

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio y el crecimiento de palta cv. Hass *Persea americana* Mill

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO

AUTORA

Rosmery Bellido Rodriguez

ASESORES

Roger Manuel Mestas Valero

Armando Chiclla Salazar

Huaura, Perú

2025

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado**Presidente del jurado**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 055-2025-UCSS/FCAA-DI

Siendo las 04:00 p. m. del 15 de agosto de 2025 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. Juan Ignacio Pastén Monárdez | presidente |
| 2. Amada Victoria Larco Aguilar | primer miembro |
| 3. Juan José Monroy Ramos | segundo miembro |
| 4. Roger Manuel Mestas Valero | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada:

Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio y el crecimiento de palta cv. Hass *Persea americana* Mill

Que presentan la bachiller en **Ciencias Agrarias**

Rosmery Bellido Rodriguez

Cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Agrónomo**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR	X
DESAPROBAR	...

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la **Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales**, a fin de que se declare EXPEDITA para conferir el **TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**.

Lima, 15 de agosto de 2025.


Juan Ignacio Pastén Monárdez
Presidente


Amada Victoria Larco Aguilar
1° miembro


Juan José Monroy Ramos
2° miembro


Roger Manuel Mestas Valero
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR DE TESIS CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Huaura 27 de Agosto del 2025

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero.
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que la tesis bajo mi asesoría, con título: Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio y el crecimiento de palta cv. Hass *Persea americana* Mill, presentado por Rosmery Bellido Rodriguez (código de estudiante: 2016101696 y DNI: 70337401) para optar el **título profesional** de: Ingeniero Agrónomo ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser publicado en el Repositorio Institucional Digital.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Roger Manuel Mestas Valero

DNI N°: 23842285

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5097-9988>

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con mucho amor y respeto a mi madre Honorata Rodriguez Ochoa quien nunca dudo de mí y confió siempre hasta el final, sabiendo que no la defraudaría en esta importante etapa de mi vida, mi amor inmenso para ella ya que con este trabajo quiero retribuirle lo mucho que ha hecho de mí, no me alcanzara la vida para darle todo lo que se merece de igual forma a mi señor padre.

AGRADECIMIENTOS

Expresar mi más cordial agradecimiento a mis hermanos; David Bellido Rodriguez, Hernán Bellido Rodríguez y Analy Rodríguez Bellido por su apoyo incondicional y constante en el desarrollo de mi profesión y de esta tesis quien con su apoyo moral y económico hacen realidad este trabajo. Las palabras quedan pequeñas siendo mi gratitud inmensa para ellos.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE APÉNDICES	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	17
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	18
1.1. Antecedentes.....	18
1.2. Bases teóricas especializadas	24
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	46
2.1. Descripción de la investigación... ..	46
2.2. Lugar y fecha.....	46
2.3. Descripción del experimento... ..	48
2.4. Tratamientos	52
2.5. Unidades experimentales	52
2.6. Identificación de variables y su mensuración... ..	52
2.7. Diseño estadístico del experimento	53
2.8. Análisis estadístico de datos.....	54
2.9. Materiales y equipos	55
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	56
3.1. Colonización micorrízica en suelos con y sin presencia de cadmio en cultivos de palta Hass	57
3.2. Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio por la planta de palta Hass.....	59
3.3. Efecto de los hongos micorrízicos en el crecimiento de la palta Hass bajo estrés por cadmio... ..	62

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	65
4.1. Colonización micorrízica en suelos con y sin presencia de cadmio en cultivos de palta Hass	65
4.2. Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio por la planta de palta Hass	66
4.3. Efecto de los hongos micorrízicos en el crecimiento de la palta Hass bajo estrés por cadmio.....	67
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	69
CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS	71
TERMINOLOGÍA.....	84
APÉNDICES	86

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Algunos cultivares de aguates relevantes de clima tropical y subtropical</i>	27
Tabla 2. <i>Estructura de los tratamientos</i>	52
Tabla 3. <i>Variables y su mensuración</i>	53
Tabla 4. <i>Materiales y equipos</i>	55
Tabla 5. <i>Valores promedio de colonización micorrízica en los tratamientos</i>	56
Tabla 6. <i>ANOVA para la colonización micorrízica (%) en relación con los factores A: Inóculos de HMA y B: cadmio</i>	57
Tabla 7. <i>Valores promedio de cadmio en raíz en los tratamientos</i>	58
Tabla 8. <i>ANOVA para cadmio en raíz en relación con los factores A: Inóculos de HMA y B: cadmio</i>	59
Tabla 9. <i>Valores promedio de cadmio en hojas</i>	60
Tabla 10. <i>ANOVA para cadmio en hojas en relación con los factores A: Inóculos de HMA y B: cadmio</i>	60
Tabla 11. <i>Valores promedio del crecimiento (cm) de la planta de palta</i>	62
Tabla 12. <i>ANOVA para el crecimiento de palto en relación con los factores A: Inóculos de HMA y B: cadmio</i>	62

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Aspecto externo de diferentes cultivares de aguacate</i>	25
Figura 2. <i>Tipos de micorrizas</i>	37
Figura 3. <i>Micorrizas arbusculares y su papel en la nutrición vegetal</i>	38
Figura 4. <i>Ubicación de la UCSS filial Huaura</i>	47
Figura 5. <i>Ubicación de fundo agrícola utilizado en el desarrollo experimental</i>	47
Figura 6. <i>Verificación de hongos micorrízicos por microscopía</i>	49
Figura 7. <i>Trasplante de las plántulas de palta Hass e inoculación con HMA</i>	50
Figura 8. <i>Efecto de la colonización por HMA en suelos con y sin presencia de cadmio en cultivos de palta Hass</i>	57
Figura 9. <i>Efecto de cadmio en raíz de cultivos de palta Hass</i>	59
Figura 10. <i>Efecto de HMA en la absorción de Cd en hoja de palta Hass</i>	61
Figura 11. <i>Efecto de cadmio y los HMA en el crecimiento de palta Hass</i>	63

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Análisis físico químico de suelo usado en la investigación.....	86
Apéndice 2. Protocolo para determinar cadmio por fotometría.....	88
Apéndice 3. Pruebas de normalidad para colonización de micorrizas.....	89
Apéndice 4. Pruebas de homogeneidad de varianza para colonización de micorrizas.....	89
Apéndice 5. Prueba de HSD de Tukey para colonización micorrízica.....	89
Apéndice 6. Pruebas de normalidad para cadmio en raíz.....	90
Apéndice 7. Pruebas de homogeneidad de varianza para cadmio en raíz.....	90
Apéndice 8. Prueba de HSD de Tukey para colonización micorrízica.....	90
Apéndice 9. Pruebas de normalidad para cadmio en hojas.....	91
Apéndice 10. Pruebas de homogeneidad de varianza para cadmio en hoja.....	91
Apéndice 11. Prueba de HSD de Tukey para cadmio en hojas.....	91
Apéndice 12. Pruebas de normalidad para crecimiento de palta.....	91
Apéndice 13. Pruebas de homogeneidad de varianza para crecimiento de palta.....	92
Apéndice 14. Prueba de HSD de Tukey para crecimiento de palta.....	92
Apéndice 15. Galería fotográfica.....	93

RESUMEN

Esta investigación buscó evaluar efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio y el crecimiento de palta cv. Hass *Persea americana*. La investigación experimental utilizó semillas de palta que fueron germinadas y trasplantadas en bolsas conteniendo suelos desinfectados para ser aplicados con hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Los tratamientos incluyeron suelos con HMA con aplicaciones de cadmio ($10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y sin aplicaciones de HMA y cadmio; además, fueron tomadas mediciones de la altura de la planta, a partir de las dos semanas después de la inoculación hasta la finalización de los experimentos. Los resultados mostraron que el tratamiento con HMA logró la más alta colonización micorrízica (64,35 %) en palta Hass. Las raíces lograron una mayor acumulación del metal que en las hojas. En conclusión, las adiciones de HMA contribuyeron a la disminución de cadmio en los órganos aéreos como las hojas de la palta Hass, permitiendo una mayor acumulación del metal en raíces y un crecimiento de la planta con y sin cadmio.

Palabras clave: cadmio, colonización micorrízica, hongos micorrízicos arbusculares, palta Hass.

ABSTRACT

This research sought to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizal fungi on cadmium absorption and growth of cv Hass avocado *Persea americana*. The experimental research used avocado seeds that were germinated and transplanted into bags containing disinfected soil to be applied with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The treatments included soils with AMF with cadmium applications ($10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and without AMF and cadmium applications; in addition, plant height measurements were taken from two weeks after inoculation until the end of the experiments. The results showed that the AMF treatment achieved the highest mycorrhizal colonization (64,35 %) in Hass avocado. The roots achieved a greater accumulation of the metal than in the leaves. In conclusion, HMA additions contributed to the decrease of cadmium in aerial organs such as Hass avocado leaves, allowing greater accumulation of the metal in roots and plant growth with and without cadmium.

Keywords: cadmium, arbuscular mycorrhizal fungi, Hass avocado, mycorrhizal colonization.

INTRODUCCIÓN

El cadmio (Cd) es un metal pesado muy extendido y altamente tóxico para los organismos vivos. La contaminación con Cd es una preocupación ambiental primordial en todo el mundo debido a su difusión, persistencia y efectos nocivos (Genchi, *et al.*, 2020); además, es responsable de la contaminación del suelo por metales pesados, puede tener varios orígenes a partir de procesos como: erosión de rocas, erupciones volcánicas, incendios forestales y procesos de formación del suelo (Kubier *et al.*, 2019). Sin embargo, los suelos contaminados con cadmio a menudo son el resultado de la contaminación, principalmente generada por el hombre (Dutta *et al.*, 2021). Entre los metales pesados, el cadmio es el contaminante más común en los agroecosistemas, cuyas fuentes de contaminación incluyen deposición atmosférica, pesticidas, aguas residuales usadas para riego en campos agrícolas, fertilización con lodos, acumulación incontrolada de desechos que contienen metales pesados, minas de metales pesados y contaminación de aguas residuales ácidas (Jinadasa *et al.*, 2016). El riego con aguas residuales, el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas son las principales causas de la contaminación por Cd en suelos agrícolas los fertilizantes químicos y los pesticidas (Liu *et al.*, 2018).

Las plantas alimenticias cultivadas en ambientes contaminados acumulan metales en porciones comestibles a niveles superiores a los permitidos, lo que se ha convertido en un reto global en la producción de alimentos saludables. Raíces, hojas y frutos de la planta pueden absorber estos contaminantes del ambiente contaminado. En definitiva, los metales terminan en las partes comestibles de las plantas y, por lo tanto, llegan a la cadena alimenticia y terminan en el ser humano. Se estima que más del 80 % de la ingesta de Cd en humanos proviene del consumo de vegetales (Khan *et al.*, 2014). Recientemente, autoridades sanitarias de Holanda han comunicado la presencia de cadmio en un lote de palta Hass procedente de Perú. El Sistema de Alerta Rápida para Alimentos y Piensos (RASFF) fue la institución oficial en dar la alerta mediante una notificación publicada el 21 de marzo del 2022. Según este informe, la advertencia fue catalogada como grave, porque la palta peruana contenía cadmio a razón de 0,054 mg·kg, siendo el valor máximo permitido de 0,05 mg·kg⁻¹ en ppm (Servicio de Sanidad Agraria del Perú [SENASA], 2022). Para el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2018), los focos de contaminación por metales pesados

identificados en el Perú pueden ser por plantaciones que han estado en el ambiente minero; otro, porque la tierra lo acumuló y traslado a plantas, o por aplicaciones masivas de pesticidas. Por último, los fertilizantes como la roca fosfórica, que contienen cadmio aportar al suelo este tipo de metal, tal como lo comunicó Rojas (2022).

Ante esta problemática, existen mecanismos de biorremediación empleando diversos microorganismos como hongos, bacterias y algas. Ciertos hongos son promotores del crecimiento vegetal y agentes de biocontrol porque se adaptan a suelos con altos contaminantes. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son omnipresentes en diversos tipos de ecosistema, incluyendo múltiples áreas contaminadas y ambientes extremos, lo que puede generar simbiosis con más del 80 % de las plantas terrestres (Ji *et al.*, 2020).

Los HMA son utilizados ampliamente en la agricultura porque promueven principalmente la absorción de nutrientes y pueden vivir en mutua simbiosis beneficiosa con la planta huésped. Los HMA desempeñan un papel importante en la fitoestabilización al formar complejos de metales por sustancias como la glomalina, liberada por las hifas y esporas de estos HMA, inmovilizando metales pesados en estructuras y raíces de hongos tanto extrarradicales como intrarradicales, promoviendo la tolerancia de su huésped (Wang, 2017).

Por lo tanto, la presente investigación se justifica debido a su aporte de conocimiento en la reducción de Cd en los frutos de palta utilizando lo HMA, favoreciendo de esta manera a los productores de palta, quienes podrán superar los controles de calidad y poder comercializar nacional e internacionalmente este producto. Por este motivo, la presente investigación busca evaluar el efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio y el crecimiento de palta cv.Hass *Persea americana*. Con todo lo descrito anteriormente, este estudio se sustenta en estudios científicos tanto nacionales como internacionales que son abordadas en el Capítulo I, mientras, en el Capítulo II se explican los materiales y métodos desarrollados en esta investigación experimental y cuyos resultados se describen en el Capítulo III y se discuten en el Capítulo IV. Por último, el Capítulo V y VI muestran las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar el efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio y el crecimiento de palta cv. Hass *Persea americana* Mill

Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje de colonización micorrízica en suelos con y sin presencia de cadmio en palta cv. Hass.
- Estudiar el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio por la planta de palta cv. Hass.
- Evaluar el efecto de los hongos micorrízicos en el crecimiento de la palta cv. Hass contaminados por cadmio.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Li *et al.* (2023) en la investigación “Efectos de los hongos micorrízicos arbusculares en la disminución de estrés por cadmio en *Medicago truncatula* Gaertn”, Mianyang, China; tuvieron como objetivo investigar el efecto de mitigación de los HMA sobre la toxicidad de metales pesados en *M. truncatula*. Para realizar esta investigación experimental fueron recolectadas muestras de suelo de la capa superior (0–20 cm) en un área de cultivo de la Universidad de Ciencia y Tecnología del Suroeste. El diseño del experimento estuvo constituido por cuatro tratamientos en 12 macetas para evaluar el crecimiento, la fluorescencia de la clorofila, la absorción de Cd y contenido de malondialdehído (MDA). Las diferencias entre los grupos fueron probadas mediante análisis de varianza unidireccional (ANOVA) seguido de la prueba de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significancia de $p < 0,05$ utilizando SPSS 18,0. Los resultados mostraron que la inoculación de HMA bajo estrés por Cd podría mejorar la eficiencia fotosintética, aumentar la biomasa vegetal, disminuir el contenido de Cd y MDA y mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo. El estudio concluyó que la inoculación de HMA bajo estrés por cadmio puede aliviar el daño causado a las plantas por las sustancias metálicas pesadas. Después de la inoculación con HMA, el contenido de agua y la actividad fotosintética de las plantas aumentó significativamente, mejorando el ambiente del suelo.

Han *et al.* (2021) en la investigación “Desentrañando los efectos de los hongos micorrízicos arbusculares sobre los mecanismos de absorción y desintoxicación de cadmio en raigrás perenne (*Lolium perenne*), en Beijing, China; tuvieron como objetivo evaluar los efectos interactivos de la aplicación de Cd y la micorrización de HMA en la fisiología de la planta midiendo el crecimiento (longitud del brote y biomasa), la fotosíntesis, las concentraciones de clorofila y las actividades antioxidantes. Esta investigación con diseño experimental consistió en inocular una capa de 1 cm de HMA sobre *L. perenne* con dos especies diferentes (*Glomus etunicatum* y *Glomus mosseae*). *L. perenne* micorrízico y controles no micorrízicos

fueron expuestos al estrés por Cd y fueron probados los efectos de la micorrización de HMA sobre la absorción de Cd y la tolerancia posterior. Fueron analizados el ANOVA para probar las diferencias entre los tratamientos y para verificar la significancia de las diferencias entre las medias test de Tukey ($p < 0,05$). Los resultados mostraron que la infección micorrízica aumentó la absorción de Cd²⁺ por las raíces. La inactivación de los canales transportadores de Ca²⁺ disminuyeron con la absorción de Cd²⁺ en las raíces no inoculadas en mayor medida que en las raíces inoculadas. En consecuencia, las plantas inoculadas exhibieron una mayor acumulación de Cd tanto en las raíces como en los brotes que los controles no inoculados. El estudio concluyó que los HMA mejoran la actividad fitorremediadora de *L. perenne* en ambientes contaminados por metales pesados.

