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01227>

Dufau, G., Monzón, A., Guerra, J., Santo, U., Caballero, S., Castrejon, K., & Sanjur, M. (2021). Caracterización morfofisiológica y molecular de hongos entomopatógenos asociados a *Hypothenemus hampei* en áreas cafetaleras de la comarca Ngäbe-Buglè. *La Calera*, 21(36).

Duran-Izquierdo, M., Sierra-Marquez, L., Taboada-Alquerque, M., & Olívero-Verbel, J. (2023). Simira Cordifolia Protects Against Metal Induced-Toxicity in *Caenorhabditis Elegans*. *Frontiers in Pharmacology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1235190>

Echeverry, G., Zapata, A. M., Páez, M. I., Méndez, F., & Peña, M. (2015). Evaluation of human health risk for a population from Cali, Colombia, by exposure to lead, cadmium, mercury, 2,4-dichloro-phenoxyacetic acid and diuron associated with water and food consumption [Article]. *Biomedica*, 35(3), 110-119. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2464>

Edding, M., Tala, F., & Vásquez, J. (2006). Fotosíntesis, productividad y algas marinas. *Fisiología Vegetal*, 1-39.

Espinoza, J. E. C., Valle-Gough, R. E., Núñez-Ramírez, F., Gámez, S. U. S., Gavira, J. M. B., Sauret, L. T., Valenzuela, O. A. M., & Gámez, B. Y. S. (2023). Aislamiento e Identificación de Hongos Fitopatógenos en Dátiles en Poscosecha en Valle de Mexicali, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 27(Especial). <https://doi.org/10.53897/revaia.23.27.18>

Estupiñan, M. J. M., Recalde, S., Orozco, K., & Ponce, W. (2020). Analysis of Heavy Metals in *Azadirachta Indica* A. Juss Leaves, as Bioindicator for Monitoring Environmental Pollution in Guayaquil, Ecuador. <https://doi.org/10.11159/icepr20.145>

Eugenia, A., Leticia, F., & Julio, G. (2009). Cadmium toxicity for humans and the environment [Article]. *Informe Medico*, 11(11), 597-605. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79953705393&partnerID=40&md5=35f93425cac70d59d8e096c7d500e7b5>

Farooq, R., Hussain, N., Yousuf, S., Wahab, A. t., Ahmad, M. S., Rahman, A. u., & Choudhary, M. I. (2018). Microbial Transformation of Mestanolone

By*Macrophomina Phaseolina* and*Cunninghamella Blakesleeana* and Anticancer Activities of the Transformed Products. *RSC Advances*, 8(39), 21985-21992. <https://doi.org/10.1039/c8ra01309h>

Fazli, M. M., Soleimani, N., Mehrasbi, M. R., Darabian, S., Mohammadi, J., & Ramazani, A. (2015). Highly Cadmium Tolerant Fungi: Their Tolerance and Removal Potential. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0176-0>

Fern, C., Decock, C., Amauri, M., Abreu-Romero, N., & Abreu-Romero, A. (2018). Caracterización Molecular de hongos endófitos de *Theobroma cacao* L del oriente cubano. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 22(2), 72-80.

Ferreira, T., Santos, F., & Pessoa, F. (2013). Biorremediación de un suelo tropical contaminado con residuos aceitosos intemperizados. *Revista internacional de contaminación ambiental.*, 29(1), 21-28.

Flores, A., & Silva, F. (2019). *Caracterización fisicoquímica en el tratamiento del agua con la utilización de la "Cumulopuntia Unguispina" para la remoción de metales pesados de la irrigación San Camilo del Distrito de la Joya Arequipa*

Flores, C., Del-Angel, E., Frías, D., & Gómez, A. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(2), 39-57.

Flores, H., Flores, J., Varela, S., Pérez, A., Azuara, A., & Monteon-Ojeda, A. (2021). Reporte de *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon y Maubl. en árboles cítricos de Tamaulipas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(3), 499-511.

Florida, N. (2021). Revisión sobre límites máximos de cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencias de la Vida*, 34(2), 117-130.

Friberg, L. T., Elinder, G.-G., Kjellstrom, T., & Nordberg, G. F. (2019). *Cadmium and health: A toxicological and epidemiological appraisal: Volume 2: Effects and response* (Vol. 1). CRC press.

Fulekar, M. H., & Singh, A. (2010). Phytoremediation of Low Level Nuclear Waste. In M. H. Fulekar (Ed.), *Bioremediation Technology: Recent Advances* (pp. 315-336). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3678-0_11

- Gadd, G. M. (2007). Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. *Mycological Research*, 111(1), 3-49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.12.001>
- García, J., & Arceo, E. (2018). Daño renal asociado a metales pesados: trabajo de revisión. *Revista Colombiana de Nefrología*, 5(1), 43-53.
- García, L., Castro, F., Hernández-Amasifuen, A., Corazon-Guivin, M., Vásquez, J., Guerrero-Abad, J., Arellanos, E., Veneros, J., Rojas B, N., Quintana, S., & Oliva, M. (2021). Global studies of cadmium in relation to Theobroma cacao: A bibliometric analysis from Scopus (1996 -2020) [Review]. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 611-623. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.065>
- García, R., Barrera, A., Taco, C., & Padilla, M. (2020). Bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons based on bacteria used as bioproducts [Article]. *Revista Lasallista de Investigacion*, 17(1), 177-187. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a19>
- Geremew, D., Shiberu, T., & Leta, A. (2024). Isolation, Morphological Characterization, and Screening Virulence of Beauveria Bassiana and Metarhizium Robertsii Fungal Isolates in Galleria Mellonella. *F1000research*, 12, 827. <https://doi.org/10.12688/f1000research.134020.4>
- Gits-Muselli, M., Hamane, S., Vérillaud, B., Cherpin, E., Denis, B., Bondeelle, L., Touratier, S., Alanio, A., García-Hermoso, D., & Bretagne, S. (2021). Different Repartition of the Cryptic Species of Black Aspergilli According to the Anatomical Sites in Human Infections, in a French University Hospital. *Medical Mycology*, 59(10), 985-992. <https://doi.org/10.1093/mmy/myab027>
- Giuliani, C., Tani, C., & Maleci Bini, L. (2016). Micromorphology and anatomy of fruits and seeds of bitter melon (*Momordica charantia* L., Cucurbitaceae). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 85(1).
- Gómez, S. N., Vergara, M. E. M., Rivadeneira, B., Rodríguez-Díaz, J. M., & Carpio, A. J. (2024). Use of Lichens as Bioindicators of Contamination by Agrochemicals and Metals. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(36), 49214-49226. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34450-z>
- Gómez, X., Tzintzun-Pedraza, K. X., Osuna-Vallejo, V., & Lindig-Cisneros, R. (2021). Respuesta De Plantas Jóvenes De Cuatro Especies De Coníferas a La Exposición Al Mercurio. *Madera Y Bosques*, 27(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732160>

- Gonzales, G., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K., & Steenland, K. (2014a). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 31, 547-556.
- Gonzales, G., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K., & Steenland, K. (2014b). Environmental pollution, climate variability and climate change: A review of health impacts on the peruvian population [Article]. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 31(3), 547-556. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84910668871&partnerID=40&md5=5ef7ec214460316fd5e9c96202e434b7>
- Gonzales, Y. T., Rojas-Carrizales, A. G., Salas-Contreras, W. H., & Benavides, R. A. H. (2021). Fitorremediación De Suelos Contaminados Por Metales Pesados. *Scientific Research Journal Cidi*, 1(1), 25-36. <https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.43>
- González-Díaz, S. N., De Lira-Quezada, C. E., Villarreal-González, R. V., & Canseco-Villarreal, J. I. (2022). Environmental pollution and allergy [Article]. *Revista Alergia Mexico*, 69, S24-S30. <https://doi.org/10.29262/ram.v69iSup1.1010>
- González-Fernández, B., Rodríguez-Valdés, E., & Gallego, J. (2018). Aquifer pollution with heavy metals of geogenic origin: Importance of geological and hydrogeological control of boreholes for groundwater supply [Article]. *Geogaceta*, 64, 59-62. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063001278&partnerID=40&md5=fb721cc76ed9c040d40481141bd9aeb6>
- González-Flores, E., Tornero-Campante, M., Sandoval-Castro, E., Pérez-Magaña, A., & Gordillo-Martínez, A. (2011). Fractionation and bioavailability of heavy metals in agricultural soils amended with municipal biosolids [Article]. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 27(4), 291-301. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84857460625&partnerID=40&md5=5f3b07bf9bede9830e445a76967e16d4>
- González, E., Tornero, M., Ángeles, Y., & Bonilla, N. (2009). Total concentration and speciation of heavy metals in urban origin biosolids [Article]. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(1), 15-22. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77953673988&partnerID=40&md5=93c6a10c583fa370463a78d45a8e9882>

- Granados-Montero, M., Zúñiga-Castañeda, M., Chaverri-Echandi, P., Escudero-Leyva, E., & Mardones-Hidalgo, M. (2022). Patogenicidad de hongos asociados a plantas de fresa (*Fragaria ananassa*) y descripción ultraestructural del patosistema. *Agronomía costarricense*, 46(2), 9-28.
- Gratero, L. R. A., Molina, J. Á., Figueroa-Ruiz, R., & Barrios, F. P. (2023). Optimización De Un Protocolo Para Aislamiento De ADN en Tejido Foliar De Cacao (*Theobroma Cacao* L.) Para La Amplificación Con Marcadores Moleculares. *Revista Científica Ecociencia*, 10(4), 68-87. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.104.835>
- Gréau, L., Blaudez, D., Heintz, D., Zumsteg, J., Billet, D., & Cébron, A. (2022). Response of Poplar and Associated Fungal Endophytic Communities to a PAH Contamination Gradient. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11), 5909. <https://doi.org/10.3390/ijms23115909>
- Grover, J. K., & Yadav, S. P. (2004). Pharmacological actions and potential uses of *Momordica charantia*: a review. *Journal of ethnopharmacology*, 93(1), 123-132.
- Guaman, J. F. I., Moreno, C. G. R., & Guaman, C. F. I. (2022). Determinantes Genéticos Y Sus Mecanismos De Acción Implicados en La Resistencia Bacteriana a Metales Pesados: Una Revisión. *Perfiles*, 1(27), 26-38. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i27.147>
- Guerrero, A. J. M. (2019). Estudio Bibliométrico De La Producción Científica Sobre La Inspección Educativa. *Reice Revista Iberoamericana Sobre Calidad Eficacia Y Cambio en Educación*, 17(3). <https://doi.org/10.15366/reice2019.17.3.002>
- Guigón-López, C., Guerrero-Prieto, V., Vargas-Albores, F., Carvajal-Millán, E., Ávila-Quezada, G., Bravo-Luna, L., Ruocco, M., Lanzuise, S., Woo, S., & Lorito, M. (2010). Identificación molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp. su tasa de crecimiento in vitro y antagonismo contra hongos fitopatógenos. *Revista mexicana de fitopatología*, 28(2), 87-96.
- Guin-po, P. C. (2024). Crecimiento Miceliar in Vitro De 2 Cepas De *Grifola Gargal* en Diferentes Medios De Cultivo Y Niveles De pH. *Ciencia & Investigación Forestal*, 61-72. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.599>
- Güneş, N., Bayar, Y., Danilina, M., & Öztürk, O. (2022). Do Stringent Environmental Policies and Business Regulations Matter for Economic Growth? Evidence From G7 and

BRICS Economies. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(4), 3083-3094.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/146464>

Guo, H.-b., Liu, W., Xie, Y., Wang, Z., Huang, C., Yi, J., Yang, Z.-Q., Zhao, J., Yu, X. D., & Sibirina, L. A. (2024). Soil Microbiome of Shiro Reveals the Symbiotic Relationship Between *Tricholoma Bakamatsutake* and *Quercus Mongolica*. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1361117>

Gutiérrez-Martínez, P. B., Ramírez-Hernández, B. C., & Maldonado-Villegas, M. M. (2024). Efecto del cadmio en el contenido de pigmentos fotosintéticos, estructura de la raíz, y concentración de nutrientes en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) [Article]. *Scientia Agropecuaria*, 15(4), 483-493.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.035>

Gutiérrez, C. (2012). Prevalencia del enteroparasitismo en la población escolar de Nuevo Tumbes (Tumbes, Perú) y su relación con factores sociodemográficos, ambientales y con el rendimiento académico-2009. *Ciencia y Desarrollo*, 15(1), 63-71.