Molina *et al.* (2020) en la investigación “Efecto de la colonización de micorrizas arbusculares sobre el estrés oxidativo mediado por cadmio en *Glycine max* L.”, en San Luis, Argentina”; tuvieron como objetivo evaluar la colonización por el hongo *Rhizophagus intraradices* Walker y Schüßler en plantas de soja bajo estrés oxidativo inducido por Cd. Esta investigación experimental fue realizada considerando dos factores: colonización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la exposición a Cd, permitiendo ensayar cuatro tratamientos experimentales (1) plantas sin inocular con HMA, (2) plantas no micorrizadas con Cd, (3) plantas inoculadas con HMA, y (4) plantas micorrizadas con Cd. Cada maceta contenía dos plantas de soja incluidas seis repeticiones. Las esporas de HMA fueron extraídas de 50 g de cada muestra de suelo. Además, el sustrato fue previamente esterilizado con vapor dos veces a 120 °C y evaluado sus características fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total, nitrógeno total, fósforo disponible y materia orgánica). La concentración de cadmio fue determinada mediante inducción de espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado (ICP-OES). El porcentaje de colonización, arbusculos y vesículas de *R. intraradices* en raíces de soja con y sin adición de Cd, así como Cd, P y Fe en el contenido del tejido fue analizada mediante un análisis de varianza (ANOVA), considerando significativamente diferentes con un valor de $p \leq 0,05$. Los resultados reflejaron una menor concentración de Cd en toda la planta y una mayor concentración de nutrientes como fósforo y hierro. Sin embargo, estas ventajas no fueron reflejadas en el crecimiento de la planta, los cuales fueron similares para plantas de soja. El estudio concluyó que la colonización de las raíces de la soja por *R. intraradices* podría

permitir la tolerancia cruzada a la adición de cadmio, logrando un mejor desarrollo de la planta.

Balderas *et al.* (2019) en la investigación “Colonización de micorrizas arbusculares en huertos de aguacate con dos prácticas diferentes de manejo de fincas”, Nayarit-México; tuvieron como objetivo cuantificar la colonización de los hongos micorrízicos arbusculares de dos huertos de palta con diferentes prácticas agrícolas de manejo de nutrientes. El estudio experimental fue realizado en huertas de palta (*Persea americana*, variedad Hass) con diferentes prácticas de manejo de nutrientes agrícolas. La huerta 1 no recibió nutrientes químicos, mientras que la huerta 2 recibió una combinación de nutrientes, tanto químicos (N, P, K, Ca, Zn, B y Mg, 4 kg/árbol por año) como orgánicos (estiércol de pollo, 30 kg/árbol por año). En cada huerto, fueron recolectadas raíces finas de 30 árboles reproductivos de palta seleccionados al azar en dos parcelas de 50×50 m. Los resultados mostraron que el porcentaje de colonización por hifas, vesículas y arbusculos fue mayor en el huerto 1 respecto al huerto 2 y estas diferencias fueron estadísticamente significativas. Asimismo, el estudio mostró que los árboles que crecían en el huerto 2 tenían la colonización de hongos micorrízicos más baja para todas las estructuras fúngicas cuantificadas. Además, este huerto tenía, en general, los árboles más grandes. El estudio concluyó que las prácticas de manejo disminuyen la colonización de los hongos micorrízicos. Además, los hongos pueden reducir el uso de agroquímicos, promoviendo la salud del suelo, el rendimiento de las plantas y la calidad en los agroecosistemas.

Chang *et al.* (2018) en la investigación “Efectos de la simbiosis micorrízica arbuscular en el crecimiento y la absorción de nutrientes y metales por plántulas de maíz (*Zea mays* L.) Cultivadas en suelos enriquecidos con lantano y cadmio”, en Hohhot, China; tuvieron como objetivo estudiar los efectos de la inoculación de *Claroideoglossum etunicatum* sobre la tasa de colonización micorrízica, biomasa, absorción de nutrientes, absorción y translocación de elementos metálicos, actividad enzimática antioxidante y acumulación de sustancias osmóticas en plántulas de maíz cultivadas en suelos enriquecidos con La y Cd. La parte experimental contempló el uso de brotes y raíces de las plantas, las cuales fueron cosechadas y lavadas por separado. Los tratamientos contemplados fueron: dos tratamientos de Cd: 0 y 5 mg·kg⁻¹ de suelo, dos tratamientos de La: 0 y 100 mg·kg⁻¹ de suelo, y dos inoculaciones

micorrízicas: con y sin *C. etunicatum*. La colonización fue estudiada por microscopia y la determinación de los metales en la planta por espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente. Para detectar la significancia estadística de las diferencias entre las medias, realizaron la prueba de rangos múltiples de Duncan con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Los resultados indicaron que las aplicaciones individuales y combinadas de La ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) y Cd ($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) redujeron significativamente las tasas de colonización de raíces en un 22,0 % a 35,0 %, respectivamente. Con la inoculación de HMA, el tratamiento con dos metales aumentó significativamente la biomasa del maíz en un 26,2 % en comparación con el tratamiento con un solo metal. El tratamiento con dos metales aumentó significativamente la absorción de N, P y K en un 20,1 % a 76,8 % en comparación con el tratamiento con un solo metal. El estudio concluyó que la simbiosis HMA afectó significativamente el tipo y el grado de interacción entre las tierras raras y los metales pesados en el sistema suelo-planta, dependiendo del tipo de metal y las concentraciones en los suelos.

Shu *et al.* (2017) en la investigación “Los efectos del injerto de palta (*Persea americana* Mill.) sobre el desarrollo de micorrizas arbusculares en portaobjetos”, tuvieron como objetivo estudiar la composición de los HMA, la evaluación del suelo, la densidad de esporas, la densidad de longitud de hifas y contenido de proteína del suelo relacionada con glomalina (GRSP) en el suelo de la rizosfera. Para realizar este experimento fueron utilizados 18 árboles cultivados en el huerto experimental de la Investigación de Cultivos Subtropicales del Sur del Instituto, Zhanjiang, China. Cada tratamiento incluyó el injerto de una variedad (Brooks late, Monroe, Wilson seedless, Hass y Tonnage), con tres repeticiones biológicas. Fueron medidos el suelo, la morfología del pelo de la raíz y la tasa de colonización de las HMA usando la microscopia. Los datos experimentales fueron analizados estadísticamente utilizando ANOVA a través del software SAS 8.1 y con diferencia significativa ($p < 0,05$) para comparar los datos. Los resultados mostraron que los portainjertos cultivados con cinco vástagos diferentes no mostraron diferencias entre sí, incluidos *Glomus*, *Acaulospora* y *Scutellospora*. Los vástagos influyeron en las proporciones de *Scutellospora* y otros géneros poco característicos. Los autores concluyeron que los vástagos regulan sistemáticamente tanto la colonización de HMA como el desarrollo del pelo radicular, siendo los injertos con la variedad Monroe, Wilson seedless, Hass y Tonnage las que obtuvieron una mayor absorción debido a una mayor colonización de HMA.

Nacionales

Bastidas (2024) en su investigación “El cadmio en el suelo y su efecto en el cultivo del palto (*Persea americana* Mill.)”, tuvo como objetivo detallar el comportamiento y origen del cadmio; así como, los niveles de cadmio en suelo y fruto en la costa peruana. La investigación fue descriptiva. La muestra de suelo estuvo integrada por 5-10 submuestras tomadas del punto muestral. El total de puntos muestrales fue de 234 puntos. La muestra de planta y la fruta estuvo conformada por 500 g de tejido y pulpa. El análisis del contenido de Cd fue realizado por espectrometría de masas de plasma acoplada inductivamente (ICP – MS). Estos datos obtenidos fueron plasmados en mapas de Cd. Los resultados evidenciaron que las raíces presentaron la mayor acumulación de cadmio. En los suelos de Ica detecto concentraciones bajas, medias y altas de este metal, todas por debajo de $1,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Los análisis efectuados en raíces de palto en la zona sur mostraron valores variables entre 0,7 ppm y 1,8 ppm, lo que representaron obstáculo para los productores que buscan exportar su cosecha. El autor concluyó que la elaboración de mapas de distribución de cadmio ofrece una visión integral de su variabilidad y facilita el desarrollo de estrategias orientadas a disminuir la presencia de este contaminante metálico.

Solorzano-Acosta *et al.* (2023) en la investigación “Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal y las micorrizas arbusculares mejoran el crecimiento de *Persea americana* var. Zutano bajo condiciones de estrés salino”, tuvieron como objetivo evaluar a bacterias PGPR y micorrizas arbusculares en la mejora de la resistencia al estrés salino en plántulas de palta de la variedad Zutano. La investigación fue experimental y utilizaron paltas de la variedad Zutano para evaluar el papel de las rizobacterias nativas y dos hongos *Glomeromycota*, uno de un barbecho (*Glomeromycota* Fallow Inoculum-GFI) y el otro de un suelo salino (*Glomeromycota* Wetland Inoculum-GWI), en la mitigación de la salinidad en la palta: (i) el efecto de las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, y (ii) el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos sobre la tolerancia al estrés salino. Los datos obtenidos en cada experimento fueron sometidos a un análisis de varianza. Posteriormente, compararon los tratamientos con la prueba de Duncan para determinar las diferencias entre las cepas y los niveles de salinidad ($p < 0,05$). Las rizobacterias *P. plecoglossicida* y *B. subtilis* contribuyeron a disminuir la acumulación de cloro, potasio y sodio en las raíces, en comparación con el control no inoculado, al tiempo que contribuyeron a la acumulación de

potasio en las hojas. Las micorrizas aumentaron la acumulación de iones de sodio, potasio y cloro en las hojas a un nivel bajo de salinidad. GWI disminuyeron la acumulación de sodio en las hojas en comparación con el control (1,5 g NaCl sin micorrizas) y fue más eficiente que GFI para aumentar la acumulación de potasio en las hojas y reducir la acumulación de cloro en las raíces. Los autores concluyeron que los microorganismos beneficiosos probados son prometedores en la mitigación del estrés salino en palta.

Coral (2022) realizó una investigación cuyo objetivo fue evaluar la recuperación de suelos con la aplicación de micorrizas benéficas para la obtención de plántulas de cacao *Theobroma cacao* L. El estudio fue de tipo aplicada y presentó un enfoque cuantitativo de diseño experimental. Para realizar esta investigación fueron recolectadas muestras de suelo de la localidad de Caynarachi, San Martín y presentó cuatro tratamientos a diferentes niveles de micorrizas (0; 40; 50; 60 mg·kg⁻¹ de suelo) bajo un diseño completamente al azar. Los datos fueron sometidas al análisis de varianza (ANOVA) y las comparaciones a través de Tukey ($p < 0,05$) utilizando el software SAS. Los resultados para la caracterización inicial del suelo mostraron una mayor tendencia a lo arcilloso (86 %), alta materia orgánica (MO) (15,11 %), con CIC de 38,26 meq, pH de 7,4; nitrógeno total (NT) de 12,38 mg·kg⁻¹, cadmio (Cd) 78 mg·kg⁻¹ y plomo (Pb) 1,7 mg·kg⁻¹. Después de los tratamientos no fue encontrado diferencias significativas entre la MO, pH, NT, P y K; pero sí con Cd y Pb. Con respecto al desarrollo de las plántulas de cacao fueron registrados variaciones significativas en todos los parámetros estudiados. El autor concluyó que las dosis aplicadas de micorrizas permitieron la disminución de Pb y Cd en los suelos estudiados.

Vallejos-Torres *et al.* (2022) realizaron una investigación cuyo objetivo fue investigar el efecto sinérgico de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y la enmienda orgánica en el “cacao” *Theobroma cacao* en suelos con metal pesado cadmio (Cd). La investigación fue de tipo aplicada y con diseño experimental, en donde fueron utilizados suelos (0-20 cm) provenientes de campos agrícolas de la localidad de Aucasoma (San Martín). Fueron evaluados la influencia de la inoculación de HMA, la adición de fertilizantes (CP) y la aplicación de cadmio (Cd) en el desarrollo de las plantas de cacao a 90 días de exposición. Los efectos de la inoculación de compost, Cd y micorrizas y sus interacciones fueron analizados mediante ANOVA de tres vías y la prueba de rango de Tukey ($p < 0,05$),

utilizando el software estadístico R, versión 4.2. Los resultados mostraron un mayor crecimiento en plantas de cacao tratadas con la combinación de HMA+CP. El tratamiento con HMA+CP también disminuyó el Cd en órganos aéreos de las plantas de cacao. El tratamiento combinado, AMF+CP (con o sin adición de Cd), fue el más eficiente para incrementar el pH, la materia orgánica y fósforo en suelo. La adición de compost con HMA (HMA+CP) disminuyó la colonización de raíces de HMA y el micelio extra radical del mismo. Los autores concluyeron que la inoculación de HMA en combinación con compost tiene importantes beneficios sinérgicos, no solo para el crecimiento de las plantas y la mejora de las propiedades químicas del suelo, sino también para disminuir la absorción de Cd por el cacao cultivado en suelos contaminados.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Palta cv. Hass *Persea americana* Mill

Botánica y origen

La palta es un árbol de hoja perenne, con una longevidad corta en hojas, lo que no es más de 12 meses. Se caracteriza por un rápido crecimiento en altura y extensión, alcanzando alturas de hasta 20 m, sus raíces son poco profundas y tienen mala absorción de agua y conductancia hidráulica. Aunque los árboles producen grandes cantidades de flores, generalmente menos del 0,1 % de estas flores dan fruto. La floración y el cuajado de frutos pueden verse influenciados por tres factores climáticos diferentes: (1) la ocurrencia de heladas durante el invierno; (2) la existencia de temperaturas medias bajas; (3) la aparición de temperaturas extremadamente altas durante el cuajado (Hurtado-Fernández *et al.*, 2018).

Origen y distribución

La palta es un fruto arbóreo originario de México y Centroamérica. Algunas investigaciones arqueológicas indican que se encontraron esta planta en México en el año 8000 a.C. y en Perú hacia el 3000-4000 a.C. La zona de origen no se conoce con exactitud, dada la existencia de varias poblaciones silvestres. El nombre español "aguacate" proviene del azteca "ahuacatl" (Hurtado-Fernández *et al.*, 2018). Mientras que el nombre palta tiene un

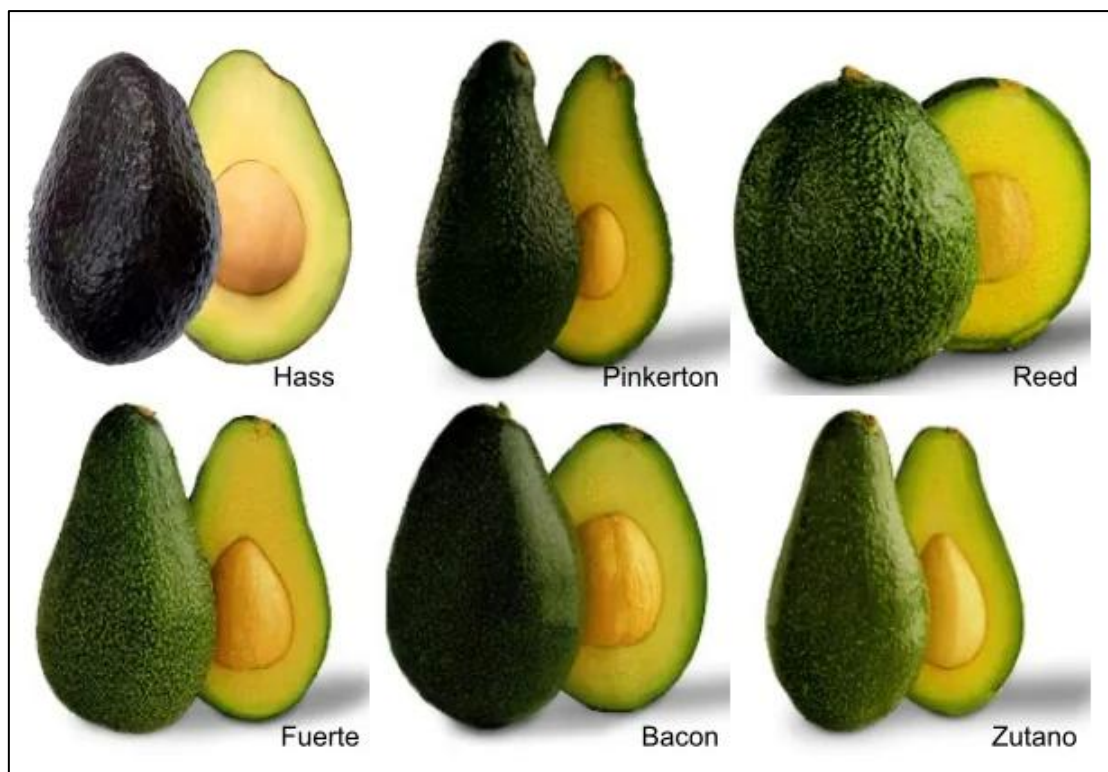
origen quechua. En quechua, "palta" significa "fruta", específicamente la fruta que se describe (Buades, 2016).

Razas de la palta

Aguacate mexicano *Persea americana* var. *Drymifolia*. El aguacate mexicano es originario de los valles y altiplanos del centro de México donde el clima es subtropical y templado y la altitud está entre 1,500 y 2,000 m s.n.m. El aguacate mexicano es resistente al frío, generalmente pequeño, de entre 30 y 80 mm de longitud, pesa entre 90 y 180 g, tiene forma piriforme, piel delgada y exterior liso. Los aguacates son generalmente verdes, pero pueden tener tonalidades moradas o negras. Su pulpa tiene un alto contenido de grasa (10 a 25 %) y un sabor a nuez cuando está madura. Sus hojas son más pequeñas que las de los otros dos tipos y tienen glándulas esenciales que huelen a anís, lo que se nota al apretar las hojas. Las semillas son pequeñas en tamaño. La Figura 1 muestra el aspecto externo de diferentes cultivares de aguacate.

Figura 1

Aspecto externo de diferentes cultivares de aguacate



Nota. Adaptado de <https://www.agrohuerto.com/variedades-de-aguacate-mas-importantes>

Aguacate guatemalteco *Persea nubigena* var. *Guatemalis*. El aguacate guatemalteco es originario de la región centro occidental de Guatemala con una altitud de entre 1 000 y 2 000 m s.n.m. Tiene una piel gruesa y es resistente al transporte. Es menos resistente al frío que el aguacate mexicano y su fruto es de tamaño mediano a grande, de 7,5 a 25 cm de longitud y pesa entre 120 y 1500 g. El fruto es de forma esférica, ovalada o piriforme, el grosor del epicarpio es de entre 2 y 12 mm con una consistencia dura, y su superficie es quebradiza y a veces granulosa y su color va del verde opaco al morado. La pulpa es algo fibrosa con un alto contenido de grasa (18 a 20 %). Cuando está maduro su sabor varía de mantecoso a nuez. La semilla es grande y llena su cavidad. Las hojas son más grandes que las del aguacate mexicano y no huelen a anís.

Aguacate antillano *Persea americana* var. *americana*. El aguacate antillano proviene de la costa del Pacífico de México, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, desde una altitud por debajo de los 1 000 m s.n.m. Es susceptible al frío y resistente a la salinidad y la clorosis. El periodo que transcurre desde la floración hasta la formación del fruto es bastante corto. El pedúnculo es largo y tiene forma de punta de uña. El aguacate antillano está adaptado a baja altura y altas temperaturas, su fruto es de tamaño mediano a grande (7,5 a 25 cm de longitud), y puede pesar entre 110 y 1 100 g. El fruto puede ser ovalado o piriforme, tiene la piel fina, aunque más fuerte que la del aguacate mexicano. Es de color verde claro a amarillo rojizo, su pulpa tiene un bajo contenido de grasa (5 a 15 %) y su sabor varía entre acuoso/sofo a mantecoso. La semilla no suele llenar su cavidad.

Por lo general, los cultivares en climas tropicales no son los mismos que los de las zonas subtropicales. Algunos de los principales disponibles comercialmente se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1*Algunos cultivares de aguacate relevantes de climas tropicales y subtropicales*

Clima subtropical		Clima tropical	
cultivo	raza	cultivo	raza
Bacon	MxG	Blair	G
Colin V33	M	Booth 7	GxWI
Edranol	G	Booth 8	GxWI
Ettinger	M	Choquette	GxWI
Fuerte	MxG	Hickson	G
Gwen	GxM	Lisa	MxWI
Hass	G/GxM	Loretta	GxWI
Lamb Hass	GxM	Lula	GxWI
Pinkerton	GxM	Monroe	GxWI
Reed	G	Pollock	WI
Ryan	MxG	Simmonds	WI
Shepard	M	Taylor	G
Sir Prize	M	Tonnage	G
Zutano	MxG	Waldin	WI

Nota. Adaptado de “Avocado fruit—*Persea americana*” (p. 37), por Hurtado-Fernández *et al.* (2018), Exotic Fruits Reference Guide doi:10.1016/b978-0-12-803138-4.00001-0.

Morfología de la palta

Sistema radicular. Las raíces del aguacate suelen ser poco profundas, con una raíz principal corta y frágil, característica común en especies arbóreas de zonas con abundante disponibilidad de agua durante su fase de crecimiento. El sistema radicular puede alcanzar entre 1,0 y 1,5 m de profundidad, aunque en suelos sueltos puede extenderse aún más. Presenta un patrón de crecimiento principalmente horizontal, concentrándose en los primeros 50 cm del suelo. Debido a la escasa presencia de pelos absorbentes, la captación de agua y nutrientes se realiza principalmente en los tejidos primarios ubicados en las puntas de las raíces. Esta característica del aguacate lo hace susceptible a inundaciones porque la planta puede asfixiarse fácilmente y volverse vulnerable a ataques de hongos (Viteri *et al.*,

2021). Por esta razón, se debe plantar en suelos profundos que no tengan problemas de drenaje interno ni texturas de suelo que contengan demasiada arcilla.

Tronco. Las paltas tienen troncos leñosos, rectos, que pueden alcanzar una altura de 12 m aunque existen reportes de árboles de 20 m de altura con troncos de más de 1,5 m de diámetro (Viteri *et al.* 2021). La corteza tiene apariencia corchosa, de lisa a agrietada, y con un espesor de 30 mm. El tejido leñoso es de color crema con vasos anchos. Los árboles de menos de 5 m de altura facilitan las prácticas de control fitosanitario, cosecha y fertilización foliar. Las ramas son abundantes y delgadas, sensibles a las quemaduras solares y heladas, frágiles frente al viento y al exceso de producción. Por ello, es una práctica recomendada plantar variedades enanas, pero también seleccionar áreas protegidas del viento (Aguirre *et al.*, 2020).

Hojas. Las hojas del aguacate son simples, elípticas, alternas, enteras, elípticas, alargadas, pedunculadas, pinnado-nervadas y pecioladas. La epidermis es pubescente y al llegar a la madurez se vuelve lisa con el haz verde intenso. Algunas variedades tienen un corto periodo de defoliación antes de florecer, lo que indica adaptación a lugares no apropiados para este cultivo (Kendir y Köroğlu, 2018).

Flores. La inflorescencia es axilar y las flores son hermafroditas, simétricas y se agrupan en racimos de color amarillo verdoso. Las flores tienen órganos femeninos y masculinos, pero no funcionan al mismo tiempo, por lo que no permiten la autopolinización. Por esta razón, las variedades se clasifican en función de su comportamiento como tipo A o tipo B. Para ambos tipos abren primero como hembras, cierran por un periodo fijo y abren nuevamente como machos. Esta característica de las hojas de aguacate es una consideración muy importante al momento de la plantación para obtener el volumen de producción deseado. Se deben mezclar variedades que se adapten a la misma altitud y que sean del tipo A y B en una proporción de 4:1, donde la mayor población plantada sea la de la variedad deseada. Cada árbol puede producir hasta un millón de flores y sólo el 0,1 por ciento de ellas producirá frutos por abscisión de flores y aborto de frutos pequeños (Viteri *et al.*, 2021).

Las características que diferencian a cada raza son la etapa de floración, el período de cosecha, el período de floración-cosecha, el peso y tipo de piel, el contenido de grasa de la

pulpa y la resistencia al frío tanto en plantas jóvenes como adultas. Otras características a tener en cuenta son el olor de las hojas (anisadas o sin olor), la forma del pedúnculo y el tipo de grupo floral (A y B) (Hurtado-Fernández *et al.*, 2018).

Fruto. El fruto del aguacate es una drupa carnosa que puede presentar forma de pera, ovoide, globosa o alargada, con una piel que varía entre lisa y rugosa. Su color depende de la variedad y del grado de madurez, pudiendo ir desde verde claro hasta verde oscuro, e incluso de tonos violetas a negros, alcanzando su madurez tras la recolección. Los periodos de floración y maduración son propios de cada raza: en la antillana, entre 5 y 8 meses; en la guatemalteca, de 10 a 15 meses; y en la mexicana, de 6 a 8 meses. Características como la textura y consistencia de la piel y la pulpa están determinadas por la raza y la variedad cultivada. Aquellos frutos con piel más dura presentan una mayor resistencia al transporte y manipulación (Miller, 2020).

Semilla. Las semillas de la raza antillana tienen una cubierta membranosa de grosor medio a grueso. En otras razas, esta capa es delgada. El endocarpio o semilla es importante en cuanto a la relación fruto/semilla, siendo ideal una proporción mayor de pulpa y una semilla de tamaño medio a pequeño (Miller, 2020).

Requerimientos agroecológicos de la palta

Clima. El cultivo de la palta es posible gracias a la interacción favorable de diversos factores climáticos. A continuación, se presentan los requerimientos climáticos de las principales variedades comerciales. Aunque su origen es tropical, el aguacate puede cultivarse en latitudes de hasta 43°, lo que se debe principalmente a su amplia diversidad genética, representada por tres razas hortícolas. La raza antillana se adapta mejor a zonas ecuatoriales y, en regiones subtropicales, se utiliza principalmente como patrón en suelos con alta salinidad. La raza mexicana tolera temperaturas de hasta -7 °C por algunas horas, mientras que la guatemalteca presenta características intermedias. La mayoría de las variedades comerciales de zonas subtropicales corresponden a la raza mexicana, guatemalteca o a híbridos de ambas. La palta Hass prefiere zonas con períodos secos bien definidos (Ramírez-Gil *et al.*, 2023).

Temperatura. Para las variedades antillanas, las condiciones ideales incluyen temperaturas de alrededor de 25 - 30 °C durante el día y temperaturas nocturnas de alrededor de 15 - 20 °C. Temperaturas superiores a 36 °C causan daños severos, particularmente durante la polinización y el cuajado de frutos. Un período fresco (alrededor de 10 °C) en invierno es necesario para favorecer la inducción floral. Las primaveras y veranos no demasiado calurosos pueden alargar la fase de fructificación en algunos cultivares tardíos, extendiendo así la cosecha (Abraham *et al.*, 2018).

En general, se deben elegir áreas libres de heladas para cultivar paltas Hass ya que este factor tiene una incidencia directa en la duración del período de flor a fruto, que aumenta a medida que bajan las temperaturas. En regiones frías, este ciclo puede extenderse entre 10 y 14 meses, mientras que en zonas cálidas se reduce a 5-8 meses. Esta variedad presenta sensibilidad tanto a las heladas intensas como a las altas temperaturas, especialmente durante las etapas de floración y fructificación. Las condiciones óptimas para su desarrollo comprenden temperaturas medias anuales de 14 a 24 °C, con rangos diurnos de 20 a 30 °C y nocturnos de 10 a 20 °C, lo que favorece que el fruto permanezca más tiempo en el árbol y prolongue el periodo de cosecha. En cuanto a temperatura, las variedades se comportan de acuerdo a la raza progenitora; la raza antillana es poco resistente al frío, a diferencia de la raza guatemalteca o mexicana (Bhore *et al.*, 2021).

Luz solar. Las ramas de aguacate que están a la sombra son improductivas, por lo que es muy importante realizar podas adecuadas y controlar la densidad de plantas. La exposición a pleno sol es muy beneficiosa para el cultivo; sin embargo, el tallo y las ramas primarias son susceptibles a quemaduras solares (Bhore *et al.*, 2021).

Humedad relativa. Respecto a la humedad relativa, el aguacate requiere niveles cercanos al 75-80 % para favorecer un óptimo establecimiento de plántulas y un adecuado cuajado de flores. Un exceso de humedad puede favorecer la proliferación de algas o líquenes en tallos, ramas y hojas, así como la aparición de enfermedades fúngicas que afectan al follaje, la floración y el desarrollo de los frutos. Por el contrario, un ambiente demasiado seco puede provocar la muerte del polen, afectando negativamente la fecundación y reduciendo la formación de frutos (Abraham *et al.*, 2018).

Lluvias. Las paltas necesitan de 1 000 a 2 000 mm de lluvia durante todo el año. La variedad Hass requiere una precipitación anual de 1 200 a 1 800 mm. Sin embargo, se debe proporcionar riego complementario durante la estación seca y cualquier período de calor que ocurra durante el primer año de establecimiento (Abraham *et al.*, 2018).

Nutrientes esenciales de la palta

Nitrógeno. El nitrógeno (N) es el nutriente más limitante para el crecimiento y la producción de frutos de la palta, y la tasa de aplicación cambia según el desarrollo de la planta (14 a 100 g de nitrógeno elemental por metro cuadrado de área de copa por año) (Newett *et al.*, 2018). Aunque los fertilizantes químicos son la fuente más común de N que agregan los productores, este elemento también se proporciona a los árboles a través del ciclo de nutrientes de la descomposición de la hojarasca vegetal, mantillos orgánicos, estiércol u otras enmiendas orgánicas que pueden suministrar parte o la totalidad del N requerido a través del proceso de mineralización. El uso constante de mantillos durante varios años puede proporcionar una cantidad significativa de N a la palta. En California, un huerto de aguacates de 3 años cubierto con mantillo anualmente durante 3 años con 12–14 Mg·ha⁻¹ (0,25–0,38 m³ por árbol) de eucalipto triturado mostró que el N total en el suelo cubierto con mantillo era el doble que el del control. Los núcleos de suelo intacto cubiertos con mantillo liberaron 53 kg·ha⁻¹ más de N anualmente que los tratamientos de control, y la mineralización neta del mantillo aplicado comenzó aproximadamente 8,5 meses después de la aplicación (Bonilla *et al.*, 2015).

Fósforo. El fósforo (P) se encuentra principalmente en los suelos en forma de minerales, tiene baja movilidad y solubilidad, y tiene una disponibilidad máxima para las plantas a valores de pH entre 6,5 y 7,0. La absorción por parte de plantas con sistemas radiculares gruesos, como la palta, puede ser deficiente (lo que a menudo se supera con la formación de simbiosis con hongos micorrízicos). Las formas fertilizantes de fósforo incluyen sales solubles como el fosfato de amonio y el triple superfosfato. La acumulación de P en las capas superiores del suelo (5 cm o menos) está relacionada con las aplicaciones superficiales de P (fertilizantes y abonos) y la acumulación de residuos vegetales en sistemas de labranza reducida (Duncan *et al.*, 2019).