Haque, M. A., Jahiruddin, M., Hoque, M. F., Hossain, M. B., Haque, M. E., & Bell, R. W. (2025). Enhancing sunflower yield by identifying phosphorus fertilizer requirements in the Eastern Ganges delta coastal ecosystem [Article]. *Journal of Plant Nutrition*.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2470391>

Henao, S. G., & Ghneim-Herrera, T. (2021). Heavy Metals in Soils and the Remediation Potential of Bacteria Associated With the Plant Microbiome. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.604216>

Hernández-Baranda, Y., Rodríguez-Hernández, P., Peña-Icart, M., Meriño-Hernández, Y., & Cartaya-Rubio, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 40, 1819-4087.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010&nrm=iso

Hernández-Ruiz, G., Álvarez-Orozco, N., & Ríos-Osorio, L. (2017). Bioremediation of organophosphates by fungi and bacteria in agricultural soils. A systematic review [Review]. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 139-159.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:564

- Hernández, L., & Hernández, E. (2022). Fitorremediación De Suelos Contaminados Por Metales Pesados: Una Revisión. *Revista Ciencia Y Tecnología El Higo*, 12(2), 15-28. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15197>
- Herrera-Cruz, J. P., Marín-Machuca, O., Cornejo-Urbina, R. M., Vargas-Ayala, J. B., Castro-Rojas, M. C., & Fuertes-Vicente, H. G. (2023). Mercury, lead and cadmium content in tuna and its effect on public health in Peru: Systematic review [Review]. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 3, Article 502. <https://doi.org/10.56294/SALUDCYT2023502>
- Huaman-Pilco, Á. F., Cruz, M. T.-d. I., Ramírez, G. R., Leiva, S., Santillán, T. S., & Oliva, M. (2023). Caracterización Morfológica De Hongos Asociados Al Agroecosistema Café (Coffea Arabica), en El Estado De Tabasco, México. *Revista Científica Pakamuros*, 9(3). <https://doi.org/10.37787/0w4g7c02>
- Ibrahim, A. R. S., Elokely, K. M., Ferreira, D., & Ragab, A. E. (2018). Microbial Oxidation of the Fusidic Acid Side Chain by *Cunninghamella Echinulata*. *Molecules*, 23(4), 970. <https://doi.org/10.3390/molecules23040970>
- Iqbal, N., Ahmed, S., Pervez, A., Nazir, R., Tang, X., & Irshad, U. (2020). The Fate of Lead (Pb) in Multitrophic Interactions Among Bacteria, Fungi, and Bacterivorous Soil Nematodes. *Clean - Soil Air Water*, 48(11). <https://doi.org/10.1002/clen.202000307>
- Jadhav, U., Su, C.-H., Chakankar, M., & Hocheng, H. (2018). Leaching of Metals From Waste Silver Oxide-Zinc Button Cell Batteries by *Aspergillus Niger*. *Batteries*, 4(4), 51. <https://doi.org/10.3390/batteries4040051>
- Jia, T., Wang, Y., Liang, X., & Guo, T. (2022). Effect of AM Fungi Inoculation on Litter Bacterial Community Characteristics Under Heavy Metal Stress. *Microorganisms*, 10(2), 206. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020206>
- Jiménez-Pérez, P., Toro-Restrepo, B., & Hernández-Atilano, E. (2014). Relación entre la comunidad de fitoperifiton y diferentes fuentes de contaminación en una quebrada de los Andes colombianos: Relación fitoperifiton y contaminación ambiental. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 18(1), 49-66.
- Jiménez-Suancha, S., Álvaro, O., & Balaguera-López, H. (2015). Fluorescencia como indicador de estrés en *Helianthus annuus* L. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 149-160.

- Jocković, J., Grahovac, N., Milovac, Ž., Jocković, M., Jocić, S., Marjanović Jeromela, A., & Cvejić, S. (2025). Exploring Helianthus Species for Resilience to Drought During the Critical Reproductive Stage [Article]. *Plants*, 14(4), Article 631. <https://doi.org/10.3390/plants14040631>
- Joseph, B., & Jini, D. (2013). Antidiabetic effects of Momordica charantia (bitter melon) and its medicinal potency. *Asian pacific journal of tropical disease*, 3(2), 93-102.
- Joseph Sambrook, D. W. R. (2001). Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Joseph Sambrook , David W. Russell. *The Quarterly Review of Biology*, 76(3), 348-349. <https://doi.org/10.1086/394015>
- Jung, S., Martínez-Medina, A., López-Ráez, J. A., & Pozo, M. a. J. (2012). Mycorrhiza-Induced Resistance and Priming of Plant Defenses. *Journal of Chemical Ecology*, 38(6), 651-664. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0134-6>
- Khalefah, A. R. M., Omran, I. I., & Al-Waily, M. J. M. (2024). Environmental Impact of Petroleum Refinery Effluent on Groundwater Pollution: A Case Study of Maysan Refinery, Iraq [Article]. *Salud, Ciencia y Tecnologia - Serie de Conferencias*, 3, Article 844. <https://doi.org/10.56294/sctconf2024844>
- Khan, M. F., & Murphy, C. D. (2021). Cunninghamella Spp. Produce Mammalian-Equivalent Metabolites From Fluorinated Pyrethroid Pesticides. *Amb Express*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01262-0>
- Khan, M. F., Saleem, D., & Murphy, C. D. (2021). Regulation of Cunninghamella Spp. Biofilm Growth by Tryptophol and Tyrosol. *Biofilm*, 3, 100046. <https://doi.org/10.1016/j.biofilm.2021.100046>
- Ko, Y. Z., Liyanage, W. K., Shih, H. C., Tseng, M.-N., Shiao, M. S., & Chiang, Y. C. (2023). Unveiling Cryptic Species Diversity and Genetic Variation of Lasiodiplodia (Botryosphaeriaceae, Botryosphaeriales) Infecting Fruit Crops in Taiwan. *Journal of Fungi*, 9(9), 950. <https://doi.org/10.3390/jof9090950>
- Kong, A., Montoya, A., Jesús, S. G.-d., Ramírez-Terrazo, A., Andrade, R. E. A., Ruán-Soto, F., Rodríguez-Palma, M. M., & Estrada-Torres, A. (2018). Hongos Ectomicorrizógenos Del Parque Nacional Lagunas De Montebello, Chiapas. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 89(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2527>

- Kumar, K. S., & Bhowmik, D. (2010). Traditional medicinal uses and therapeutic benefits of *Momordica charantia* Linn. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review Research*, 4(3), 23-28.
- Kurucz, V., Kiss, B., Szigeti, Z. M., Nagy, G., Orosz, E., Hargitai, Z., Harangi, S., Wiebenga, A., Vries, R. P. d., Pócsi, I., & Emri, T. (2018). Physiological Background of the Remarkably High Cd Tolerance of the *Aspergillus Fumigatus* Af293 Strain. *Journal of Basic Microbiology*, 58(11), 957-967. <https://doi.org/10.1002/jobm.201800200>
- Lavado-Meza, C., Suazo, J. A., De La Cruz-Cerrón, L., Vasquez, R. A., & López-Orihuela, G. (2023). Lead phytoremediation by three plant species with an organic amendment. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology,
- Lee, J. H., Oh, S., Kim, D. S., & Kwak, Y.-S. (2014). First Report of Leaf Blight Disease Caused by *Fusarium verticillioides* (Teleomorph *Gibberella moniliformis*) in Kentucky Bluegrass. *Journal of Phytopathology*, 162(5), 345-347. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jph.12193>
- Lekeufack, M., Fowoung, D., Djumyom, G. V. W., Djousse, M. B. K., & Fonkou, T. (2025). Growth and Yield Characteristics of Sunflower (*Helianthus annuus*) Grown with Sewage Sludge and Domestic Sewage Reuse in Dschang – Cameroon [Article]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 33(3), Article 330313. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2289>
- Li, D., Chu, C., Zhao, M., Hou, S., Ji, R., & Liu, C. (2025). Nitric Oxide-Mediated Regulation of Chitinase Activity and Cadmium Sequestration in the Response of *Schizophyllum commune* to Cadmium Stress. *Microorganisms*, 13(3), 470. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13030470>
- Lin, Z., Wang, G., Zhou, Z., Deng, N., & Zhang, X. (2025). Phytoremediation of soil co-contaminated with uranium and chromium by sunflower (*Helianthus annuus* L.) enhanced with slow-release composite chelating agent (EDTA/ammonium citrate) [Article]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 100(2), 379-392. <https://doi.org/10.1002/jctb.7780>
- Lira, M. M., Bernal, S. P. F., Castro, C. C., Ramos, P. M., Lira, M. J., Ottoni, J. R., Boroski, M., & Passarini, M. R. Z. (2022). Filamentous Fungi From Textile Effluent and Their

Potential Application for Bioremediation Process. *Anais Da Academia Brasileira De Ciências*, 94(2). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220201020>

Londoño-Franco, L., Londoño-Muñoz, P., & Muñoz-García, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 145-153.

Lorente, Á., Antoñana Ugalde, S., Izquierdo Bajo, Á., & Carrillo Alemán, L. (2024). Environmental pollution and cardiovascular health: a comprehensive approach and emerging evidence [Article]. *REC: CardioClinics*, 59, 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.rccl.2024.09.002>

Lozano, G., Rubio, C., Gutiérrez, Á., Hardisson, A., & Martín Izquierdo, R. (2004). El cadmio como contaminante alimentario. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 350, 41-46.

Maldonado, J. (2009). Ciudades y contaminación ambiental. *Revista de ingeniería*, 30(30), 66-71.

Male, Y. T., Seumahu, C. A., & Malle, D. (2020). Bioremediation of Pb and Cd Metal From Inner Ambon Bay Sediment Which Contaminated With Heavy Metal Using *Aspergillus Niger*. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(2), 183-188. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2020.7-yus>

Maliehe, T. S., Mbambo, M., Nqotheni, M. I., Senzo, N. S., & Shandu, J. S. (2022). Antibacterial Effect and Mode of Action of Secondary Metabolites From Fungal Endophyte Associated With *Aloe Ferox* Mill. *Microbiology Research*, 13(1), 90-101. <https://doi.org/10.3390/microbiolres13010007>

Martínez, A., & Céspedes, L. (2017). Estudio de la vulnerabilidad presente y futura ante el cambio climático en la región Tumbes. Informe Técnico Especial.

Martínez, K., Souza, V., Bucio, L., Gómez, L., & Gutiérrez, M. (2013). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta toxicológica argentina*, 21(1), 33-49.