Potasio. Los árboles de palta tienen un requerimiento relativamente alto (K). El K es relativamente soluble y se lixivia fácilmente de los suelos con una baja capacidad de intercambio catiónico. Los huertos se fertilizan rutinariamente con K, tal vez sobrefertilizados con potasio (Newett *et al.*, 2018), pero la importancia de la fertilización es más significativa en suelos arenosos donde este elemento se lixivia fácilmente por debajo de la zona radicular. Los huertos que utilizan estiércol y otros materiales orgánicos para aportar nitrógeno generalmente tendrán K en abundancia. La aplicación de fertilizantes de cloruro de K y sulfato de potasio aumenta la acidez del suelo en dosis más altas y debe evitarse ya que la palta es sensible a la salinidad (Paul *et al.*, 2021).

Micronutrientes

De los muchos elementos diferentes que se requieren en cantidades traza para la nutrición de las plantas, el boro, el hierro y el zinc son los de mayor preocupación para los productores de aguacate. La solubilidad de estos minerales está controlada directamente por el pH (Vatansever *et al.*, 2017).

Zinc. Las deficiencias de Zn ocurren tanto en suelos ácidos como alcalinos. En suelos ácidos, las deficiencias de zinc se producen cuando el Zn se ha solubilizado y lixiviado en el subsuelo de modo que las cantidades totales del suelo se agotan en la zona de la raíz. La deficiencia de Zn. Otros factores que influyen en la deficiencia de Zn son los fertilizantes con alto contenido de N y P. Es esencial utilizar el análisis del tejido foliar de la planta para determinar qué tipo de deficiencia mineral está ocurriendo cuando aparecen los síntomas de deficiencia y luego tratar con el material apropiado para evitar la toxicidad. Los fertilizantes de Zn se han aplicado a los árboles mediante aplicación foliar, aplicación de fertilizantes al suelo, inyección en el tronco y fertirrigación, pero la aplicación de fertilizantes al suelo es la más eficaz (Rengel, 2015).

Hierro. Las respuestas fisiológicas a la deficiencia de hierro (Fe) se caracterizaron en las raíces y hojas de las plantas de palta. La deficiencia de Fe en esta planta provoca un aumento de la absorción de otros micronutrientes como el manganeso (Ahmed *et al.*, 2024).

Pérdida de nutrientes

La lixiviación de N y P de los campos agrícolas es una preocupación de calidad del agua en todo el mundo debido al aumento de las concentraciones de nitrato (NO_3) y la eutrofización de los suministros de agua. La lixiviación de nutrientes también se ve afectada por las prácticas de fertilización y riego, las características de los cultivos y el manejo del sistema de producción. Por ejemplo, para el N, la eficiencia típica de uso de N por parte de la planta es del 50 %. El otro 50 % se pierde por lixiviación del nitrógeno nítrico y desnitrificación, en la que los microorganismos convierten el nitrato en nitrógeno (N_2) y óxido nitroso (N_2O) gaseoso durante la respiración. En suelos con pH alto, la volatilización del amoníaco es otra vía que puede conducir a la pérdida de nutrientes (Ahmed *et al.*, 2024). En el caso del P, existen dos rutas principales para las pérdidas de fósforo agrícola: la escorrentía de agua y el transporte de sedimentos. Algunos estudios demostraron que el P del agua de escorrentía de las tierras agrícolas representa entre el 75 y el 95 % de las pérdidas de P. Las pérdidas por transporte de sedimentos fueron 2,8 veces mayores que las disueltas en el agua de escorrentía (Ebrahimi *et al.*, 2024).

En los huertos de palta, los cultivos de cobertura ofrecen una oportunidad esencial para mejorar la salud del suelo. La consideración principal al seleccionar un cultivo de cobertura es identificar el propósito y los objetivos de su uso, ya que diferentes cultivos de cobertura pueden abordar diferentes problemas. Los cultivos de raíces profundas pueden romper la compactación del suelo. Los pastos se pueden utilizar para generar biomasa y aumentar el carbono orgánico del suelo. Una variedad de tipos de raíces y diversidad de plantas pueden mantener a los insectos beneficiosos cerca. Un huerto de árboles permanente no se puede rotar, pero la rotación de cultivos de cobertura puede brindar beneficios como fertilidad del suelo, ciclo de nutrientes y control de la erosión. Existen guías, recursos e investigaciones para informar la toma de decisiones sobre qué cultivos de cobertura utilizar y cuándo, pero se recomiendan algunos ensayos en granjas (Rowe, 2019).

Palta variedad Hass

La palta Hass es la variedad más cultivada a nivel mundial. La introducción al mercado global data de 1960. La característica principal de esta variedad es su piel negra y rugosa.

En cuanto a sus características nutricionales, se reportan contenidos de aceite entre 8 a 12 %. Además, presenta un alto contenido de vitaminas B y C; así como, un 60 a 70 % de agua. Por otro lado, esta palta presenta una excelente calidad, alta resistencia al transporte y puede durar mucho tiempo en el árbol sin presentar ningún deterioro (Granda *et al.*, 2021).

La palta Hass se siembra principalmente en tres zonas climáticas: (i) climas frescos, semiáridos con lluvias predominantes en invierno, como California, Perú, Chile e Israel; (ii) climas subtropicales húmedos con lluvias predominantes en verano, como en México, Sudáfrica y el este de Australia; y (iii) climas tropicales y semitropicales con veranos lluviosos, como en Brasil, Florida, Indonesia, entre otros (Ramírez-Gil *et al.*, 2023).

El cultivo de palta Hass ha ganado importancia en los últimos años debido al incremento de la demanda mundial. Varios factores han dinamizado el consumo de esta fruta, principalmente su alto valor nutricional y principalmente, el efecto benéfico sobre la salud humana (Araújo *et al.*, 2018). La dinámica del mercado, previamente descrita, aunada al desarrollo tecnológico del cultivo de aguacate en países tropicales, ha propiciado que su área sembrada y producción sigan creciendo, siendo Colombia uno de los países donde esta tendencia ha sido más marcada. El crecimiento del área sembrada con palta Hass en condiciones tropicales ha generado una necesidad de conocimiento sobre el comportamiento fisiológico y fenológico en estas condiciones. A pesar del auge de la palta Hass, aún se considera que las variedades actuales se comportan como una especie no domesticada a ambientes de huertas comerciales, dado el desconocimiento de múltiples aspectos que rigen su comportamiento fisiológico, el cual está altamente influenciado por el clima y por las relaciones de los doseles con los portainjertos (García *et al.*, 2023).

Se ha encontrado que la producción del cultivo de la palta; así como su calidad, crecimiento, tasas de desarrollo, cambios fenológicos y, especialmente, los procesos que rigen la diferenciación productiva y vegetativa, están fuertemente relacionados con el suministro de agua y la temperatura. Aunque existe un conocimiento básico sobre el efecto de la temperatura del aire y la humedad del suelo sobre varias variables de productividad, muchos factores e interacciones siguen siendo desconocidos (Henao-Rojas *et al.*, 2019).

Las condiciones del suelo, también son factores ponderantes para la mejora de cantidad y calidad de producción de la palta Hass. El principal soporte del sistema radicular y el que brida nutrientes al palto es el suelo y las condiciones deben ser las más adecuadas para su Desarrollo (Granda *et al.*, 2021).

1.2.2. Aspectos biológicos del suelo

La actividad biológica del suelo regula la formación de humus, el ciclo de nutrientes y algunas propiedades físicas del suelo. Las bacterias y hongos del suelo participan en la transformación de materia orgánica en nitrógeno soluble, nutrientes, aminoácidos y amonio (Mohale *et al.*, 2021). Mejorar la salud del suelo significa mejorar los servicios ecosistémicos del suelo para superar las limitaciones del suelo y la biología del suelo es un excelente indicador de la salud del suelo. Sin embargo, la gestión del suelo debe realizarse teniendo en cuenta las limitaciones del suelo y debe evitar centrarse solo en la microbiología del suelo. Es importante recordar la importancia de la química y los aspectos físicos del suelo, especialmente en escalas relevantes para el crecimiento y la colonización microbiana (Coyne *et al.*, 2022).

El componente vivo del suelo o la biota del suelo representa una pequeña fracción (<0,05 % del peso seco), pero es esencial para muchas funciones del suelo y la calidad general del suelo. Algunas de estas funciones o servicios críticos para la producción agrícola son el suministro y el ciclo de nutrientes, la protección contra plagas y patógenos, la disponibilidad de agua y la formación de agregados estables para reducir los riesgos de erosión del suelo y aumentar la infiltración de agua (Lehman *et al.*, 2015).

Rizosfera

A pesar de que a menudo se la conceptualiza como una fina capa de suelo alrededor de las raíces (de 1 a 4-5 mm desde la superficie de la raíz), la rizosfera es un sistema dinámico. La rizosfera se extiende más allá de la asociación física de las partículas de la raíz y el suelo hasta un volumen más complejo de zonas superpuestas y funcionalmente integradas alrededor de las raíces. Este proceso de integración tiene como componentes la comunidad

microbiana, los macroorganismos, el mucigel, el agua, los exudados radiculares (zonas de agotamiento o acumulación de nutrientes), los volátiles y los gases (York *et al.*, 2016).

El microbiota de la rizosfera desempeña un papel fundamental en el crecimiento, la salud y la productividad de las plantas, así como en la calidad del suelo, ya que puede aumentar la disponibilidad y la absorción de nutrientes por parte de las plantas, la tolerancia al estrés abiótico y proteger a la planta contra el ataque de patógenos transmitidos por el suelo. Las rizobacterias asociadas a los cultivos constituyen una fuente esencial de microorganismos potencialmente benéficos con actividad promotora del crecimiento vegetal o efectos antagonicos contra fitopatógenos (Méndez-Bravo *et al.*, 2018). La rizosfera es la zona de las plantas asociada al microbiota y los constituyentes del suelo, y una de las funciones es el suministro de nutrientes a las plantas, incluidos los derivados de las actividades microbianas. La planta suministra exudados y otros compuestos de carbono a la población microbiana como señales o sustratos de crecimiento; de esta manera, los microorganismos son estimulados a crecer alrededor de las raíces de las plantas (Mahmud *et al.*, 2021).

Los estudios de la comunidad microbiana del suelo ayudan a evaluar el estado de salud del suelo a corto plazo para guiar la planificación de la fertilidad del suelo a largo plazo y servir como indicadores tempranos de la degradación o mejora del suelo (Mohale *et al.*, 2021). Existen pocos estudios sobre la biología de la rizosfera de la palta. La mayoría se enfoca en identificar microorganismos (hongos y bacterias) relacionados con árboles de palto sanos o no sanos y buscan identificar microorganismos para utilizar como estrategia de control biológico (Tzec-Interián *et al.*, 2020).

Las Micorrizas

Las micorrizas son las especies simbióticas comunes en la tierra, siendo las micorrizas arbusculares (MA) el tipo más frecuente, ocurriendo en las raíces de más del 90 % de todas las especies de plantas y en casi todos los ecosistemas (Martín y van Der Heijden, 2024). Las micorrizas están asociadas a una extensa red de hifas que es desarrollado por hongos micorrízicos en el suelo, conectando las comunidades de plantas y ofreciendo una transferencia horizontal de nutrientes. Los hongos simbióticos suelen asociarse con las raíces

de la mayoría de las plantas para formar micorrizas, que desempeñan un papel importante en la adquisición de nutrientes del suelo y por lo tanto las plantas mejoran su nutrición. El ciclo de vida de los hongos requiere asociación con las raíces del huésped, ya que el crecimiento de las hifas es muy limitado en ausencia de una planta huésped (Kaushal y Prasad, 2021).

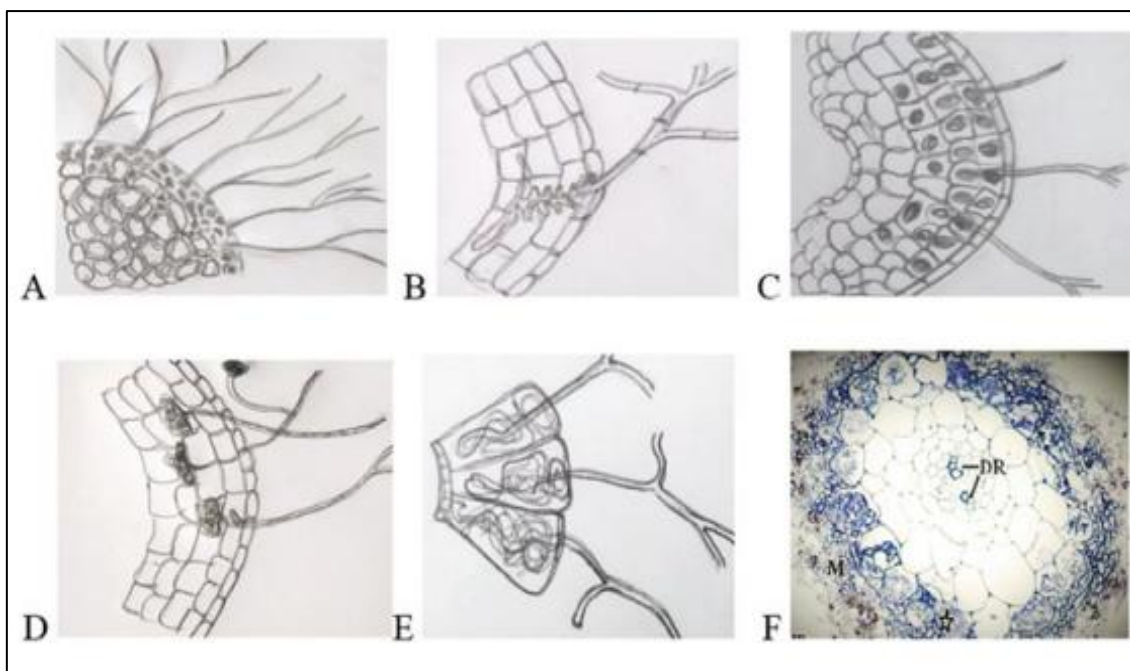
Tipos de micorrizas. Existen siete tipos de micorrizas:

1. Ectomicorrizas
2. Endomicorrizas
3. Micorrizas de orquídeas
4. Micorrizas arbusculares
5. Micorrizas ericáceas
6. Micorrizas arbutoides
7. Micorrizas ectotróficas

Entre ellas, las endo y ectomicorrizas son las más abundantes y extendidas (Figura 2).

Figura 2

Tipos de micorrizas ((a) Ectomicorrizas, (b) endomicorrizas, (c) micorrizas de orquídeas, (d) micorrizas arbusculares, (e) micorrizas ericáceas, (f) micorrizas arbutoides)



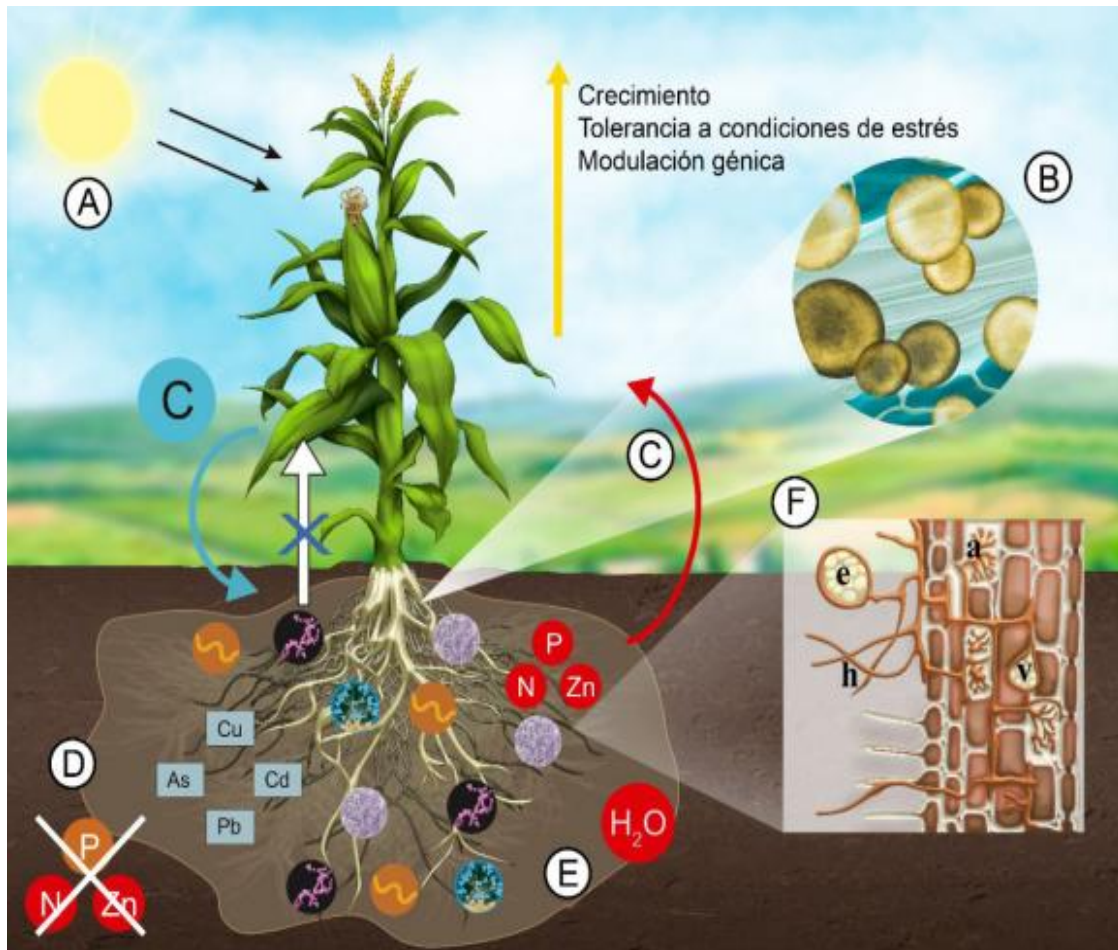
Nota. Adaptado de “Microbial Biotechnology in Crop Protection” (p.150), por Kaushal y Prasad (2021), Springer. doi:10.1007/978-981-16-0049-4.

Las asociaciones de micorrizas arbusculares

Existen más de 150 especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que pertenecen al filo Glomeromycota. El principal beneficio de HMA para plantas es un aumento en la absorción de nutrientes, particularmente P (Figura 3). Este efecto es consecuencia de una mayor densidad del volumen por raíces micorrícicas a través de hifas de extrarradicales de hongos (Tedersoo *et al.*, 2024). En la Figura 3 se observa los siguientes mecanismos: A: Los árboles transfieren carbohidratos, B: el árbol recibe (flecha roja) principalmente P y N, pero también calcio (Ca), C y D: Las plantas micorrizadas y la función bioacumuladora de metales (cuadros grises) como plomo (Pb), arsénico (As), cobre (Cu) y cadmio (Cd); E: El intercambio de nutrientes entre la planta y el hongo.

Figura 3

Micorrizas arbusculares y su papel en la nutrición vegetal



Nota. Adaptado de “Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica” (p.2), por Carrillo-Saucedo *et al.* (2022). *Acta Botánica Mexicana* 129: e1932 <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1889>

La asociación HMA también tiene un efecto positivo en plantas en condiciones de sequía y puede proteger las plantas contra varios patógenos. Además, la HMA mejoran la estructura y agregación del suelo a través de efectos mecánicos ejercidos por hifas extrarradicales o mediante exudación de glicoproteína hifal. Así, a pesar de que la agricultura convencional considera los HMA como biológicos agentes de menor importancia, la asociación MA se considera un componente importante en la agricultura sostenible (Wahab *et al.*, 2023).

Los arbusculos, estructuras fúngicas internas en las células corticales de la raíz, permiten que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) formen fuertes relaciones con una planta huésped. Según las estimaciones actuales, los HMA comenzaron a cooperar con las plantas huésped hace entre 400 y 480 millones de años, lo que facilitó la primera colonización de la tierra por plantas terrestres. Aproximadamente el ochenta por ciento de las especies de plantas terrestres están en relaciones de estrecha simbiosis con los HMA por varios factores que benefician a las plantas, como la adquisición de nutrientes, la masa del cultivo, el aumento del rendimiento y la reducción del estrés por presiones abióticas. Los HMA son una reunión crucial y útil de la acumulación del suelo que puede aumentar significativamente la eficiencia del cultivo y la continuidad ecológica en los métodos de producción de nuevas plantas (Ayangbenro y Babalola, 2021). Los hongos de endomicorizas permiten el inicio de una relación de mutualismo junto con la estructura de la raíz del ochenta por ciento de las familias de plantas; No solo mejora el desarrollo de las plantas a través de una mayor absorción de fósforo (P) disponible en el suelo y otros nutrientes minerales no lábiles necesarios para el desarrollo de la planta; también tiene efectos "insalubres" en el mantenimiento del suelo recolectado, destinados a detener la erosión, y supera el estrés en las plantas debido a factores abióticos y bióticos. Los efectos positivos de los hongos MA en el desempeño de las plantas y el bienestar del suelo son fundamentales para que los ecosistemas agrícolas se gestionen de manera sostenible (Singla y Sahrma, 2021).

1.2.3. Metales pesados

La industrialización ha elevado nuestro nivel de vida a costa de la destrucción de nuestro medio ambiente. Anualmente, las industrias emiten toneladas de materiales de desecho en forma líquida, sólida y gaseosa al medio ambiente indiscriminadamente sin el tratamiento

adecuado. Estos residuos industriales contienen elementos tóxicos y cancerígenos de los cuales nuestra preocupación son los contaminantes de metales pesados (Khan *et al.*, 2023).

Cualquier metal con peso atómico que van desde 63,5 a 200,6 y densidad superior a 4 g/cm³ o cinco veces más que el agua se considera metal pesado como cromo (Cr), níquel (Ni), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), cobalto (Co), mercurio (Hg), cadmio (Cd) y hierro (Fe). Así, la rápida industrialización ha aumentado la concentración de iones metálicos tóxicos en la biosfera que destruyen el ambiente prístino. El uso de microorganismos ofrece una técnica ecológica para eliminar iones de metales pesados tóxicos como el Cd, procedentes de efluentes industriales en lugar de tratamientos químicos que exacerban la situación produciendo lodos químicos (Elahi y Rehman, 2019).

Cadmio

El cadmio es un material altamente tóxico, no esencial, no biodegradable y con vida media de 20 años. Se encuentra en forma divalente en todos sus compuestos estables y la forma más frecuente que se encuentra en la naturaleza es el sulfuro de cadmio (CdS). Puede combinarse con cianuro y amoníaco para formar cianuro de cadmio [Cd (CN)₄⁻²] y Cd (NH₃)₆⁻⁴, respectivamente. El Cd siempre forma cationes divalentes incoloros, se oxida fácilmente, pero es altamente resistente a la corrosión (Khan *et al.*, 2023).

Fuentes de cadmio. La corteza terrestre es rica en fuentes de cadmio, que se encuentran generalmente en combinación con minerales de cobre, zinc y plomo (Ma *et al.*, 2015); sin embargo, su prevalencia en grandes cantidades se debe a actividades antropogénicas, tales como galvanoplastia, minería, estabilización de plásticos, aleaciones, cemento, pigmentos, fabricación de baterías, combustión de combustibles fósiles, fertilizantes con alto contenido de fosfato y aguas municipales y residuales. Según un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Cd liberado al medio ambiente oscila entre 150 y 2600 toneladas (Programa Ambiental de las Naciones Unidas [UNEP], 2024). Algunos procesos naturales, incluida la erosión de las rocas, erupción volcánica, polvo del viento, aerosoles marinos, incendios forestales y la erosión es uno de los principales factores que contribuyen al Cd contaminación (Liu *et al.* 2015).

Los suelos pueden contaminarse como efecto de una alta concentración de metaloides y metales traza a través de las emisiones del sector industrial en expansión, eliminación de desechos con alto contenido de metales, pesticidas, residuos de combustión de carbón, relaves de minas, gasolina con plomo, pinturas, fertilizantes sintéticos, estiércol, riego de aguas residuales, productos petroquímicos derrames, deposición atmosférica y lodos de depuradora (Ahn *et al.*, 2020). El término metal traza se aplica a cualquier metal o sustancia química que tiene una densidad relativamente alta y tóxico incluso en bajas concentraciones (Zulfiqar *et al.*, 2019). El principal sumidero de contaminantes es el suelo, donde la mayoría de los contaminantes inorgánicos no sufren degradación química (mineralización) ni microbiana y su concentración persiste durante largos períodos de tiempo después de su aplicación (Kubier *et al.*, 2019). La contaminación de los metales daña los ecosistemas y la salud humana por la ingestión directa de alimentos afectados, contacto físico con suelo impactado, a través de la cadena de alimentos (suelo-planta-humano o suelo-planta-animal-humano), beber agua contaminada, reducción de la calidad de los alimentos y disminución de tierra apta para la agricultura, en consecuencia, la posterior inseguridad alimentaria (Hussain *et al.*, 2021).

Impacto de la toxicidad del cadmio en las plantas

Germinación de semillas. La germinación de semillas es una de las actividades más importantes en el ciclo de vida de las plantas, seguida de la emergencia de las semillas (Huybrechts *et al.*, 2019). Las principales fitohormonas que regulan la germinación de las semillas son el ácido abscísico, la auxina y el ácido giberélico (Huybrechts *et al.*, 2019). La exposición de las plantas a niveles tóxicos de Cd suprime la germinación e inhibe el crecimiento y la producción de las plantas, interfiere en los procesos fisiológicos de las plántulas y reduce la productividad agrícola (Raza *et al.*, 2020). Se ha indicado que el efecto inhibitor del Cd en las semillas de caupí (*Vigna unguiculata* L.) se debe a una deficiencia en la absorción de agua, lo que minimiza el suministro de agua para el desarrollo del embrión de la semilla (Haider *et al.*, 2021). El suministro limitado de agua, junto con la inactivación de la movilización del almidón en el endospermo, seguida de una transferencia deficiente de azúcares solubles al eje embrionario de la semilla, puede contribuir a una disminución en el eje embrionario. La exposición a 5 mg/L de Cd redujo la germinación de las plántulas de soja, lechuga y remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) en un 8,0; 19,0 y 18,0 %, respectivamente (Guilherme *et al.*, 2015).

En las semillas de sorgo (*Sorghum bicolor* L.), se ha propuesto que una restricción de las enzimas hidrolizantes (es decir, fosfatasas ácidas, proteasas y α -amilasa) es responsable de la disminución de la movilización de almacenamiento. Se ha informado de una reducción de la actividad de la α -amilasa que provoca una disminución de la liberación de almidón de los cotiledones debido al estrés por Cd (Kalai *et al.*, 2016). Además, existía una clara competencia por los sitios de unión de la calmodulina Ca entre los iones Cd y Ca en el rábano (*Raphanus sativus* L.) (Huybrechts *et al.*, 2019). En las primeras etapas de la germinación de las semillas, se propone que la relación entre la calmodulina y el Cd desempeña un papel importante en la activación metabólica (Raza *et al.*, 2020). En embriones de guisante (*Pisum sativum* L.) sometidos a estrés por Cd, se observó un aumento del contenido de malondialdehído (MDA) (Haider *et al.*, 2021), debido a la peroxidación lipídica de membrana inducida por Cd. Las semillas de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) expuestas a 5,2–15,0 mg/L de Cd tuvieron una germinación significativamente reducida en un 87,5 %. Las plántulas de cítricos se volvieron cloróticas, se marchitaron y murieron bajo el tratamiento de CdCl₂ (Raza *et al.*, 2020). Además, en plántulas de perejil (*Petroselinum crispum* L.) sometidas a estrés por Cd, se observó una concentración de Cd sustancialmente mayor, pero las plantas no mostraron signos de estrés visual (Ulus *et al.*, 2017).

El Cd es un inductor de estrés oxidativo que produce niveles elevados de ROS (J. Raza *et al.*, 2018). El estrés oxidativo causado por el Cd fue capaz de oxidar las isoformas Trx en las semillas de guisante. En resumen, la germinación de las semillas se produce entre las hormonas y el equilibrio de ROS como un conjunto estrechamente equilibrado. Dentro de la ventana oxidativa de interpretación de la germinación de las semillas, se podría concluir que una pequeña concentración de Cd puede inducir la iniciación de la germinación siempre que los efectos perjudiciales del Cd no sean difíciles de abordar por los mecanismos de defensa antioxidante de la planta (Haider *et al.*, 2021).

Crecimiento y desarrollo de las plantas

El Cd no se considera un elemento esencial para las plantas y su toxicidad induce anomalías generales del crecimiento e inhibición en muchas especies de plantas (Zhang *et al.*, 2019). La raíz se vuelve necrótica, descompuesta y mucilaginosa después de una exposición prolongada al Cd, lo que reduce la elongación de las raíces y los brotes de las plantas y

provoca enrollamiento de las hojas y clorosis (Abbas *et al.*, 2017). En la rizosfera del suelo, la toxicidad del Cd inhibe la formación de raíces laterales, absorción, transporte, acumulación y toxicidad del Cd en especies vegetales. Los exudados de las raíces, el pH del suelo, la materia orgánica y los micro y macronutrientes en el suelo son factores clave que afectan la absorción de Cd en las plantas. En las raíces, la absorción de Cd puede ocurrir como complejos inorgánicos (es decir, CdSO_4 , CdCl^+ y CdCl_2). La toxicidad del Cd inhibe el crecimiento y el desarrollo de las plantas, lo que reduce la absorción de nutrientes y agua y, en última instancia, disminuye la tasa fotosintética. La toxicidad del cadmio altera el equilibrio entre la síntesis de antioxidantes y la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), y mejora la acumulación de ROS en las plantas, lo que estimula el estrés oxidativo. La sobreacumulación de ROS en las plantas altera la síntesis de proteínas y lípidos, afecta la actividad enzimática que conduce a la peroxidación lipídica y reduce la división celular para impactar negativamente en la productividad del cultivo. Esto se debe a un agrandamiento anormal en las capas de células corticales y la región apical de la epidermis (Hasanuzzaman *et al.*, 2020).

La toxicidad del cadmio minimiza la división mitótica de las células meristemáticas, lo que conduce a una reducción de la longitud de la hoja y biomasa seca, y mejoró el diámetro de la raíz (Haider *et al.*, 2021). El aumento del tamaño de los tejidos corticales y las células parenquimatosas que desempeñan un papel en el aumento de la resistencia de las plantas al flujo de solutos y agua puede provocar un aumento del diámetro de la raíz bajo estrés por Cd (Ismael *et al.*, 2018). Las alteraciones en la fenología foliar provocadas por la toxicidad del cadmio (Cd) generan modificaciones en la ultraestructura de los cloroplastos, reduciendo el contenido de clorofila, lo que desencadena clorosis y disminuye la eficiencia de la fotosíntesis. El tratamiento de plántulas de arroz con Cd inhibe el crecimiento de las raíces y las alteraciones de la morfogénesis (Hussain *et al.*, 2021). Investigaciones anteriores han demostrado que la exposición al Cd minimiza la elongación de las raíces en varios cultivos, incluidos el arroz, el trigo y el tomate (Abbas *et al.*, 2017). El estrés por cadmio provocó aberraciones cromosómicas en las puntas de las raíces del guisante, lo que dio lugar a procesos mitóticos y trastornos de elongación de las raíces. Las disminuciones en la longitud de las raíces, la superficie y el número de puntas de las raíces están correlacionadas con el estrés por Cd e indican una disminución del potencial de almacenamiento de recursos (es decir, nutrientes y agua en la planta) bajo estrés extremo por Cd (Younis *et al.*, 2016).

Se ha revelado que la toxicidad del Cd reduce la absorción de minerales y la fotosíntesis en las plantas, lo que conduce a una disminución en la producción y la calidad de los cultivos (Rizwan *et al.*, 2016). Fragmentos, separación precoz, pegajosidad y puentes en las raíces son anormalidades comunes causadas por toxicidad de Cd (Liu *et al.*, 2018). La alta concentración de Cd (es decir, 250 μM) por solo 24 h de tratamiento resulta en desorden de mitosis en las raíces de guisante (Haider *et al.*, 2021). Se observó una multiplicación y distribución inusual de núcleos en las raíces de guisante debido a la toxicidad de Cd. En cebolla (*Allium cepa* L.), la aplicación alta de Cd después de 24 h causa inhibición y aberraciones del índice mitótico, cromosomas y micronúcleos. También se observó daño al ADN en las células de las cofias radicales. Una concentración relativamente baja de Cd también puede alterar el proceso metabólico de las plantas (Younis *et al.*, 2016).