Massi, F. P., Iamanaka, B. T., Barbosa, R. L., Sartori, D., Ferranti, L., Taniwaki, M. H., & Fungaro, M. H. P. (2020). Molecular Analysis of *Aspergillus Section Nigri* Isolated From Onion Samples Reveals the Prevalence of *A. Welwitschiae*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 52(1), 387-392. <https://doi.org/10.1007/s42770-020-00390-2>

- Matos, A. D. M., Santos, M. d. O., Almeida, L. B. d., Fernandes, M. B., Castro, S. G. V. d., Sousa, I. P. S. d., Moura, M. M. A., Souza, M. A. T. d. S. e., Santos, I. O., & Mizobutsi, É. H. (2024). Survey of Fungi Present in Plant Species of the Dry Forest in the Microregion of Januária – MG. <https://doi.org/10.56238/sevened2023.001-025>
- Matsumoto, Y., Suzuki, M., Nihei, H., & Matsumoto, S. (2022). Discovery of Tolerance to Itraconazole in Japanese Isolates of *Aspergillus* Section *Nigri*, *Aspergillus Tubingensis* And *Aspergillus Welwitschiae*, by Microscopic Observation. *Medical Mycology Journal*, 63(3), 65-69. <https://doi.org/10.3314/mmj.22-00006>
- Maximiliano, J.-E., H, L. M., E, L. L., Hurtado, R., O, A. C., & A, R. R. (2018). Evaluación De La Inmunogenicidad De Una Proteína Recombinante De Una Pasteurella Multocida Aislada De Alpacas Con Neumonía. *Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 29(1), 339-348. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14197>
- Medel, R. (2013). Hongos Ascomicetos Del Bosque Mesófilo De Montaña en México. *Acta Botanica Mexicana*(105), 87-106. <https://doi.org/10.21829/abm105.2013.224>
- Mendarte-Alquisira, C., Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (2021). Fitorremediación: Alternativa Biotecnológica Para Recuperar Suelos Contaminados Con DDT. Una Revisión. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.326>
- Mendes, C. R. L. G., Ferreira, L. D. S., Carnietto, M. R. A., Almeida, L. C. O., da Silva, G. F., Santos, H. L., Boaro, C. S. F., & Silva, M. D. A. (2025). Gibberellin biosynthesis inhibitors distinctly affect sunflower morphometric and growth dynamics [Article]. *South African Journal of Botany*, 179, 98-111. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.02.015>
- Metzger, L. (2019). Evaluación de zonas de inundación utilizando un modelo-Hidráulico en Tumbes.
- Molina, I. D., Malaxechebarría, Á. G., & Mejía, C. A. Z. (2021). Tendencias Metodológicas Para La Inclusión Social De Tecnologías Apropriadas en Zonas Rurales. *El Ágora Usb*, 21(1), 402-417. <https://doi.org/10.21500/16578031.4692>
- Montero-Tavera, V., Guerrero-Aguilar, B. Z., Anaya-López, J. L., Martínez-Martínez, T. O., Guevara-Olvera, L., & González-Chavira, M. (2013). Diversidad genética de

aislados de *Rhizoctonia solani* (Kuhn) de Chile en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(7), 1043-1054.

Morales-Mora, L. A., Andrade-Hoyos, P., Ita, M. A. V.-d., Romero-Arenas, O., Silva-Rojas, H. V., & Contreras-Paredes, C. A. (2020). Characterization of Strawberry Associated Fungi and in Vitro Antagonistic Effect of *Trichoderma harzianum*. *Revista Mexicana De Fitopatología Mexican Journal of Phytopathology*, 38(3). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2005-7>

Morales, L., & Méndez, G. (2021). Bioremediation of carbamazepine by fungi and bacteria in wastewater [Article]. *Bionatura*, 6(2), 1851-1857. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.02.28>

Moreno-Rivas, S., & Ramos-Clamont, G. (2018). Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 21.

Muñoz-Silva, L., Olivera-Gonzales, P., Santillán-Torres, M., & Tamariz-Angeles, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). *Revista peruana de biología*, 26(1), 109-118.

Navarro-Aviñó, J., Alonso, I., & López-Moya, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2).

Navarro, C. A. M., & Flores, M. A. L. (2019). Electroforesis: Fundamentos, Avances Y Aplicaciones. *Epistemos*, 13(26), 48-54. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v13i26.96>

Neves de Oliveira, I., Alves de Oliveira, B. F., Henrique da Silveira, I., Machado, L. M. G., Villardi, J. W. R., & Ignotti, E. (2023). Air pollution from forest burning as environmental risk for millions of inhabitants of the Brazilian Amazon: an exposure indicator for human health [Article]. *Cadernos de Saude Publica*, 39(6), Article e00131422. <https://doi.org/10.1590/0102-311XEN131422>

Neves, I., Alves, B., Henrique da Silveira, I., Machado, L., Villardi, J., & Ignotti, E. (2023). Air pollution from forest burning as environmental risk for millions of inhabitants of the Brazilian Amazon: an exposure indicator for human health [Article]. *Cadernos de Saude Publica*, 39(6), Article e00131422. <https://doi.org/10.1590/0102-311XEN131422>

- Newrick, B. A., Laca, A., & Laca, A. (2024). Mitigación Mediante Bacterias, Hongos Y Organismos Superiores De Los Impactos Ambientales Ocasionados Por Microplásticos en Ecosistemas Acuáticos. *Ingeniería Del Agua*, 28(3), 169-184. <https://doi.org/10.4995/ia.2024.21599>
- Ni, J., Wang, Q., Shah, F. A., Liu, W., Wang, D., Huang, S., Fu, S., & Wu, L. (2018). Exogenous Melatonin Confers Cadmium Tolerance by Counterbalancing the Hydrogen Peroxide Homeostasis in Wheat Seedlings. *Molecules*, 23(4), 799. <https://doi.org/10.3390/molecules23040799>
- Nuñez, W., Sotomayor, D., Ballardo, C., & Herrera, E. (2023a). Fungal biomass potential: production and bioremediation mechanisms of heavy metals from municipal organic solid waste compost [Review]. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 79-91. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.008>
- Nuñez, W., Sotomayor, D., Ballardo, C., & Herrera, E. (2023b). Potencial de la biomasa fúngica: producción y mecanismos de biorremediación de metales pesados del compost de residuos sólidos orgánicos municipales. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 79-91.
- Octavio-Aguilar, P., & Olmos-Palma, D. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. *Herreriana*, 4(1), 43-47.
- Okon, E. O. (2019). Population Structure and Environmental Degradation. *Bussecon Review of Social Sciences* (2687-2285), 1(2), 18-27. <https://doi.org/10.36096/brss.v1i2.110>
- Oladipo, O. G., Awotoye, O. O., Olayinka, A., Bezuidenhout, C. C., & Maboeta, M. (2018). Heavy Metal Tolerance Traits of Filamentous Fungi Isolated From Gold and Gemstone Mining Sites. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.06.003>
- Ontivero, R. E., Risio, L., & Lugo, M. A. (2022). Productividad en Alfalfa Y Sorgo: ¿distintos Inóculos De Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) Tienen Efecto Sobre Su Productividad Primaria? *Innova Biology Sciences*, 2(2), 35-48. <https://doi.org/10.58720/ibs.v2i2.30>
- Ooi, C. P., Yassin, Z., & Hamid, T. A. (2012). Momordica charantia for type 2 diabetes mellitus. *Cochrane database of systematic reviews*(8).

- Ortiz-Cano, H., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R., Arreola-Ávila, J., Flores-Hernández, A., & López-Ariza, B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 15(2), 161-168.
- Padrón, L., Paz, S., Gutiérrez, Á., Rubio, C., González, D., & Hardisson, A. (2020). Metal content and trace elements in groundwater supply of the island of El Hierro (Canary Islands, Spain) [Article]. *Revista española de salud pública*, 94. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85093489895&partnerID=40&md5=4efe8356ea773ce3c9de81b22dd07a2f>
- Paiva, C. M., & Figueredo, K. N. C. (2023). Efectos De Plantas De Cobertura De Invierno Sobre Cobertura Del Suelo Y Población De Malezas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 1641-1656. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8796
- Paniagua-Zambrana, N. Y., Bussmann, R. W., & Romero, C. (2020). *Momordica charantia* L. C ucurbitaceae. *Ethnobotany of the Andes*, 1-3.
- Peng, J., Li, X., Li, Y., Zhang, W., Zhou, Y., & Yan, J. (2022). Lasiodiplodia Theobromae Protein LtScp1 Contributes to Fungal Virulence and Protects Fungal Mycelia Against Hydrolysis by Grapevine Chitinase. *Environmental Microbiology*, 24(10), 4670-4683. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16155>
- Pérez, P. M. (2009). Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana.
- Pérez, U., Gómez, M., Serralde, D., Peñaranda, A., Wilches, W., Ramírez, L., & Rengifo, G. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) as a strategy to reduce the absorption of cadmium in cocoa (*Theobroma cacao*) plants [Article]. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 121-130. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.479>
- Pernía, B., Añazco, K., Mero, M., Mayía, Y., & Cobos, P. (2021). Efectos Del Cadmio Sobre La Germinación Y Crecimiento Inicial De Cinco Variedades De *Oryza Sativa* L. Cultivadas en Ecuador. *Acta Agronómica*, 70(1), 82-92. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n1.87636>
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez-Prado, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D. B., Muñoz, J., & Zambrano, J. (2018). Determinación De Cadmio Y Plomo en Agua, Sedimento Y Organismos Bioindicadores en El Estero Salado, Ecuador. *Enfoque Ute*, 9(2), 89-105. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.246>

- Pineda, M. E. B., & Gómez-Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación De Metales Pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) Y Mercurio (Hg), Mecanismos Bioquímicos E Ingeniería Genética: Una Revisión. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 12(2), 172-197. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Pratt, E. V., Rose, S. P., & Keeling, A. A. (2002). Effect of ambient temperature on losses of volatile nitrogen compounds from stored laying hen manure. *Bioresource Technology*, 84(2), 203-205. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00011-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00011-1)
- Pruessner, J. C., Kirschbaum, C., Meinlschmid, G., & Hellhammer, D. H. (2003). Two formulas for computation of the area under the curve represent measures of total hormone concentration versus time-dependent change. *Psychoneuroendocrinology*, 28(7), 916-931. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0306-4530\(02\)00108-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0306-4530(02)00108-7)
- Quintanilha-Peixoto, G., Torres, R. O., Reis, I. M. A., Thiago Alves Santos de, O., Bortolini, D. E., Duarte, E. A. A., Azevedo, V., Brenig, B., Eric Roberto Guimarães Rocha, A., Soares, A. C. F., Goés-Neto, A., & Branco, A. (2019). Calm Before the Storm: A Glimpse Into the Secondary Metabolism of *Aspergillus Welwitschiae*, the Etiologic Agent of the Sisal Bole Rot. *Toxins*, 11(11), 631. <https://doi.org/10.3390/toxins11110631>
- Rahman, S. U., Xuebin, Q., Zhao, Z., Du, Z., Imtiaz, M., Mehmood, F., Lü, H., Hussain, B., & Ashraf, M. N. (2021). Alleviatory Effects of Silicon on the Morphology, Physiology, and Antioxidative Mechanisms of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Roots Under Cadmium Stress in Acidic Nutrient Solutions. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80808-x>
- Ramírez, W. (2024). *Desarrollo de simulaciones de dinámica molecular para el estudio de la interacción de átomos de metales pesados con la magnetita* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Rasbold, L. M., Heinen, P. R., José Luis da Conceição, S., Rita de Cássia Garcia, S., Kadowaki, M. K., & Maller, A. (2021). *Cunninghamella echinulata* PA3S12MM Invertase: Biochemical Characterization of a Promiscuous Enzyme. *Journal of Food Biochemistry*, 45(4). <https://doi.org/10.1111/jfbc.13654>