Se ha documentado que varios síntomas (es decir, clorosis, desecación, retraso del crecimiento y necrosis) ocurren en las hojas de las plantas debido al estrés por Cd, y las plantas pueden mostrar estos síntomas tóxicos cuando la concentración de Cd en el tejido vegetal excede los 3–30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Ismael *et al.*, 2018). Bajo estrés por Cd, también se ha registrado una disminución significativa en el área foliar total y el peso seco de varios componentes de la planta (Jinadasa *et al.*, 2016). La disminución en el crecimiento de las plantas expuestas a estrés por cadmio (Cd) puede deberse a la reducción en la captación de agua y nutrientes, así como a la afectación de procesos fisiológicos clave como la respiración, la fotosíntesis, la asimilación de nitrógeno y carbono, además de una menor actividad del sistema antioxidante. Se ha demostrado que una alta concentración de Cd minimiza el crecimiento celular y de toda la planta de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), lenteja (*Lens culinaris* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), trigo, maíz, espinaca y soja (Zhang *et al.*, 2019).

Absorción de nutrientes

La existencia de iones de Cd en el suelo puede influir en la absorción de nutrientes por las raíces y la posterior distribución y transporte de elementos nutritivos en las plantas. Se ha demostrado que el cadmio interactúa con el uso, almacenamiento y utilización de numerosos elementos (es decir, Ca, Mg, P y K) y la absorción de agua por las plantas (Zulfiqar *et al.*, 2022). Se observó deficiencia de Fe en raíces inducidas por Cd en remolacha azucarera. La

absorción de P, K, S, Ca, Zn, Mn y B en guisantes se inhibió fuertemente después de la exposición al Cd. En cebada (*Hordeum vulgare* L.), el tratamiento con Cd a 1,0 μ M redujo significativamente las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo y B en las raíces, mientras que la concentración de estos elementos en los brotes no disminuyó en comparación con el control (Guo *et al.*, 2018). En *Atriplex halimus* L., se encontró una disminución de la absorción de Ca y K debido a la toxicidad del Cd (Kinay, 2018). La toxicidad del Cd minimiza significativamente los contenidos de N, Ca, Mg y P en las raíces y brotes de alfalfa (Zhang *et al.*, 2019).

El cadmio (Cd) puede disminuir la actividad de la enzima nitrato reductasa en los brotes, lo que limita tanto la absorción de nitrato como su traslado desde las raíces hacia las partes aéreas de la colleja (*Silene cucubalus* L.) (Zulfiqar *et al.*, 2022). La exposición a Cd redujo la formación de nódulos en la soja, efecto asociado a una menor asimilación de amoníaco y a la disminución en la fijación de nitrógeno en la rizosfera. La actividad de las lacasas, fundamentales para la síntesis de lignina, se vio incrementada en plántulas de soja expuestas a Cd, favoreciendo la lignificación en las fases iniciales del desarrollo radicular, pero restringiendo al mismo tiempo la elongación de la raíz. Asimismo, el Cd puede interferir en el proceso de quelación del hierro e impedir su incorporación a la xilema radicular. En suelos de carácter alcalino, este metal compite con el calcio (Ca) por los transportadores, reduciendo así el flujo de Ca a través de la xilema de las raíces.

Varios nutrientes de las plantas tienen un impacto tanto directo como indirecto en la toxicidad y disponibilidad del Cd para las plantas. Las estrategias directas consisten en reducir la solubilidad del Cd en el suelo fomentando la adsorción y la precipitación (Guo *et al.*, 2018), tener una fuerte competencia entre los nutrientes de las plantas y los iones de Cd por transportadores de membrana similares, y la acumulación de Cd en las partes vegetativas para evitar su secuestro en semillas y componentes comestibles. Las estrategias indirectas implican la dilución de los iones de Cd mejorando la productividad y biomasa de las plantas y aliviando el estrés fisiológico (Zulfiqar *et al.*, 2022).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la investigación

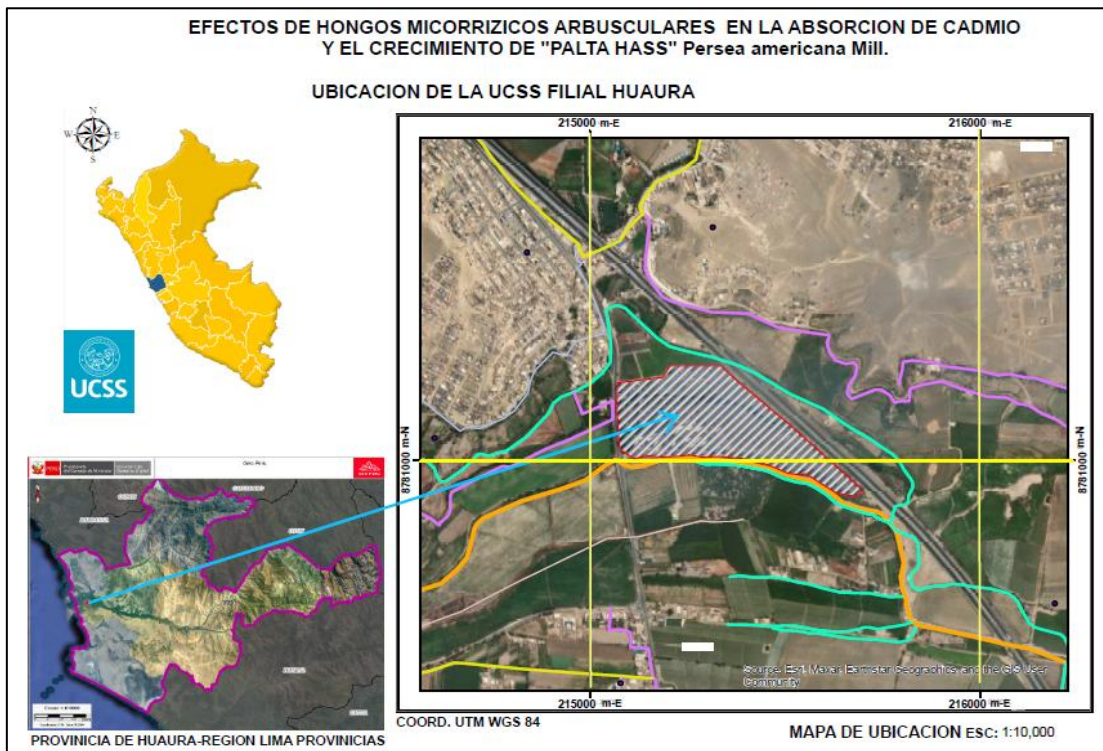
La presente investigación presentó un enfoque cuantitativo donde los datos numéricos fueron evaluados con la finalidad de validar las hipótesis planteadas. En este estudio se aplicaron tratamientos con repeticiones que permitieron aceptar o no las hipótesis planteadas, constituyendo un diseño de tipo experimental donde la variable independiente se caracteriza por ser la variable causal (dosis de HMA y cadmio) que generará un impacto sobre una variable dependiente (crecimiento de la palta), tal como lo recomienda Hernández-Sampieri y Mendoza (2018). Respecto al alcance de la investigación este fue de tipo explicativo, porque se buscó establecer las causas de la disminución de cadmio en los suelos tratados con los HMA, tal como lo sugiere Carrasco (2019).

2.2. Lugar y fecha

El estudio fue realizado en un invernadero dentro del campus y en el laboratorio de ciencias básicas de Universidad Católica Sedes Sapientiae ex filial Huaura: Vegueta (Figura 4); asimismo, en un fundo agrícola ubicado en Huaura con coordenadas UTM WGS 84 18L 236708,00 m-E 8774196.00 m-N (Figura 5). La investigación tuvo una duración de 6 meses, iniciando julio y terminando en diciembre del 2024.

Figura 4

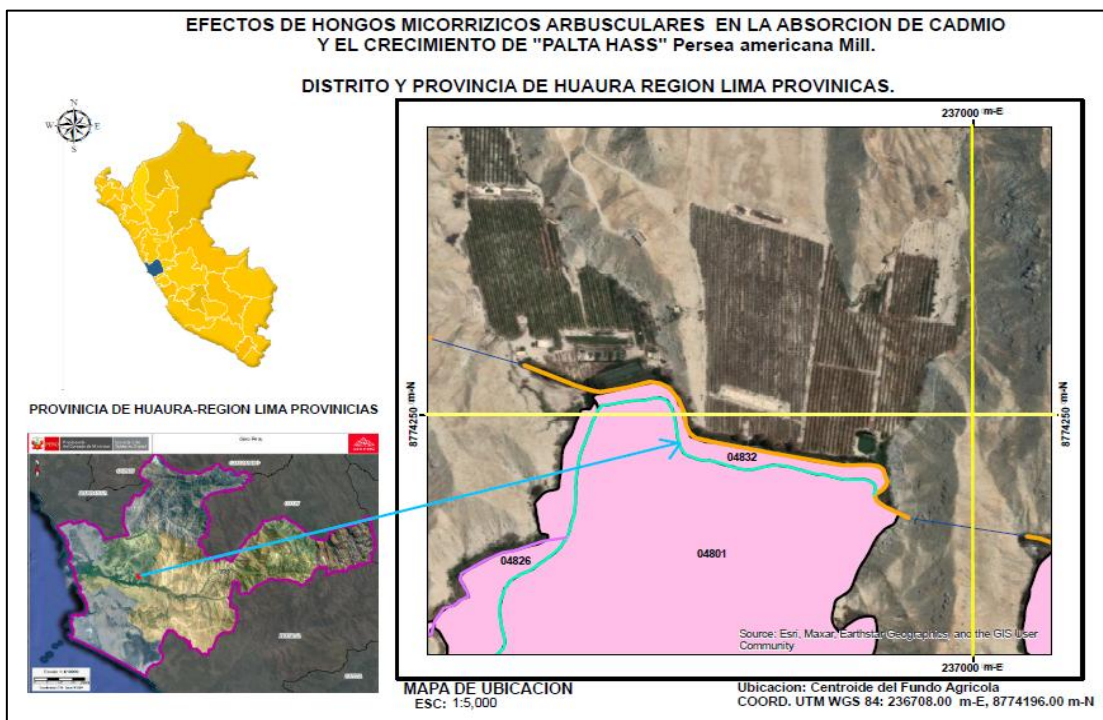
Ubicación de la UCSS filial Huaura



Nota. Imágenes obtenidas del Google Earth (2024).

Figura 5

Ubicación de fundo agrícola utilizado en el desarrollo experimental



2.3. Descripción del experimento

2.3.1. Obtención de la semilla y siembra

La semilla fue seleccionada de plantas de paltas de buen vigor, siendo la variedad escogida el cv. Hass, las plantas donde se obtuvieron las semillas tuvieron las siguientes características fenotípicas: plantas de cuatro (4) campañas de producción, con fruto de forma ovalada, piel rugosa y pulpa cremosa de color amarillo verdoso y lenticelas pronunciadas; asimismo, el campo contaba con instalación de sistema de riego tecnificado y el aprovechamiento del recurso hídrico tenía como fuente el río Huaura. El procedimiento para la obtención de la semilla tuvo cinco pasos; **selección de la fruta**, el cual consistió en seleccionar frutos con una óptima madurez fisiológica así como sanos; **el segundo paso** estuvo referido a la extracción de la semilla botánica retirando la pulpa con cuidado; **el tercer paso** consistió en eliminar toda la pulpa adherida a la semilla, **cuarto paso** consistió en lavar a chorro de agua la semilla botánica, para finalmente pasar al **último paso**, el mismo que consistió en orear la semilla botánica sobre un tapiz en un lugar sombreado y ventilado.

La semilla fue sembrada en bolsas colocando la parte basal de la semilla hacia abajo, se recomendó cortar la punta facilitando la germinación, plantándola a 5 cm de profundidad y cubriéndola con una capa de 2 cm de tierra, esperando el desarrollo de las plántulas en 40 días, con la presencia de dos hojas extendidas se procedió al trasplante en las unidades experimentales, tal como lo recomienda Tabares y Uribe (2024).

Se consideró conveniente establecer una cama almaciguera para la etapa germinativa antes de colocar las plantas en las bolsas definitivas de la unidad experimental. Asimismo, se realizaron riegos ligeros y cortos para mantener el suelo de las bolsas a capacidad de campo.

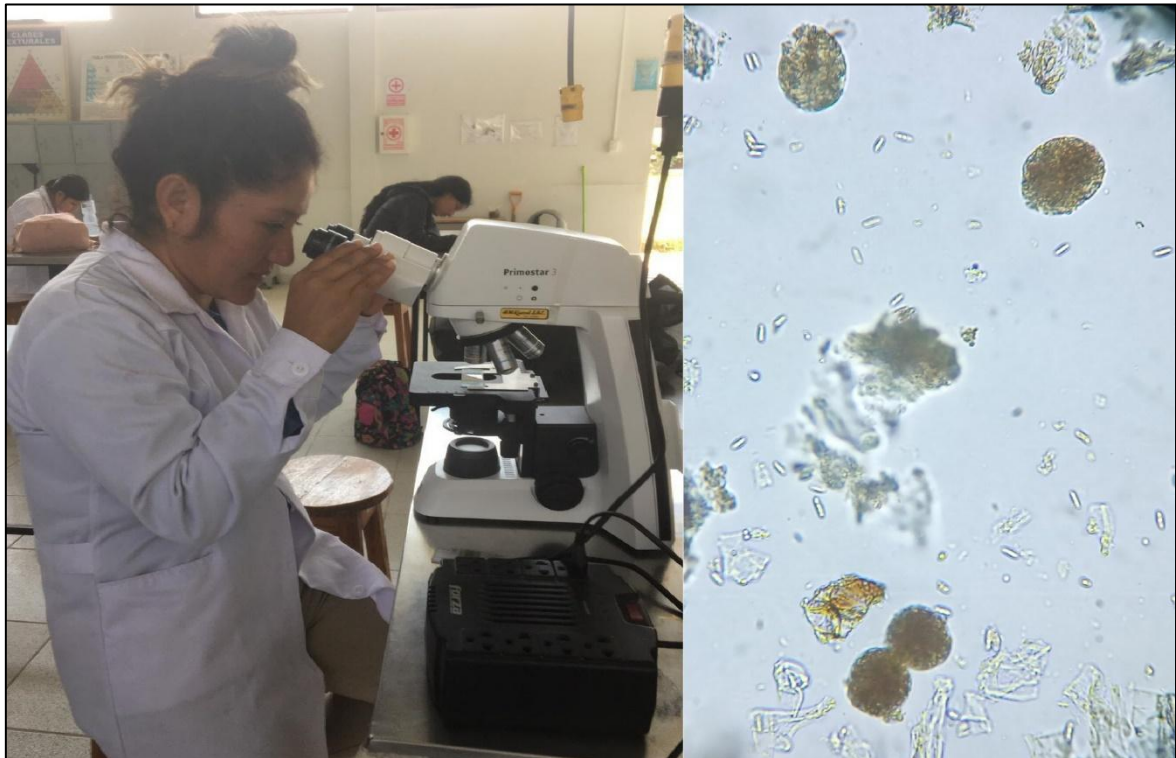
2.3.2 Obtención de las fuentes de inóculo de HMA

Se seleccionaron las localidades de Santa Rosa y Vegueta donde fueron recolectadas tres muestras de suelo más raicillas de plantas de palta Hass (principalmente terciarias) de aproximadamente 3 kg por cada localidad evaluada. Las muestras de suelo fueron tomadas

a profundidad de 0 a 15 cm y separadas a 40 cm del tallo principal. Estas muestras de suelo contenían fuentes de inóculos (HMA), previamente verificadas por microscopía a fin seleccionar que localidad contenían las mejores fuentes de inóculo de HMA (Figura 6), luego de ello pasaron a vivero para ser multiplicados en macetas utilizando plantas trampa de maíz *Zea mays* L. por un periodo de 60 días, tal lo recomendado por Viera *et al.* (2017).