- Retana, K., Ramírez-Coché, J., Castro, O., & Blanco-Meneses, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* f. sp. apii asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 42(1), 115-126.
- Reyes, C., Bran, M., & Morales, O. (2011). Evaluación del crecimiento micelial de cepas nativas de *Agrocybe cylindracea* (DC.:Fr) Maire, en diferentes medios de cultivo y pH. *Revista Científica*, 21(2), 56-61. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v21i2.133>
- Ritalahti, K. M., Cruz-García, C., Padilla-Crespo, E., Hatt, J. K., & Löffler, F. E. (2010). RNA Extraction and cDNA Analysis for Quantitative Assessment of Biomarker Transcripts in Groundwater. In K. N. Timmis (Ed.), *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology* (pp. 3671-3685). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77587-4_289
- Rivero, M., & Maniscalco, D. (2016). Identificación de cepas del hongo *Trichoderma* spp. por métodos moleculares. *Faraute*, 8(2).
- Rizzo, K., Herrera, I., Vargas, A., Cornejo, X., & López-Guillén, E. (2023). *Momordica charantia* (Cucurbitaceae) como maleza introducida en Ecuador: distribución espacio-temporal y riesgo de invasión. *Collectanea Botanica*, 42, e010. <https://doi.org/10.3989/collectbot.2023.v42.010>
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, 21(12), 3372-3385.
- Rofner, N. (2021). Review on maximum limits of cadmium in cocoa (*Theobroma cacao* L.) [Article]. *Granja*, 34(2), 113-126. <https://doi.org/10.17163/LGR.N34.2021.08>
- Roman, W., De La Cruz, J., Rojas, J., Fernández, G., & Puscan, M. (2022). Phytoremediation of heavy metals in the soil. A systematic review of the literature between the years 2012-2022. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology,
- Rosales, C. A., Vera, M., & Llanos, J. (2010). Varamientos y captura incidental de tortugas marinas en el litoral de Tumbes, Perú. *Revista peruana de biología*, 17(3), 293-302.
- Rubio, S., Pacheco-Orozco, R. A., Gómez, A. M., Pérdomo, S., & García-Robles, R. (2020). Secuenciación De Nueva Generación (NGS) De ADN: Presente Y Futuro en La

- Ruhatiya, C., Gandra, R., Kondaiah, P., Manivas, K., Samhith, A., Gao, L., Lam, J. S. L., & Garg, A. (2020). Intelligent Optimization of Bioleaching Process for Waste Lithium-ion Batteries: An Application of Support Vector Regression Approach. *International Journal of Energy Research*, 45(4), 6152-6162. <https://doi.org/10.1002/er.6238>
- Ruiz, J. A., López, C. A., Carmona, M. E., & Bolívar, W. (2018). Practices of social innovation in the attention of small mining in the municipality of Andes, Antioquia- Colombia [Article]. *Espacios*, 39(39). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053757766&partnerID=40&md5=2c3567ff424458207df0e62e2e7d0df5>
- Saavedra, K. I., Rojas, C., & Delgado, G. E. (2013). Características polínicas y composición química del polen apícola colectado en Cayaltí (Lambayeque-Perú). *Revista chilena de nutrición*, 40(1), 71-78.
- Sabouri, H., & Sajadi, S. (2022). Image processing and area estimation of chia (*Salvia hispanica* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), and bitter melon (*Momordica charantia* L.) leaves based on statistical and intelligent methods. *Journal of Applied Research on Medicinal*
- Salas-Marcial, C., Garduño-Ayala, M., Mendiola-Ortiz, P., Vences-García, J., Zetina-Román, V., Martínez-Ramírez, O., & Ramos-García, M. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1).
- Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(5), 1321-1337. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>
- Sánchez, L., Pisabarro, G., & Alfaro, M. (2016). Identificación y caracterización de hongos de interés para su uso industrial y, en especial, en la industria alimentaria mediante el uso de métodos moleculares.
- Sánchez, M. (2017). Evaluación del contenido de metales pesados (cd y pb) en diferentes edades y etapas fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del Alto Huallaga.
- Sandoval-Pineda, J., Pérez-Moneada, U., Rodríguez, A., & Torres-Rojas, E. (2020). Alta presencia de cadmio resulta en baja diversidad de hongos formadores de micorrizas

arbusculares asociados a cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta biológica colombiana*, 25(3), 333-344.

Saucedo, B., Rodríguez, A., Alvarez, O., & Rabí, L. (2007). Heavy metals determination in a nutritional supplement from natural origin with antioxidant properties [Article]. *Latin American Journal of Pharmacy*, 26(5), 760-764. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-38049005369&partnerID=40&md5=bd5bcf0683b5fcea2408304989f848d4>

Scartezzini, P., & Speroni, E. (2000). Review on some plants of Indian traditional medicine with antioxidant activity. *Journal of ethnopharmacology*, 71(1-2), 23-43.

Seerat, W., Akram, A., Qureshi, R., Yaseen, G., Mukhtar, T., & Hanif, N. Q. (2022). Light and Scanning Electron Microscopic Characterization of Aflatoxins Producing, *Aspergillus Flavus*, in the Maize Crop. *Microscopy Research and Technique*, 85(8), 2894-2903. <https://doi.org/10.1002/jemt.24139>

Seminario, V. A. C., Ravelo, J. M. C., Zapata, C. M. P., & Juárez, W. L. A. (2021). Magnoliófitas presentes en el humedal de Castilla, Piura–Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(2), 1422-1444.

Shaari, N. E. M., Tajudin, M. T. F. M., Khandaker, M. M., Majrashi, A., Alenazi, M. M., Abdullahi, U. A., & Mohd, K. S. (2024). Cadmium toxicity symptoms and uptake mechanism in plants: a review [Review]. *Brazilian Journal of Biology*, 84, Article e252143. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.252143>

Shan, B., Xie, J.-H., Zhu, J.-H., & Peng, Y. (2012). Ethanol modified supercritical carbon dioxide extraction of flavonoids from *Momordica charantia* L. and its antioxidant activity. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 579-587. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.09.004>

Shree, D., Manjula, C. P., Prasanna Kumar, M. K., Palanna, K. B., Harish, J., Kumar, P. V. D., & Khan, F. (2025). Population frequency distribution and introgression of *Alternaria* species causing leaf blight of sunflower, India [Article]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 136, Article 102527. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102527>

Sierra, B. E. G., Meza, A. X. S., González, L. S. M., & Rangel, S. P. B. (2014). Ensayos Preliminares in Vitro De Biosorción De Cadmio Por Cepas Fúngicas Nativas De

Suelos Contaminados. *Innovaciencia Facultad De Ciencias Exactas Físicas Y Naturales*, 2(1), 53-58. <https://doi.org/10.15649/2346075x.256>

Siregar, A. Z., Basyuni, M., Priawandiputra, W., Joshi, R. C., Hasanuddin, A., & Sim, Y. (2025). Insect Diversity of Mangrove Ecosystems in Beras Basah Village, Langkat, North Sumatra, Indonesia [Article]. *Journal of Tropical Crop Science*, 12(1), 89-102. <https://doi.org/10.29244/jtcs.12.01.89-102>

Sleeman, J. M., Richgels, K. L. D., White, C. L., & Stephen, C. (2019). Integration of wildlife and environmental health into a One Health approach [Review]. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 38(1), 91-102. <https://doi.org/10.20506/rst.38.1.2944>

Solano-Flórez, G., Márquez-Cardona, M. d. P., & Schuler, I. (2009). Optimización De La Extracción De ADN De *Passiflora Ligularis* Para El Análisis Por Medio De Marcadores Moleculares. *Universitas Scientiarum*, 14(1), 16. <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc14-1.odle>

Sosa-Castillo, M. E., Lara-Reyna, J., Arenas, L. D. O., & Hernández, A. J. (2017). Estandarización Y Validación De La Prueba De PCR Anidada Para El Diagnóstico De Especies Del Género *Xyleborus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Acta Zoológica Mexicana (N S)*, 33(1), 18-26. <https://doi.org/10.21829/azm.2017.3311008>

Souques, L., Langlade, N. B., Debaeke, P., Labadie, M., Deschamps, N., Lackdari, R., Marchand, D., Lecloux, E., Tapy, C., & Alletto, L. (2025). Phenotypic traits of sunflower varieties depend on the composition of cover crops [Article]. *Field Crops Research*, 321, Article 109692. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109692>

Souza, M. M. A. D., Souza, C. A. D., & Germano, S. R. (2022). O Uso De Jardins Didáticos E Áreas Verdes Como Ferramenta Para O Ensino De Botânica Na Educação Básica Do Brasil - Uma Revisão Integrativa. *Brazilian Journal of Development*, 8(12), 79797-79804. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-199>

Souza, P. M. d., Silva, N. R. A., Souza, D., Silva, T. A. L. e., Freitas-Silva, M. C., Andrade, R. F. d. S., Silva, G. K. B. d., Albuquerque, C. D. C., Messias, A. S., & Campos-Takaki, G. M. d. (2018). Production of a Biosurfactant by *Cunninghamella Echinulata* Using Renewable Substrates and Its Applications in Enhanced Oil Spill Recovery. *Colloids and Interfaces*, 2(4), 63. <https://doi.org/10.3390/colloids2040063>

- Suárez-Contreras, L., & Peñaranda-Figueroa, F. (2022). Identificación molecular de hongos filamentosos y su potencial biotecnológico. *20(1)*, 194-206.
- Suárez-Contreras, L. Y. (2016). Extracción Y Purificación Del Adn De Moniliophthora Roreri Hongo Que Ataca El Cacao, en Norte De Santander. *Respuestas*, *10(2)*, 4-8. <https://doi.org/10.22463/0122820x.629>
- Subratty, A. H., Gurib-Fakim, A., & Mahomoodally, F. (2005). Bitter melon: an exotic vegetable with medicinal values. *Nutrition & Food Science*, *35(3)*, 143-147. <https://doi.org/10.1108/00346650510594886>
- Sule, A. M., Inuwa, B., Bello, S. Z., Gero, M., Mohammed, H. A., & Muhammad, Z. A. (2022). Isolation, Characterization and Heavy Metals Tolerance Indices of Indigenous Fungal Flora From a Tannery Located at Challawa Industrial Estate of Kano State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, *26(7)*, 1289-1298. <https://doi.org/10.4314/jasem.v26i7.16>
- Sumin, C., Liu, B., Zhang, Y., Peng, L., Zou, L., Cheng, J., & Li, Q. (2025). Assembly Mechanisms and Functional Adaptations of Soil Fungal Communities of Different Plant Rhizospheres in Ilmenite Mining Area. *Journal of Fungi*, *11(3)*, 165. <https://doi.org/10.3390/jof11030165>
- Takahashi, K., & Martínez, A. (2015). El Niño, cambio climático, y el ecosistema de manglares de Tumbes.
- Takeda, K., Suzuki, J., Watanabe, A., Matsuki, M., Higa, K., Inoue, E., Akashi, S., Shimada, M., Kawashima, M., Ohshima, N., Fukami, T., Masuda, K., Yamane, A., Tamura, A., Nagai, H., Matsui, H., Tohma, S., & Kamei, K. (2019). Species Identification, Antifungal Susceptibility, and Clinical Feature Association of *Aspergillus* Section *Nigri* Isolates From the Lower Respiratory Tract. *Medical Mycology*, *58(3)*, 310-314. <https://doi.org/10.1093/mmy/myz072>
- Téllez-Rojo, M., Bautista-Arredondo, L., Rosa-Parra, A., & Silva, G. (2023). Prenatal exposure to metals and concentration thereof in umbilical cord blood in a Mexico City cohort [Article]. *Gaceta medica de Mexico*, *159(2)*, 129-134. <https://doi.org/10.24875/GMM.M23000759>
- Téllez, A., Rodríguez, S., & Camacho, M. (2017). Mecanismos de resistencia a metales tóxicos (Cd) bajo variaciones abióticas en microalgas. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, *21(1)*, 40-52.