Figura 6

Verificación de hongos micorrízicos por microscopía



2.3.3. Cuantificación de esporas de hongos micorrízicos arbusculares

La cuantificación de esporas se realizó mediante el método de tamizado y centrifugación descrito por Herrera (1993). Este método consiste en realizar tamizajes sucesivos a las muestras de suelo, secadas previamente y tratadas con peróxido al 1,5 % durante una hora desgregando los agregados arcillosos del suelo. Posteriormente, se lava con agua de grifo y se tamiza (140 μm) obteniendo las esporas. Por cada muestra fue realizado tres conteos, con la finalidad de obtener un estimado del número total de esporas. Luego el suelo pasó a un periodo de multiplicación de los HMA en plantas de maíz, esto con la finalidad de incrementar su biomasa Finalmente, el sustrato de cada bolsa fue utilizado como fuente de

inóculo de esporas para las unidades experimentales, tal como lo recomienda Del Aguila *et al.* (2018).

2.3.4. Trasplante de las plántulas de palta Hass e inoculación con HMA

Para el trasplante de las plántulas de palta Hass se preparó suelo (suelo preparado u homogenizado) con una mezcla de arena (suelo más arena en relación 2:1) desinfectada por calor con la finalidad de eliminar patógenos del suelo que podrían interferir y contaminar los ensayos. La evaluación fisicoquímica se encuentra en el Apéndice 1. Posteriormente, fue colocado el sustrato homogenizado y desinfectado en bolsas de polietileno para vivero de color negro de aprox. 3 kg. La inoculación con HMA fue realizado en simultáneo sobre la muestra de suelo para disminuir el estrés de las plántulas y poner en exposición el inóculo con las raíces. Las plántulas fueron inoculadas agregando aproximadamente 2 000 esporas en los tratamientos que lo requerían (Figura 7), tal como lo recomienda Vallejo-Torres *et al.* (2019).

Figura 7

Trasplante de las plántulas de palta Hass e inoculación con HMA



2.3.5. Porcentaje de colonización micorrizica

El porcentaje de colonización radicular de HMA fue determinada después de teñir con azul tripán, adoptando el procedimiento descrito por Phillips y Hayman (1970). Las raíces de las plantas de palta almacenadas en etanol al 70 % fueron lavadas con agua destilada y se cortarían en trozos de 1 cm para ser transferidas a tubos de ensayo que contenían hidróxido de potasio (KOH) al 10 % (*p/v*). Esto fue incubado a 90 °C durante 15 a 30 minutos. Posteriormente, las raíces se lavaron con agua corriente del grifo y se acidificaron con ácido clorhídrico (HCl) al 1 % durante otros 15 a 20 minutos. Los segmentos de raíz fueron teñidos con azul de tripán (0,05 % de azul tripán en lactoglicerol) a 90 °C durante 5 minutos. Luego, los fragmentos de raíz teñidos fueron lavados con agua corriente y decolorados con lactoglicerol.

El método de transecto de cuadrícula modificado de Mc Gonigle *et al.* (1990) fue utilizado para la cuantificación de los HMA. Se seleccionaron al azar 10 segmentos de raíz de cada muestra teñida y se montaron en glicerina en un portaobjetos microscópico, luego fue observado con un microscopio compuesto. La presencia de estructuras de HMA como arbusculos, vesículas o hifas asépticas intercelulares fueron calificados para 100 intersecciones de raíces por muestra. Luego, se realizó el cálculo del porcentaje de raíces colonizadas.

2.3.6. Aplicación de dosis de cadmio a los suelos

En este estudio se aplicó el metal pesado cadmio en el suelo homogenizado (suelo que contuvieron a las 12 unidades experimentales), al momento del trasplante de plántulas de palta en las bolsas de vivero (Apéndice 1). El metal pesado fue disuelto en agua destilada en proporciones de 0 y 10 mg·kg⁻¹ y aplicado al suelo agrícola con plántulas de 20 días en promedio de crecimiento, momento donde se incorporó las esporas de los HMA. Las concentraciones de cadmio aplicadas están en relación con lo sugerido por Vallejos- Torres *et al.* (2022).

2.3.7. Parámetros de crecimiento de la planta de palta

Se tomaron mediciones de la altura de la planta, a partir de las dos semanas después de la inoculación hasta la finalización de los experimentos. La cosecha de plantas fue realizada con lo sugerido por Chebet (2021), quien sugirió extraer con cuidado la planta del suelo y lavar con agua para retirar la tierra. Posteriormente, fue realizado el secado inicial en estufa durante toda la noche.

2.3.8. Cuantificación de cadmio planta de palta

Las raíces y partes aéreas de las plantas fueron lavadas con agua destilada y secadas a 75 °C durante 72 h. Posteriormente, fueron trituradas por separado hasta convertirlas en polvo. Se tomaron 0,5 g de cada fracción y fueron colocadas en un beaker de 250 mL añadiendo 30 mL de ácido nítrico y 5 mL de ácido perclórico. La digestión de la muestra fue realizada a 200 °C por 4 h seguida de la filtración, tal como lo recomienda Zhang *et al.* (2019). La concentración de Cd fue determinada por fotometría usando un fotómetro Photoflex WTW y cuyos procedimientos se detallan en Apéndice 2.

2.4. Tratamientos

La Tabla 2 describe la estructura de los tratamientos de la investigación.

Tabla 2

Estructura de los tratamientos

Tratamientos	Nivel de HMA	Dosis de cadmio (mg·kg ⁻¹)
T1	Sin HMA*	0
T2	Sin HMA	10
T3	Con HMA	0
T4	Con HMA	10

Nota. *HMA: hongos micorrízicos arbusculares (2 000 esporas por bolsa).

2.5. Unidades experimentales

Cada unidad experimental estuvo conformada por bolsas de polietileno conteniendo suelo homogéneo y una plántula de palta Hass. A estas bolsas se le añadió esporas de los HMA. Este estudio presentó tres repeticiones y cuatro tratamientos lo que representa 12 unidades experimentales.

2.6. Identificación de variables y su mensuración

La Tabla 3 describe las variables y su mensuración.

Tabla 3

Variables y su mensuración

Variable de estudio	Unidades de medida	Método
Dosis de HMA	número de esporas	Se aplicó en cada unidad experimental dosis de 0 y 2000 esporas de HMA
Dosis de cadmio	mg·kg ⁻¹	Se aplicó en cada unidad experimental dosis de 0 y 10 mg·kg ⁻¹ de suelo.
Colonización micorrízica	%	El método de transecto de cuadrícula modificado de Mc Gonigle <i>et al.</i> (1990) fue utilizado para la cuantificación de los HMA. La presencia de estructuras de HMA como arbusculos, vesículas o hifas asépticas intercelulares fueron calificados para 100 intersecciones de raíces por muestra
Absorción de cadmio	mg·kg ⁻¹	Las raíces y partes aéreas de las plantas fueron lavadas con agua destilada y secadas a 75 °C durante 72 h. La concentración de Cd fue determinada por fotometría usando un fotómetro Photoflex WTW previa digestión ácida.
Crecimiento de la planta	cm	Se tomaron mediciones de la altura de la planta, a partir de las dos semanas después de la inoculación hasta la finalización de los experimentos

2.7. Diseño estadístico del experimento

El estudio se desarrolló bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA) con arreglo factorial de dos factores: el factor A, correspondiente al contenido de HMA, con dos niveles, y el factor B, relacionado con los niveles de Cd, también con dos niveles. En total, se evaluaron cuatro tratamientos, cada uno con tres repeticiones, sumando 12 unidades experimentales.

Factores:

A: Inoculación de micorrizas arbusculares (con y sin inoculación)

B: Adición de Cd a planta de palta Hass (0 y 10 mg·kg⁻¹)

La ecuación matemática que describió este diseño fue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = observación de la variable respuesta obtenida del tratamiento con el i -ésimo nivel de A, el j -ésimo nivel de B y la repetición k -ésima.

μ = media general.

A_i = efecto del i -ésimo nivel del factor A.

B_j = efecto del j -ésimo nivel del factor B.

AB_{ij} = efecto de interacción del i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B en su repetición k .

e_{ijk} = error.

2.8. Análisis estadísticos de datos

Los datos obtenidos fueron procesados con el software Excel para generar promedios y desviaciones estándares; así como la elaboración de tablas y gráficos. Para obtener la significancia de los efectos obtenidos de las variables evaluadas, se aplicaron el análisis de la varianza (ANOVA) ($p < 0,05$), previa comprobación de los supuestos de normalidad (test

de Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (test de Levene). Asimismo, se realizó la prueba de comparación múltiple usando la prueba de Tukey. Todos los datos fueron procesados estadísticamente utilizando el software SPSS v.25.

2.9. Materiales y equipos

En la Tabla 4 se describen los materiales y equipos usados en la investigación.

Tabla 4

Materiales y equipos

Material biológico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plantas de palta ➤ Hongos micorrízicos
Material químico	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ácido acético ➤ Ácido nítrico ➤ Agua destilada ➤ Cloruro de cadmio
Material de vidrio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Porta objeto y cubre objeto ➤ Placas de Petri ➤ Tubos de ensayo ➤ Vasos de precipitado ➤ Vasos de Beacker
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica ➤ Cámara de flujo laminar ➤ Centrífuga ➤ Estufa ➤ Equipo de baño María ➤ Fotómetro ➤ Microscopio binocular
Otros	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Algodón ➤ Flexómetro ➤ Micropipeta ➤ Piseta ➤ Tinta china

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Colonización micorrízica en suelos con y sin presencia de cadmio en cultivos de planta de palta variedad Hass

La Tabla 5 muestra los valores promedio de la colonización micorrízica obtenidos en los tratamientos. El T2 (Sin inóculos de HMA y aplicación de Cd) no presentó colonización micorrízica (0 %), mientras que T1 (Sin inóculos de HMA y sin Cd) registró $6,33 \pm 3,05$ %. El valor más alto de colonización micorrízica fue para T3 (Con aplicación de HMA) con $64,35 \pm 8,62$ % seguido de T4 (Con aplicación de HMA y Cd) con $18,0 \pm 3,0$ %.

Tabla 5

Valores promedio de colonización micorrízica en los tratamientos

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
	9,0	0	55,0	18,0
Colonización (%)	7,0	0	72,0	15,0
	3,0	0	66,0	21,0
Promedio \pm DS	$6,33 \pm 3,05$	0	$64,35 \pm 8,62$	$18,0 \pm 3,0$

Nota. T1= Sin HMA, T2=Sin HMA + Cd, T3=con HMA, T4=HMA+ Cd.

La Tabla 6 muestra el ANOVA para la colonización micorrízica (%) en los tratamientos; asimismo, se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los tratamientos y la interacción de los factores inóculos de HMA y cadmio. Los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza se detallan en el Apéndice 3 y 4.

Tabla 6

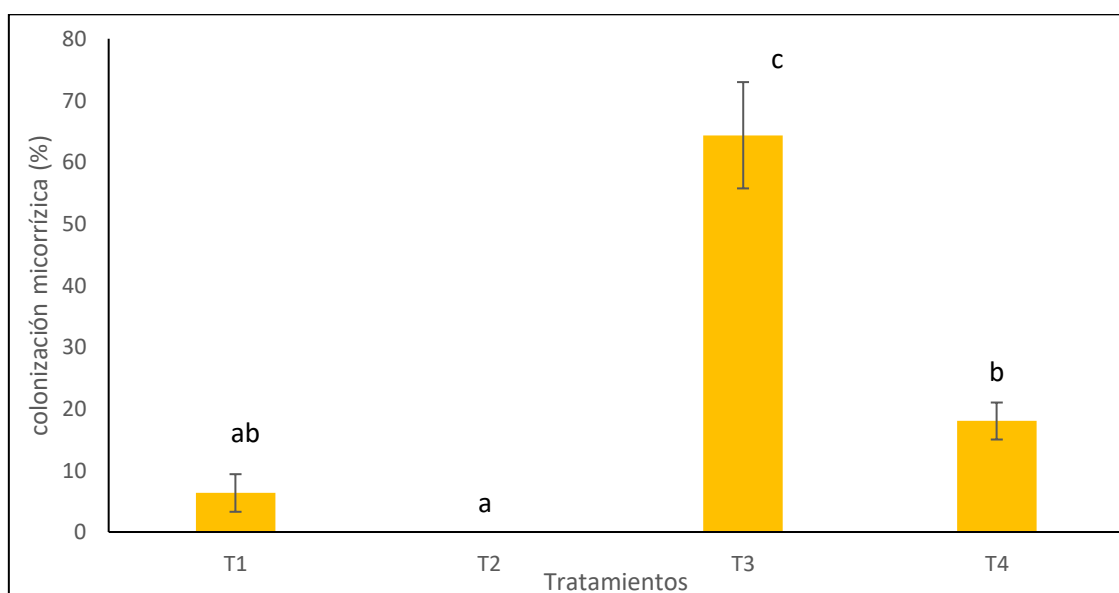
ANOVA para la colonización micorrízica (%) en relación con los factores A: Inóculos de HMA y B: cadmio

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	7612,333	3	2537,444	109,530	7,7 x10 ⁻⁷
Interceptación	5896,333	1	5896,333	254,518	2,38 x10 ⁻⁷
INÓCULOS HMA	4332,000	1	4332,000	186,993	7,87 x10 ⁻⁷
CADMIO	2080,333	1	2080,333	89,799	0,000013
INÓCULOS HMA * CADMIO	1200,000	1	1200,000	51,799	0,000093
Error	185,333	8	23,167		
Total	13694,000	12			
Total corregido	7797,667	11			

La Figura 8 muestra el efecto de la colonización por HMA en la planta de palta. Se observa una elevada colonización de HMA en T3 con 64,35 %, presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) con el tratamiento T4 que contenía mezcla de HMA y Cd. El T1 y T2 no presentaron diferencias significativas entre ellas ($p > 0,05$) (Apéndice 5).

Figura 8

Efecto de la colonización por HMA en suelos con y sin presencia de cadmio en cultivos de planta de palta variedad Hass



Nota. 1= sin HMA+ 0 Cd, T2= sin HMA+10 mg Cd, T3= con HMA+ 0 Cd, T4= con HMA+ 10 mg Cd

3.2. Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio por la planta de palta variedad Hass

3.2.1. Efecto de los HMA en la absorción de cadmio por la raíz

La Tabla 7 muestra los valores promedio de cadmio en raíz: El menor valor de Cd en raíz fue para el T1 ($0,06 \pm 0,026 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); mientras que el valor más alto fue para T4 ($7,50 \pm 0,95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), seguido de T2 ($2,83 \pm 0,65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Tabla 7

Valores promedio de cadmio en raíz en los tratamientos

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
	0,04	3,5	0,35	8,5
Cadmio en raíz	0,09	2,2	0,22	7,4
($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0,05	2,8	0,14	6,60
Promedio \pm DS	$0,06 \pm 0,026$	$2,83 \pm 0,65$	$0,23 \pm 0,10$	$7,50 \pm 0,95$

La Tabla 8 muestra el ANOVA para Cd en raíz con relación a los tratamientos, observando diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los tratamientos y la interacción de los factores inóculos de HMA y cadmio. Los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza se detallan en el Apéndice 6 y 7.