- Terhonen, E., Blumenstein, K., Kovalchuk, A., & Asiegbu, F. O. (2019). Forest Tree Microbiomes and Associated Fungal Endophytes: Functional Roles and Impact on Forest Health. *Forests*, 10(1), 42. <https://doi.org/10.3390/f10010042>
- Tintaya, D. (2018). Estimación de la capacidad fitorremediadora del “girasol” *Helianthus annuus* mediante la incorporación de enmiendas para suelos contaminados por metales pesados (Plomo, Cromo) de industrias metalmeccánicas. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1).
- Toledo, C. V., & Barroetaveña, C. (2017). Crecimiento Miceliar De Especies Silvestres De Hongos Comestibles De Los Bosques Andinopatagónicos: Primeros Pasos Para Su Domesticación. *Boletín De La Sociedad Argentina De Botánica*, 52(3), 435-446. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v52.n3.18025>
- Tovar, A., Cásarez, B., & Valdés, M. (2004). Ecología molecular de los hongos ectomicorrízicos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(3), 267-278.
- Trujillo-Zapata, S. A., Orozco, C. P. C., Guzmán, M. C. V., Ortega-Astudillo, J. D., & Cruz-Ospina, C. A. (2021). Evaluación De La Calidad Del Agua en La Fuente Abastecedora De Pitalito – Huila: Río Guachicos Y Sus Afluentes Principales, Utilizando Los Índices De Contaminación E Índice De Calidad De Agua. *Gestión Y Ambiente*, 23(2), 182-192. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.83600>
- Unda, F., Agüero, J., Fariñas, M. C., & Martínez-Martínez, L. (2011). Identification of clinically relevant fungi using molecular techniques [Article]. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 29(4), 282-285. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2010.12.011>
- Valjarević, A., Morar, C., Brasanac-Bosanac, L., Cirkovic-Mitrovic, T., Djekic, T., Mihajlović, M., Milevski, I., Culafic, G., Luković, M., Niemets, L., Sehida, K., & Kaplan, G. (2025). Sustainable land use in Moldova: GIS & remote sensing of forests and crops [Article]. *Land Use Policy*, 152, Article 107515. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107515>
- Vallejos-Torres, G., Gaona-Jimenez, N., Arevalo, A. A., Paredes, C., Lozano, A., Saavedra-Ramírez, J., Arévalo, L. A., Reátegui, K., Mendoza-Caballero, W., & Marín, C. (2023). Cadmium uptake and Mycorrhiza by Cacao clones in Agroforestry and monoculture systems of peruvian amazon. [Article]. *Bioagro*, 35(3), 237-246. <https://doi.org/10.51372/bioagro353.7>

- Vallejos-Torres, G., Ruíz-Valles, R., Chappa-Santa María, C. E., Gaona-Jiménez, N., & Marín, C. (2022). High genetic diversity in arbuscular mycorrhizal fungi influences cadmium uptake and growth of cocoa plants [Article]. *Bioagro*, 34(1), 75-84. <https://doi.org/10.51372/bioagro341.7>
- Vega, M., & Clavijo, M. (2017). La fotosíntesis: una mirada a nivel molecular/The photosynthesis: a look at the molecular level/A fotossíntese: um olhar sobre o nível molecular. *Revista Científica*, 51-60.
- Velasco, J., Morales, P., Castro, E., & Cruel, J. (2022). Environmental pollution as a social commitment: an interdisciplinary reflection [Article]. *Sapienza*, 3(2), 387-401. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i2.346>
- Ventura, J. A. A., Vallejo, J. Y. V., Salcedo, C. B., Mendoza-Falconi, E., Diaz-Blas, P. A., & Paredes, D. D. (2023). Revisión de reportes etnomédicos antitumorales de las plantas del Jardín Botánico del Instituto de Medicina Tradicional de EsSalud en Iquitos, Perú. *Revista Peruana de Medicina Integrativa*, 8(1), 52-63.
- Verde, C. L. L. (2022). Malezas en Cultivos De Colima: Un Enfoque Florístico Y Ecológico. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26(Especial), 11-12. <https://doi.org/10.53897/revaia.22.26.15>
- Vital-Vilchis, I., Quiñones-Aguilar, E., Hernández-Cuevas, V., & Rincón-Enríquez, G. (2020). Growth of ornamental sunflower in pot at field level by effect of arbuscular mycorrhizal fungi [Article]. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 679-692. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.715>
- Wang, Q., Hong, L., Wu, K., Li, M., Zhang, J., Li, X., Jin, J., & Liu, B. (2024). Research Progress in Microbial Degradation of Microplastics. *Journal of Physics Conference Series*, 2706(1), 012043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2706/1/012043>
- Wen, J., Okyere, S. K., Wang, J., Huang, R., Ya, W., Liu, L., Nong, X., & Hu, Y. (2023). Endophytic Fungi Isolated From *Ageratina Adenophora* Exhibits Potential Antimicrobial Activity Against Multidrug-Resistant *Staphylococcus Aureus*. *Plants*, 12(3), 650. <https://doi.org/10.3390/plants12030650>
- Wertonge, G. S., Aguilar, M. V. M., Senhor, D. F., Kuinchtner, C. C., Rorato, D. G., & Tabaldi, L. A. (2024). Activation of antioxidant enzymes as a mechanism against cadmium stress in *Mimosa scabrella* [Article]. *Revista em Agronegocio e Meio Ambiente*, 17(4), Article e11973. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n4e11973>

- Wibowo, S., Velazquez, G., Savant, V., & Torres, J. A. (2007). Effect of chitosan type on protein and water recovery efficiency from surimi wash water treated with chitosan–alginate complexes. *Bioresource Technology*, *98*(3), 539-545. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.014>
- Xu, W., Jin, X., Yang, M., Xue, S., Luo, L., Cao, X., Zhang, C., Qiao, S., Zhang, C., Li, J., Wu, J., Lv, L., Zhao, F., Wang, N., Tan, S., Lyu-Bu, A. G. A., Wang, C., & Wang, X. (2021). Primary and Secondary Metabolites Produced in *Salvia Miltiorrhiza* Hairy Roots by an Endophytic Fungal Elicitor From *Mucor Fragilis*. *Plant Physiology and Biochemistry*, *160*, 404-412. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.023>
- Ye, Y., Pei, H., Cao, X., Liu, X., Li, Z., Wang, B., Pan, Y., & Zheng, J. (2023). The Study of a Novel Paeoniflorin-Converting Enzyme From *Cunninghamella Blakesleeana*. *Molecules*, *28*(3), 1289. <https://doi.org/10.3390/molecules28031289>
- Yeganeh, H. (2020). A Typology of Sources, Manifestations, and Implications of Environmental Degradation. *Management of Environmental Quality an International Journal*, *31*(3), 765-783. <https://doi.org/10.1108/meq-02-2019-0036>
- Yiğiter, S., & Coskun, İ. (2024). Evaluation of Some Garden Flowers as Specialty Cut Flowers in Eskisehir Province-Türkiye. *Peerj*, *12*, e17114. <https://doi.org/10.7717/peerj.17114>
- Zeng, G., Chen, A., Chen, G., Hu, X., Guan, S., Shang, C., Lu, L., & Zou, Z.-J. (2012). Responses of *Phanerochaete Chrysosporium* to Toxic Pollutants: Physiological Flux, Oxidative Stress, and Detoxification. *Environmental Science & Technology*, *46*(14), 7818-7825. <https://doi.org/10.1021/es301006j>
- Zenteno, M. D. C., Valarezo, J. X., Salazar, K. P., Durango, W., & García-Orellana, Y. (2024). Effect of macronutrient omission on cadmium uptake in rice seedlings [Article]. *Agronomia Mesoamericana*, *35*, Article 55138. <https://doi.org/10.15517/am.2024.55138>
- Zuñiga, H. (2024). Actividad insecticida de *Momordica charantia* L.(Cucurbitaceae) contra *Melanaphis sacchari* Zehntner (Hemiptera: Aphididae).

VIII. ANEXOS

8.1 Anexo de Figuras

Fig. 26 Análisis de identificación molecular L. AGROACUANALISIS.SRL.



LABORATORIO AGROACUANÁLISIS SRL
RUC 20693483967

Dirección: MZA, T Lote, 14 URB. José Lohner Tudela 2da Etapa TUMBES.
Ref: Frente al Palacio de los Deportes
Teléfono: 914 900 294
✉ agroacuanalisis@gmail.com

Página 1 de 5

INFORME DE ENSAYO IE-0498/2024

Solicitante	:	Universidad Nacional de Tumbes
Dirección	:	Av. Universitaria S/N -Pampa Grande - Tumbes - Tumbes - Tumbes
Orden de servicio	:	OS-AAA-204/2024
Producto	:	Productos de PCR
Toma de muestra	:	Por el cliente
Número de muestra(s)	:	17
Condición de la(s) muestra(s)	:	Archivo digital
Procedencia	:	Universidad Nacional de Tumbes
Presentación de la(s) muestra(s)	:	Secuencias de nucleótidos en formato FASTA
Área de análisis	:	Biología Molecular
Procedimiento de muestreo	:	-
Fecha y hora de muestreo	:	15 de Octubre de 2024
Fecha y hora de recepción	:	15 de Octubre de 2024 15:30 horas
Fecha de inicio de ensayo	:	7 de Noviembre de 2024
Fecha de término del ensayo	:	8 de Noviembre de 2024
Fecha de entrega	:	8 de Noviembre de 2024
Método de ensayo	:	

Código	Título del ensayo	Referencia del método de ensayo
COD.154	Servicio de análisis de bioinformática	Alineación de secuencias en los programas Blast y Mega



LABORATORIO AGROACUICULTURA S.R.L.
RUC 2093453967

Dirección: MzA. T Lote. 14 URB. José Lishner Tudela 2da Etapa TUMBES.
Ref: Frente al Palacio de los Deportes
Teléfono: 914 900 294
✉: agroacuicultura@gmail.com

INFORME DE ENSAYO

IE-0498/2024

Código de la muestra	Identificación de la muestra	Nombre científico	% similitud	Código de accesión	Secuencia analizada
COD0006142024	P11	<i>Aspergillus welwitschiae</i>	99.27	OQ798926.1	CGTC TC TGC CC CGG GGG CCG TGC CC GCG GAG AC CC GAC AG GA ACAG TGT CTGAA ACC G TG C AG TGT GAG TT GA TT GAAT GCAAT C AGT T AAAA ACT TTC AACAA TGGATC TCTTGG T TC CGGCA TCGA TGAAGAA CGGCG C GAAAT GCGAT AACTAAT GTGAAT TGCA GA ATT C AGTGAAT CATGAGT TC TT GAAOGCACAT TGGCC CC C TGGTATT CC CGG GGG C ATG CC TGTGGA GC GTC AT TGG TGC CC TC AAG CC CGG C TT GT GT TGGGG TC GCGT CC CC CT C C OGGGGGAGG CC OSAAAGGC AGC GGC GGC ACC GCG TCC GA TC CTOAGGC GFATGGGGC TTGT CACAT GCT C T GTAGGA TTGGCC GGC CC TCGCGAGCT TTTCCAA CATTCC TTC
COD0006152024	G10	<i>Cunninghamella arunalokei</i> (NCCPF 890012)	84.91	NR_177485.1	GGGGAGGATCCTTAGAAAAA TTGGGGAGGGGTAGAGAAC CC GTAG GAACC GC CCC AC CTG TTT TCT C GFT CT AAT TTA CC CAT CT ATAGAG TGGCA AAG TTT ATTGAAAGG TTT T TC CC TGC GGGG TTAATGGGGGGCC AGCAGGGGGGGTGG TTTGGGGT TGGG TTT GGC T TGGCC TTAGAC CC CC TTTGCC AAAA GGAAT AA GAAAT TTA AAAAATACCCTAAGT TTT TTT TTAATGAAAGAC CC TA TTG TTTA TG GGT TTT TTT TTT TTT TTAATATAAAGAAC AAC TT CAGC AATGGAT C TCG GCT TCGAT C GA TGAAGAAC GCAGC AATCGC GA TATGTAGTGTGA TC TGCCT A-TAGTGA ATCATCAA ATC TTTGAAGCC ATCTTGCACC TT----- ATGGAT TCGA TAAAGTAC GTC TG TTT C AGT AC CAC TAAAAA TC TC TFC GACTTT TTTC TTT T TTT TTT TCC CTCT AATGA GGGGGGGAATAAGGGGAAGAA GGG TTGAACCAGG-- AGATGGGTGT TA CTGGTCTGGTGTGTTGSCATCATTTCTCAA CCA GATA T- CAAGGCTTGA TC TTTGCT TTTAATAGAAT TTTT-- CTATAAGTC TGTGGGGGGGAGCCTACC GAATCC TC TC CC CC TCCC CC CA CATT TTC TAACC AT CC TAC CTC AGGTC CC CCC TAGG
COD0006162024	P6	<i>Aspergillus niger</i>	99.35	MG659650.1	TGTC TATTGTACCCTGTTGCTTGGGGGGCCCGCCGCTGTGGGGCCGCCGGG GGCCGTC TCTGCCC CC OGGGOC OGTGCCC GCG GAGAC CC CAACAG GAACA C TGTCTGAAGGGGTGCGATCTGAGTTGATGAA TGCA TCAGT TAAA ACTTTC AAC AATGGATCTCTTGGTCCGCCATOGATGAAGAACCC AGOAAAATGGATAC TA ATGTGAATGGAGAA TTCA GTGAATCA TC GA GTC TTTGA AGGCACAT TGC GGC CC CTGGAT TC OGGGGGGC ATGC CTGTC OSGAG GTC TA TTGCTGCC CTGAAGC CC G CC TTGTGT TGGGG TC GCG TCC CC CC TC TC OGGGGGGAC GGGCC CC GA ATGC AT OGGGGCA CC CC GTC OSATCC TOSAGCC TATGGGCTTTGT CACATGCTCT GTAGGAT TGGCC GGC GCG TGC OSAG GFTTTC CACCATTCTTTC CA
COD0006172024	P3	<i>Cunninghamella echinulata</i> (AUMC 14396)	99.75	OP955941.1	TATTTGTGGGAAT AAGGCTTTAAAACTTTTTCG CATT AATTCATCC AT AATG TGGGCA AAC AC ATG C GC AATG TTT TTT TTAAGGG TTA ACE T TCGGGTACTTA CTCTTTATTA TTTATAATA TGGTTC TTT TTTGGGC TA TATPAT TAA YTTTT TA TAC T AATTTAC TGAATAA OSAT TGAC CATAA TTA TGGT TGT TTTAAAA TATATT AAT TTATA TAA AAAA ACTTTC AGCAA TGGATCTCCGGCC TTTGGTATGATGAA GA A CGGAGC AATGGGATAT TAA TGTGATCTGCCATAG TGA TCA ATGAAA TC TTT GAACGCATCTTGAC CC TATGGTATTCGTA GGGTACATC TGT TTC AGTAC CA TT CAACATCTCC CTC AATCC TATTTTATAGAAATGAGATCAGAGATAAATAT AATGGT CC TGGGT AAGCTGTGC TA TGTCTTA TEGACTATAC CTGAOGGAAAT CTATCAC TAC CC GGCCTA TATCTTTATGGTAT AAGCTCGTCTAGGA GGTAGG AGCATAGTAAAGAGCTAAG TTTGGCTTGTG AGCC T TCTTTATGAAAGACA TGA TGC GACTGTGGGAAGC CC GAIT ACCCTCGACTT AATATCTG TTAAGGT TAAAIT CTTGAG TAA CT TTTGCA AAAAGAA TATGATAGAAAT TGGC TTTAATG TTTTAC ATCTAGA GTTATAAATCATTTGACTCTGATGGGAAAAA AAGCTCA AGAGTCTT TA CCAATCT TTTGGCCACTTTTCC
COD0006182024	G5	<i>Cunninghamella</i> <i>blakesleeana</i> (CBS 133.27)	84.41	NR_119974.1	TGGTAA TTT TTT TTAGAAAA GGGT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT CCAGGGTGGGAA AAG TTT TTTAAT TAAAGG TTTGCG OGGGATTTGTTAATGGT AGCCCTGGG TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT GAAA AAGCC CC TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTTAA ATGAA ATGATAGAC CATAAAA TTTATGGT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT AAAAA AACTTTTAGC AAAGGAT TTT TTTGGCC TTTGGATC GG TGAAGAACGC AGCA AATCC CATATGTA ATTTA TTTGCC ATAG TGGATCATCAAA TTT TTTGAA GGCC T TTTGGCCCTTTTGGCCCTTCCCTTAGGTAAGTTTGT TTT CAGTAC CC CT AATAAATTT C CC TCCTCCATTTTGT TGGTATAGGAT AAAAAAAA AAGGA GA TAA ATC ATTA CTGGTTC TGGTGA TTTTGAATTTT TTTTATAAAAA AATGAA GAA TGTCTCTCA ACC TAAATATAAGGC TAGACTTGA AAGGTTTATTCTTTCTGGTGGGCTTAA TAG AATT- TTTC TCGAA AGGTTTAA AACC TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT TTT AAATGAAA AAC CC TA ACTTCCGCCTTTTGGCTTCC GAAAAA GGAAGGATCTTT CCCTTTCTGTGACAGACAAATCTTCTCTTC TTTCCAA TTTCAATCCAC CC C ATCTCTGGCAATCTTCTTCTTTGACC GCTAGTCCCTGTTCCACTTCTGGCTTCTGCTC CAAGTCTCC

Fig. 27 *Recolección de muestras de Momordica charantia y Helianthus annuus*



Fig. 28 *Siembra y purificación fúngica.*



Fig. 29 *Cámara de flujo laminar.*



Fig. 30 *Mechero bunsen*

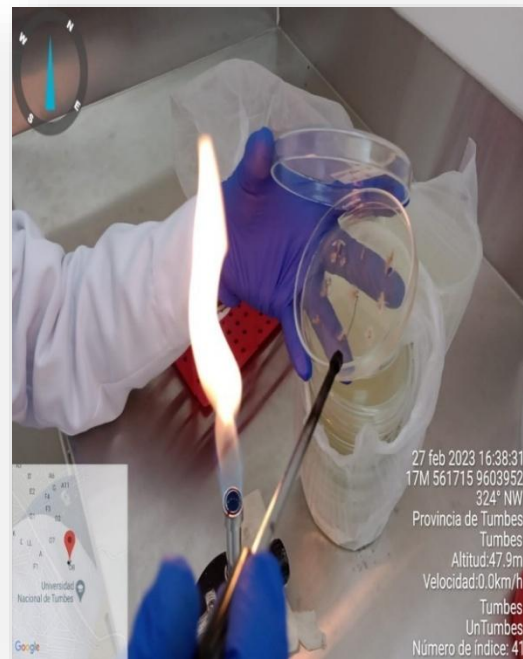


Fig. 31 *reactivos utilizados*



Fig. 32 *Medio de esterilización*



Fig. 33 Área de Electroforesis.



Fig. 34 Visualización de los Amplicones

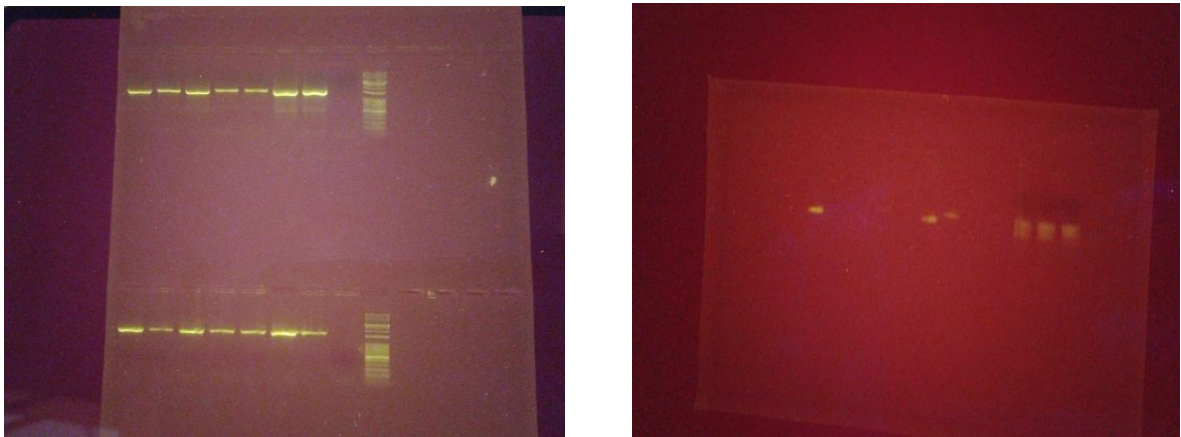


Fig. 35 Caracterización morfológica

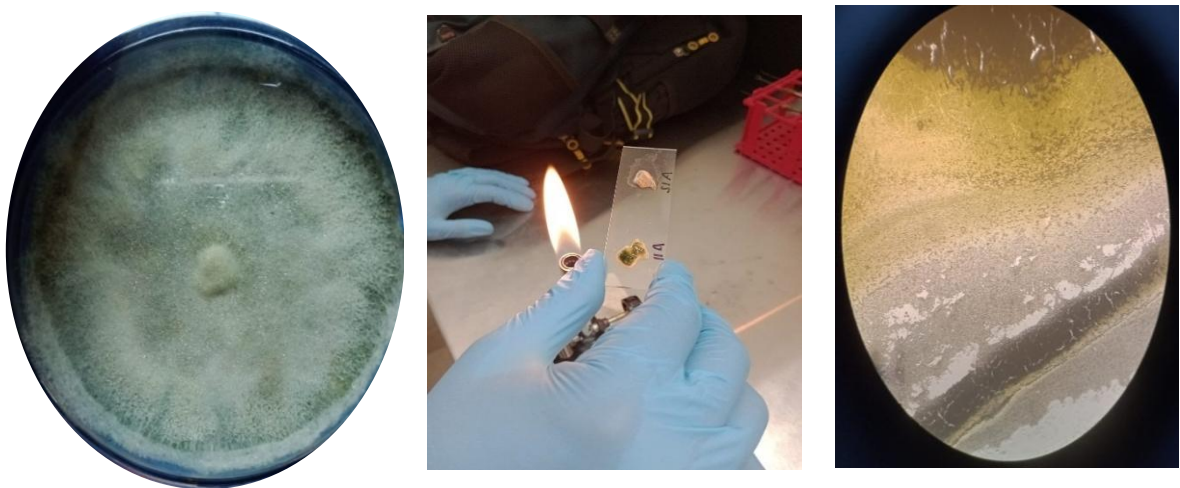


Fig. 36 Evaluación de las Pruebas MIC.

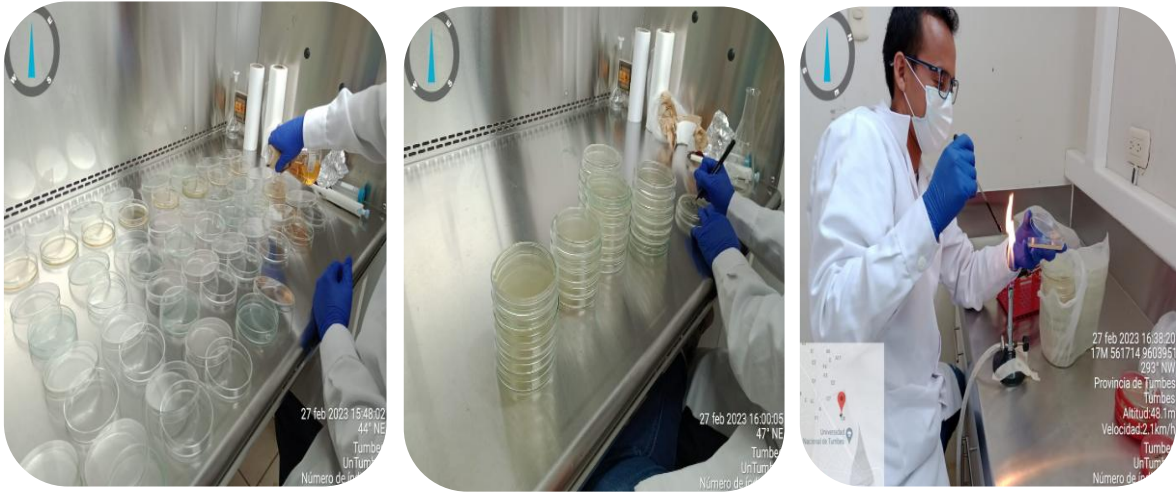
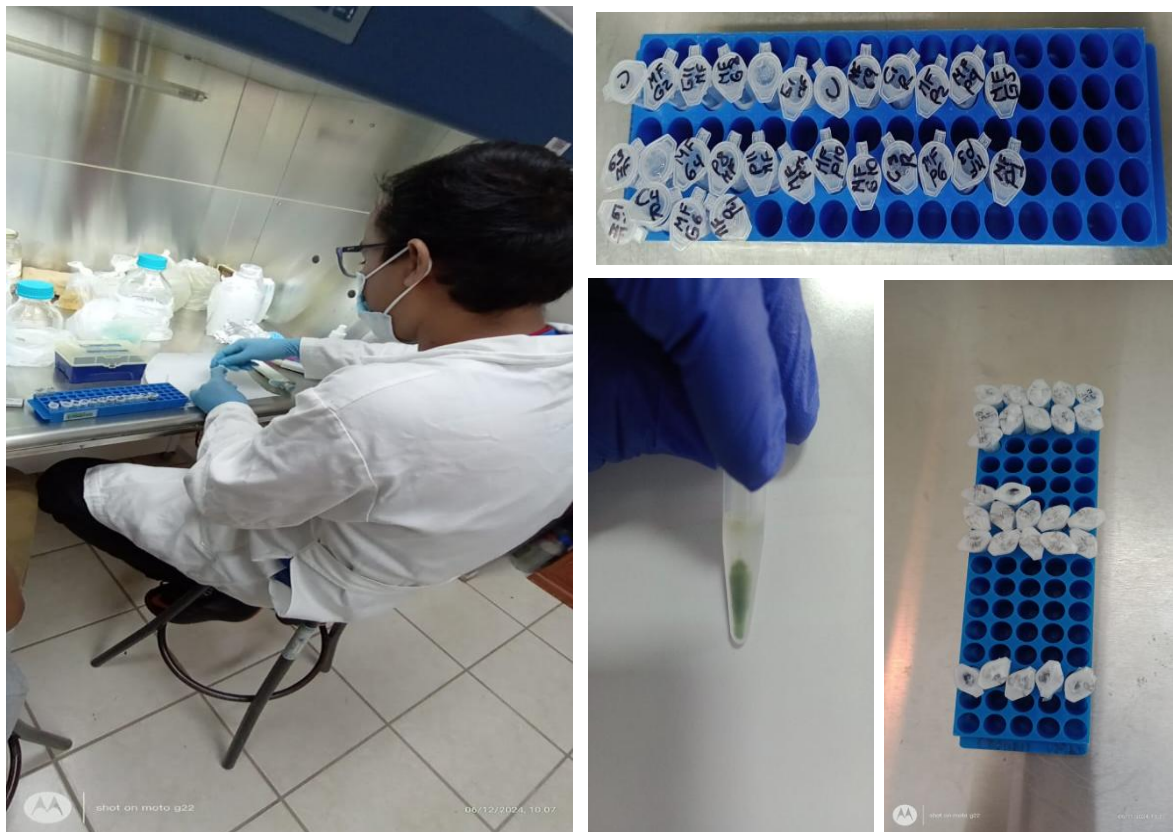


Fig. 37 Preparación de hongos para Secuenciamiento.



8.2 Anexos de Tablas

Tabla. 20 comportamiento frente a la interacción metálica de *Lasiodiplodia theobromae* (P2).

<i>Lasiodiplodia theobromae</i> (P2)													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲ MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	7,2	15,9	24,9	34,7	45,0	25,5	9,45	7,56	1,82	0,18	0,46	9,44	101,60
2	7,0	15,4	24,0	34,5	44,8	25,1	9,45	7,56	1,82	0,18	0,46	9,47	99,80
5	6,8	15,0	23,7	33,6	43,5	24,5	9,18	7,34	4,68	0,45	0,46	9,2	97,45
10	6,4	14,7	23,0	33,0	43,0	24,0	9,15	7,32	4,94	0,48	0,48	9,15	95,40
20	6,3	14,2	22,3	32,2	41,9	23,4	8,90	7,12	7,53	0,73	0,47	8,92	92,80
30	6,0	13,5	21,0	31,4	39,0	22,2	8,25	6,60	14,29	1,38	0,47	8,39	88,40
40	5,7	13,0	20,5	30,6	38,5	21,7	8,20	6,56	14,81	1,43	0,48	8,32	86,20
50	5,0	12,6	20,0	28,9	37,1	20,7	8,03	6,42	16,62	1,60	0,50	8,05	82,55
60	4,4	11,5	19,4	26,1	35,4	19,4	7,75	6,20	19,48	1,88	0,52	7,66	76,90
70	4,0	9,8	15,7	23,7	31,5	16,9	6,88	5,50	28,57	2,75	0,52	6,89	66,95
80	3,8	8,2	13,6	19,5	24,7	14,0	5,23	4,18	45,71	4,40	0,47	5,31	55,55
90	3,6	6,6	9,5	13,7	16,5	10,0	3,23	2,58	66,49	6,40	0,38	3,29	39,85
100	3,0	3,9	4,3	4,7	5,0	4,2	0,50	0,40	94,81	9,13	0,13	0,485	16,85

Tabla. 21 comportamiento frente a la interacción metálica de *Cunninghamella echinulata* (P3).

<i>Cunninghamella echinulata</i> (P3)													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲ MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	7,6	14,8	22,7	31,7	42,6	23,9	8,75	7	0,57	0,05	0,43	8,69	94,30
2	7,5	14,5	22,5	31,3	42,4	23,6	8,725	6,98	0,85	0,07	0,43	8,66	93,25
5	7,3	14,2	22,3	31,0	42,2	23,4	8,725	6,98	0,85	0,90	0,44	8,66	92,25
10	7,0	14,1	21,8	30,4	41,4	22,9	8,6	6,88	2,27	1,03	0,44	8,51	90,50
20	6,7	13,7	21,3	30,1	40,6	22,5	8,475	6,78	3,69	1,15	0,45	8,415	88,70
30	6,4	13,1	21,0	29,5	39,5	21,9	8,275	6,62	5,97	1,35	0,46	8,26	86,55
40	6,2	12,5	20,5	29,0	38,0	21,2	7,9625	6,37	9,52	1,66	0,46	8,02	84,08
50	6,0	12,0	19,4	28,4	37,2	20,6	7,8	6,24	11,36	1,83	0,46	7,88	81,40
60	5,8	11,5	18,6	28,0	36,4	20,1	7,6625	6,13	12,93	1,96	0,46	7,78	79,18
70	5,5	11,0	16,8	23,7	28,5	17,1	5,75	4,6	34,66	3,88	0,41	5,87	68,50
80	5,0	10,6	14,0	21,5	25,7	15,4	5,175	4,14	41,19	3,63	0,41	5,23	61,45
90	4,4	8,4	12,6	17,9	20,4	12,7	4	3,2	54,55	4,80	0,38	4,15	51,30
100	3,0	3,4	3,8	4,5	6,5	4,2	0,8625	0,69	90,20	7,94	0,19	0,8	16,33

Tabla. 22 comportamiento frente a la interacción metálica de *Mucor frágil* (P4).

<i>Mucor frágil</i> (P4)													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲ MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	7,7	15,2	23,6	31,6	43,6	24,3	8,975	7,18	0,28	0,03	0,43	8,82	96,05
2	7,5	15,0	23,4	31,2	43,2	24,1	8,925	7,14	0,83	0,07	0,44	8,76	94,95
5	7,3	14,2	22,3	31,0	42,2	23,4	8,725	6,98	3,06	0,90	0,44	8,66	92,25
10	7,0	14,1	21,8	30,4	41,4	22,9	8,6	6,88	4,44	1,03	0,44	8,51	90,50
20	6,9	13,9	21,3	30,0	41,0	22,6	8,525	6,82	5,28	1,10	0,45	8,43	89,15
30	6,6	13,4	20,8	29,8	40,0	22,1	8,35	6,68	7,22	1,28	0,45	8,32	87,30
40	6,1	13,0	19,5	28,3	38,4	21,1	8,075	6,46	10,28	1,55	0,46	7,99	83,05
50	5,7	12,6	18,9	27,6	37,3	20,4	7,9	6,32	12,22	1,73	0,47	7,82	80,60
60	5,4	12,1	18,0	26,0	36,2	19,5	7,7	6,16	14,44	1,93	0,48	7,55	76,90
70	5,1	11,6	16,6	24,7	32,5	18,1	6,85	5,48	23,89	2,78	0,46	6,79	71,70
80	4,2	9,5	13,6	16,8	21,4	13,1	4,3	3,44	52,22	4,70	0,41	4,17	52,70
90	3,6	7,1	10,2	12,6	15,7	9,8	3,0375	2,43	66,25	5,96	0,37	2,98	39,48
100	3,0	3,8	4,6	5,5	6,0	4,6	0,75	0,6	91,67	8,25	0,17	0,775	18,30

Tabla. 23 comportamiento frente a la interacción metálica de *Aspergillus niger* (P6).

Aspergillus niger (P6)													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲ MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	7,9	15,9	24,0	34,7	42,6	25,0	8,68	6,94	2,80	0,25	0,42	8,82	99,85
2	7,8	15,8	23,8	33,1	42,5	24,6	8,68	6,94	2,80	0,25	0,42	8,67	97,85
5	7,6	15,3	23,7	32,5	42,0	24,2	8,60	6,88	3,64	1,03	0,43	8,6	96,30
10	7,2	14,0	23,0	31,8	40,1	23,2	8,23	6,58	7,84	1,40	0,43	8,36	92,45
20	6,8	13,6	22,1	30,4	38,7	22,3	7,98	6,38	10,64	1,65	0,43	8,065	88,80
30	6,1	12,5	20,2	29,4	36,2	20,9	7,53	6,02	15,69	2,10	0,45	7,71	83,25
40	6,0	11,6	19,4	28,3	35,3	20,1	7,33	5,86	17,93	2,30	0,44	7,53	79,95
50	5,6	11,0	18,4	26,5	33,2	18,9	6,90	5,52	22,69	2,73	0,44	7,07	75,30
60	5,2	10,2	17,3	24,3	31,5	17,7	6,58	5,26	26,33	3,05	0,45	6,67	70,15
70	5,0	9,4	16,3	22,6	27,5	16,2	5,63	4,5	36,97	4,00	0,43	5,82	64,55
80	4,5	7,4	14,2	19,4	24,6	14,0	5,04	4,03	43,56	3,89	0,43	5,23	55,53
90	3,2	6,5	10,1	12,4	15,2	9,5	2,99	2,395	66,46	5,93	0,39	2,985	38,16
100	3,0	3,6	3,8	4,4	5,9	4,1	0,71	0,57	92,02	8,21	0,17	0,655	16,18

Tabla. 24 comportamiento frente a la interacción metálica de *Aspergillus welwitschiae* (P11).

<i>Aspergillus welwitschiae</i> (P11)													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	7,4	13,8	21,3	31,5	41,6	23,1	8,55	6,84	0,87	0,07	0,43	8,61	91,10
2	7,2	13,2	21,0	31,0	41,0	22,7	8,45	6,76	2,03	0,18	0,43	8,54	89,30
5	7,0	13,0	20,4	30,4	40,5	22,3	8,38	6,70	2,90	1,25	0,44	8,44	87,55
10	6,4	12,5	19,6	29,3	39,5	21,5	8,28	6,62	4,06	1,35	0,46	8,3	84,35
20	6,2	12,3	19,0	28,3	38,0	20,8	7,95	6,36	7,83	1,68	0,45	7,96	81,70
30	6,0	12,0	18,4	27,4	37,1	20,2	7,78	6,22	9,86	1,85	0,46	7,76	79,35
40	5,8	11,2	17,4	26,5	36,0	19,4	7,55	6,04	12,46	2,08	0,46	7,57	76,00
50	5,3	10,3	16,7	24,3	34,2	18,2	7,23	5,78	16,23	2,40	0,47	7,18	71,05
60	5,1	10,0	16,0	23,5	32,2	17,4	6,78	5,42	21,45	2,85	0,46	6,77	68,15
70	4,7	9,5	15,0	21,4	30,4	16,2	6,43	5,14	25,51	3,20	0,47	6,33	63,45
80	4,0	8,4	14,6	20,3	27,5	15,0	5,88	4,70	31,88	2,75	0,48	5,89	59,05
90	3,7	6,3	7,3	7,9	8,1	6,7	1,10	0,88	87,25	7,53	0,20	1,04	27,40
100	3,0	3,9	4,5	4,9	5,2	4,3	0,55	0,44	93,62	8,08	0,00	0,54	17,40

Tabla. 25 comportamiento frente a la interacción metálica de *Cunninghamella echinulata* (G2)

<i>Cunninghamella echinulata</i> (G2)													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	6,5	13,4	20,5	29,5	39,7	21,9	8,30	6,64	0,60	0,05	0,45	8,25	86,50
2	6,3	13,1	20,0	29,0	39,0	21,5	8,18	6,54	2,10	0,17	0,46	8,13	84,75
5	6,0	12,3	19,3	28,1	38,2	20,8	8,05	6,44	3,59	1,58	0,46	8,02	81,80
10	5,6	12,0	18,3	27,3	37,2	20,1	7,90	6,32	5,39	1,73	0,47	7,85	79,00
20	5,4	11,8	17,4	26,3	36,3	19,4	7,73	6,18	7,49	1,90	0,48	7,63	76,35
30	5,2	11,4	16,3	25,3	35,3	18,7	7,53	6,02	9,88	2,10	0,48	7,41	73,25
40	4,6	11,1	15,3	24,3	33,9	17,8	7,33	5,86	12,28	2,30	0,50	7,18	69,95
50	4,4	10,2	14,3	23,1	32,1	16,8	6,93	5,54	17,07	2,70	0,50	6,83	65,85
60	4,1	9,3	13,2	22,1	31,0	15,9	6,73	5,38	19,46	2,90	0,51	6,66	62,15
70	3,7	8,3	10,4	15,0	24,3	12,3	5,15	4,12	38,32	4,48	0,47	4,79	47,70
80	3,5	7,1	9,2	14,2	20,1	10,8	4,15	3,32	50,30	4,20	0,44	4,03	42,30
90	3,2	4,1	5,6	6,7	7,9	5,5	1,18	0,94	85,93	7,18	0,23	1,2	21,95
100	3,0	3,8	4,5	5,2	5,8	4,5	0,70	0,56	91,62	7,65	0,00	0,7	17,85

Tabla. 26 comportamiento frente a la interacción metálica de *Cunninghamella blakesleeana* (G5).

<i>Cunninghamella blakesleeana</i> (G5)													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	8,3	15,8	21,4	29,8	39,4	22,9	7,78	6,22	0,32	0,03	0,39	7,62	90,85
2	8,0	15,0	21,0	28,7	38,2	22,2	7,55	6,04	3,21	0,25	0,39	7,41	87,80
5	7,5	14,2	20,1	27,1	36,3	21,0	7,20	5,76	7,69	2,43	0,39	7,05	83,30
10	7,0	13,2	19,2	26,2	34,1	19,9	6,78	5,42	13,14	2,85	0,40	6,72	79,15
20	6,5	12,3	18,4	24,4	32,3	18,8	6,45	5,16	17,31	3,18	0,40	6,37	74,50
30	6,0	11,2	17,3	22,1	30,2	17,4	6,05	4,84	22,44	3,58	0,40	5,93	68,70
40	5,4	10,2	16,3	20,3	27,4	15,9	5,50	4,40	29,49	4,13	0,41	5,41	63,20
50	5,0	9,1	15,3	17,3	24,3	14,2	4,83	3,86	38,14	4,80	0,40	4,68	56,35
60	4,6	8,4	13,4	15,3	21,2	12,6	4,15	3,32	46,79	5,48	0,38	4,01	50,00
70	4,0	7,4	11,3	13,2	16,3	10,4	3,08	2,46	60,58	6,55	0,35	3,04	42,05
80	3,7	6,2	9,2	11,2	13,4	8,7	2,43	1,94	68,91	5,38	0,32	2,44	35,15
90	3,3	4,1	7,0	9,1	10,4	6,8	1,78	1,42	77,24	6,03	0,29	1,92	27,05
100	3,0	3,6	4,2	4,9	5,5	4,2	0,61	0,49	92,15	7,19	0,00	0,62	16,93

Tabla. 27 comportamiento frente a la interacción metálica de *Lasiodiplodia theobromae* (G7).

<i>Lasiodiplodia theobromae</i> (G7).													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	7,4	15,7	23,5	32,5	41,7	24,2	8,58	6,86	0,00	0,00	0,43	8,54	96,25
2	7,2	15,1	23,0	32,0	41,0	23,7	8,45	6,76	1,46	0,13	0,43	8,45	94,20
5	7,0	14,5	22,4	31,2	38,4	22,7	7,85	6,28	8,45	1,78	0,43	7,95	90,80
10	6,7	14,0	21,3	30,0	36,4	21,7	7,43	5,94	13,41	2,20	0,42	7,54	86,85
20	6,3	13,5	20,3	28,4	34,2	20,5	6,98	5,58	18,66	2,65	0,42	7,07	82,45
30	5,8	13,0	18,4	26,4	32,3	19,2	6,63	5,30	22,74	3,00	0,43	6,64	76,85
40	5,4	12,4	16,4	24,3	30,2	17,7	6,20	4,96	27,70	3,43	0,43	6,15	70,90
50	5,0	11,3	14,2	20,4	26,3	15,4	5,33	4,26	37,90	4,30	0,42	5,17	61,55
60	4,6	10,2	12,5	16,3	22,3	13,2	4,43	3,54	48,40	5,20	0,39	4,15	52,45
70	4,3	9,2	11,3	12,3	16,3	10,7	3,00	2,40	65,01	6,63	0,33	2,71	43,10
80	3,8	7,3	8,3	9,4	12,2	8,2	2,10	1,68	75,51	6,48	0,29	1,89	33,00
90	3,4	5,2	6,2	6,9	7,3	5,8	0,98	0,78	88,63	7,60	0,19	0,95	23,65
100	3,0	3,9	4,5	5,2	5,9	4,5	0,73	0,58	91,55	7,85	0,00	0,715	17,95

Tabla. 28 comportamiento frente a la interacción metálica de *Cunninghamella arunalokei* (G10).

<i>Cunninghamella arunalokei</i> (G10)													
Concentraciones (ppm)	Diámetro en mm/día					Promedio	T. Crecimiento simple (mm/día)	T. Crecimiento diario (mm/día)	PI%	▲ MLGR (mm/día)	RGR	MLGR por Regresión	AUC
	1	2	3	4	5								
0,5	10,3	18,4	28,5	37,0	42,8	27,4	8,13	6,50	1,22	0,10	0,36	8,36	110,45
2	9,8	18,0	27,5	36,5	42,1	26,8	8,08	6,46	1,82	0,15	0,36	8,31	107,95
5	9,1	17,6	26,5	35,4	41,3	26,0	8,05	6,44	2,13	1,58	0,38	8,22	104,70
10	8,3	17,0	25,4	33,4	40,4	24,9	8,03	6,42	2,43	1,60	0,40	8,06	100,15
20	7,5	16,4	24,3	31,2	38,4	23,6	7,73	6,18	6,08	1,90	0,41	7,66	94,85
30	7,0	15,3	23,1	29,4	36,4	22,2	7,35	5,88	10,64	2,28	0,41	7,29	89,50
40	6,6	14,6	22,3	27,4	34,2	21,0	6,90	5,52	16,11	2,73	0,41	6,8	84,70
50	6,0	13,2	21,3	25,3	30,3	19,2	6,08	4,86	26,14	3,55	0,40	6,07	77,95
60	5,4	11,2	20,3	23,5	27,4	17,6	5,50	4,40	33,13	4,13	0,41	5,63	71,40
70	4,7	10,4	18,4	20,4	23,4	15,5	4,68	3,74	43,16	4,95	0,40	4,74	63,25
80	4,1	8,3	13,0	16,4	19,4	12,2	3,83	3,06	53,50	4,40	0,39	3,87	49,45
90	3,6	5,2	8,4	11,3	14,3	8,6	2,68	2,14	67,48	5,55	0,34	2,75	33,85
100	3,0	3,7	4,5	5,3	6,0	4,5	0,75	0,60	90,88	7,48	0,00	0,76	18,00