Tabla 8

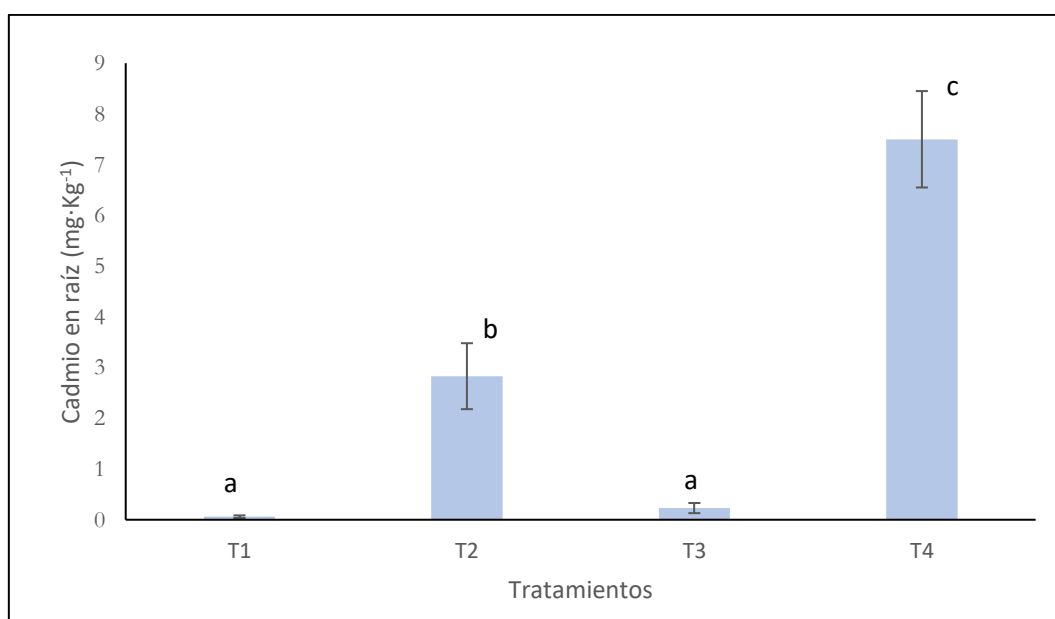
ANOVA para cadmio en raíz en relación con los factores A: Inóculos de HMA y B: cadmio

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	108,264	3	36,088	107,304	8,42x10 ⁻⁷
Interceptación	84,748	1	84,748	251,988	2,48x10 ⁻⁷
INÓCULOS	17,593	1	17,593	52,312	0,000090
CADMIO	75,551	1	75,551	224,642	3,87x10 ⁻⁷
INÓCULOS * CADMIO	15,120	1	15,120	44,958	0,000152
Error	2,691	8	0,336		
Total	195,703	12			
Total corregido	110,955	11			

La Figura 9 muestra el efecto de cadmio en raíz en cultivos de palta Hass. Se observa una elevada concentración de Cd en raíz para el T4 presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) con el tratamiento T2, ambos tratamientos recibieron aplicaciones de Cd en suelo. El T1 y T2 no presentaron diferencias significativas entre ellas ($p > 0,05$) (Apéndice 8).

Figura 9

Efecto de cadmio en raíz de cultivos de planta de palta variedad Hass



Nota. T1= sin HMA+ 0 Cd, T2= sin HMA+10 mg Cd, T3= con HMA+ 0 Cd, T4= con HMA+ 10 mg Cd.

3.2.2. Efecto de los HMA en la absorción de cadmio por las hojas

La Tabla 9 muestra los valores promedio de cadmio en hojas de palta Hass: El menor valor promedio de Cd fue para el T1 ($0,032 \pm 0,007 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); mientras que el valor más alto fue para T4 ($0,46 \pm 0,18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), seguido de T2 ($0,13 \pm 0,034 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Tabla 9

Valores promedio de cadmio en hojas

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
	0,03	0,11	0,05	0,55
Cadmio en hojas	0,03	0,17	0,20	0,25
($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0,04	0,11	0,10	0,60
Promedio \pm DS	$0,032 \pm 0,007$	$0,13 \pm 0,034$	$0,11 \pm 0,07$	$0,46 \pm 0,18$

La Tabla 10 muestra el ANOVA para cadmio en hojas con relación a los tratamientos, observándose diferencias significativas ($p < 0,05$) en todos los tratamientos. Mientras la interacción de los factores inóculos de HMA y Cd no presentaron diferencias significativas ($p = 0,068$). Los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza se detallan en el Apéndice 9 y 10.

Tabla 10

ANOVA para cadmio en hojas en relación con los factores A: Inóculos de HMA y B:

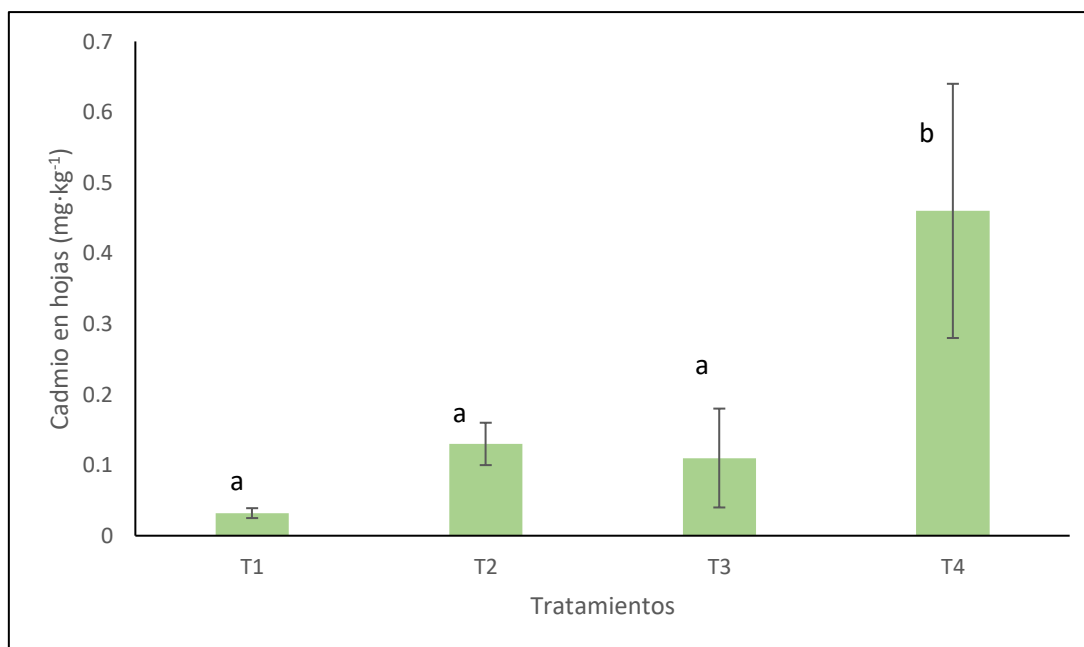
cadmio

Origen	Tipo III de suma		Cuadrático		
	de cuadrados	gl	promedio	F	Sig.
Modelo corregido	0,332	3	0,111	10,231	0,004
Interceptación	0,415	1	0,415	38,348	$2,2 \times 10^{-11}$
INÓCULOS	0,132	1	0,132	12,212	0,008
CADMIO	0,152	1	0,152	14,020	0,006
INÓCULOS * CADMIO	0,048	1	0,048	4,462	0,068
Error	0,087	8	0,011		
Total	0,833	12			
Total corregido	0,419	11			

La Figura 10 muestra el efecto de Cd en hojas de palta Hass. Se observa dos subconjuntos, el primero formado por T1, T2 y T3, mientras que el segundo subconjunto estuvo formado por T4, los cuales presentan diferencias significativas ($p < 0,05$) (Apéndice 11).

Figura 10

Efecto de HMA en la absorción de Cd en hoja de planta de palta variedad Hass



Nota. T1= sin HMA+ 0 Cd, T2= sin HMA+10 mg Cd, T3= con HMA+ 0 Cd, T4= con HMA+ 10 mg Cd

3.3. Efecto de los hongos micorrízicos en el crecimiento de la palta Hass bajo estrés por cadmio

La Tabla 11 muestra los valores promedio de crecimiento (cm) de la palta Hass a 60 días de siembra. Los tratamientos que recibieron la aplicación de Cd fueron los que presentaron menor crecimiento (T4= 37,66 cm y T2= 37,0 cm). Mientras que el tratamiento que recibió HMA sin Cd fue el que presentó el mayor crecimiento (T3= 46,66). El tratamiento que no recibió HMA ni Cd logro alcanzar la altura promedio de 41,33 cm.

Tabla 11

Valores promedio del crecimiento (cm) de la planta de palta variedad Hass

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
	42,0	33,0	45,0	35,0
Crecimiento de palta (cm)	42,0	42,0	48,0	39,0
	40,0	36,0	47,0	39,0
Promedio±DS	41,33±1,15	37,0±4,58	46,66±1,52	37,66±2,3

La Tabla 12 muestra el ANOVA para el crecimiento de palta con relación a las interacciones Inóculos de HMA y cadmio. La interacción del crecimiento de palta con la aplicación de Cd presentó diferencias significativas ($p < 0,05$). Mientras la interacción de los inóculos de HMA ($p > 0,05$) no presentaron diferencias significativas, al igual que la interacción factores inóculos de HMA más Cd ($p > 0,05$). Los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza se detallan en el Apéndice 12 y 13.

Tabla 12

ANOVA para el crecimiento de palta en relación con los factores A: Inóculos de HMA y B: cadmio

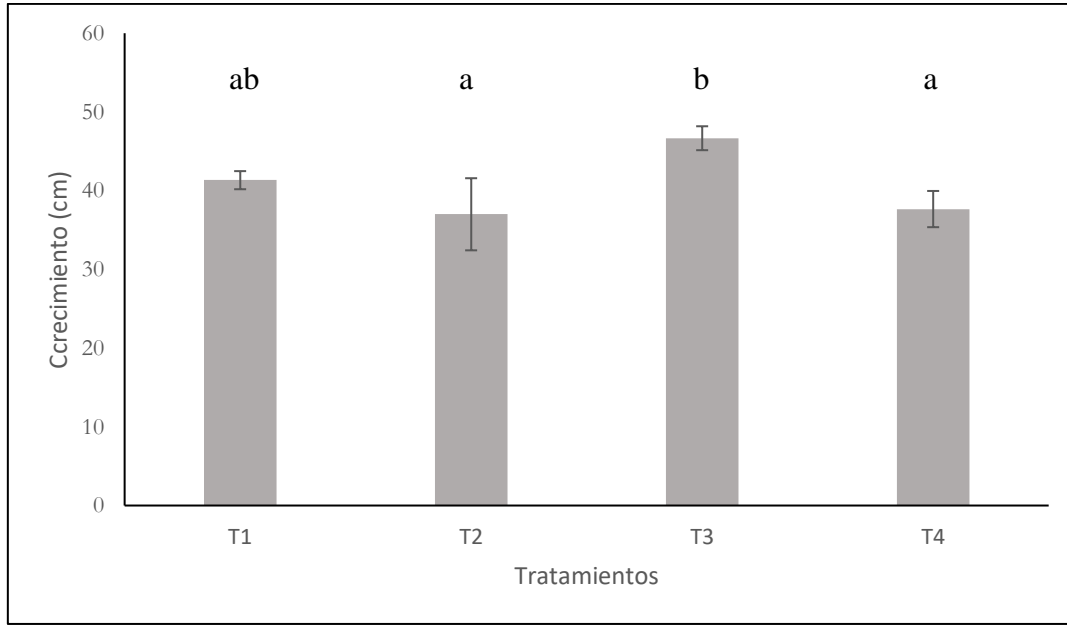
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	176,667	3	58,889	7,852	0,009
Interceptación	19845,333	1	19845,333	2646,044	$2,2 \times 10^{-11}$
INÓCULOS	27,000	1	27,000	3,600	0,094
CADMIO	133,333	1	133,333	17,778	0,003
INÓCULOS * CADMIO	16,333	1	16,333	2,178	0,178
Error	60,000	8	7,500		
Total	20082,000	12			
Total corregido	236,667	11			

La Figura 11 muestra el efecto de Cd y las HMA en el crecimiento de palta Hass. Se observa un primer subconjunto conformado por T2 y T4 (ambos con aplicaciones de Cd) y el otro

subconjunto conformado por T1 y T3 (sin Cd). Ambos subconjuntos no mostraron diferencias significativas con respecto a la aplicación o no de HMA (Apéndice 14).

Figura 11

Efecto de cadmio y los HMA en el crecimiento de las plantas de palta variedad Hass



Nota. T1= sin HMA+ 0 Cd, T2= sin HMA+10 mg Cd, T3= con HMA+ 0 Cd, T4= con HMA+ 10 mg Cd

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Colonización micorrízica en suelos con y sin presencia de cadmio en cultivos de planta de palta variedad Hass

Los resultados obtenidos en la colonización micorrízica en relación con el cadmio en cultivos de palta Hass muestran que la aplicación de Cd redujo significativamente la colonización micorrízica en los tratamientos que lo recibieron. Así T3 (no recibió cadmio) presentó una alta colonización micorrízica en comparación de T4 que si recibió Cd. Los tratamientos que no recibieron aplicación de esporas de HMA (T1= 6,33 % y T2= 0 %) no mostraron diferencias significativas para la colonización micorrízica.

La alta colonización micorrízica registrada en esta investigación (64,35 %) fue en ausencia de Cd y estimulada con esporas de hongos micorrícicos. Estos resultados son congruentes a los reportados por Rivera *et al.* (2015) quienes reportaron una colonización micorrízica superior al 90 % en todas las raíces de *P. americana* libre de metales pesados. Grunennvaldt (2022) refiere que algunos HMA colonizan agresivamente el sistema radicular de las plantas de palta, lo que favorece el desarrollo vegetativo. De la misma manera Soti *et al.* (2021) refieren que las plantas de palta presentan elevados porcentajes de colonización por HMA; la ausencia de pelos radicales puede explicar el que esta planta sea altamente micotrófica. Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos se demuestra la capacidad tan elevada que tiene esta *P. americana* para realizar este tipo de asociaciones simbióticas. Por otro lado, la colonización por HMA en plantas que no recibieron esporas ni Cd (T1=6,33 %) se puede explicar por la persistencia de esporas en el suelo después del tratamiento de solarización, tal como lo sustenta Al-Shammary *et al.* (2020).

Estudios realizados por Riaz *et al.* (2020) y Wu *et al.* (2014) y han demostrado que los altos niveles de metales pesados pueden inhibir o incluso eliminar la colonización de HMA. En contraste, el estudio realizado por Zhan *et al.* (2018) encontraron que la contaminación por Cd no afectó la colonización de HMA en la raíz. En nuestro estudio, la adición de cadmio ($10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), inhibió la colonización de HMA en raíces tanto en T4 y T2 para el periodo de

experimentación (60 días). Para You *et al.* (2021), los altos niveles de contaminación por Cd tienden a afectar de forma negativa la germinación de esporas de HMA y la colonización de micorrizas, tal como se reporta en la presente investigación.

4.2. Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en la absorción de cadmio por la planta de palta Hass

4.2.1. Efecto de los HMA en la absorción de cadmio por la raíz

Los resultados del Cd en raíces en relación con los factores HMA y Cd en plantones de palta Hass mostraron diferencias significativas en todos los tratamientos y las combinaciones entre ellos; asimismo, se reporta una mayor concentración de cadmio ($7,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en raíces en T4 (con HMA y Cd) y T2 (sin HMA y con Cd), mientras que existe menor concentración de Cd en T1 (sin HMA y sin Cd), encontrándose una concentración promedio de $0,06 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Estos resultados demostraron que, en condiciones de suelo contaminado con Cd, los HMA fortalecieron la fijación del metal pesado en raíz. Además, la acumulación total de Cd en raíz de plantas micorrízicas fue mayor que las de las plantas no micorrízicas. Estos resultados concuerdan con Balderas *et al.* (2019) demostrando que los HMA influyen en la biofijación del metal a la raíz de la planta y posibilitando una disminución de la traslocación de Cd a órganos aéreos.

La absorción de Cd por las raíces de palta se relaciona con el estudio de Sotomayor *et al.* (2019) que reportaron el uso de HMA para incrementar la absorción de varios iones en plántulas de palta ‘criollo’. *Glomus iranicum* incrementó la absorción de estos elementos en la raíz, pero no se observó un efecto mayor en la parte aérea de plántulas del palto. Esta acumulación de Cd en raíces expuestas a estrés por Cd ha sido desarrollada por Han *et al.* (2021), ellos reportaron que la inoculación de HMA mejoró fuertemente la absorción de Cd en *Lolium perenne*. De igual manera Chang *et al.* (2018) reportaron un aumento significativo de las concentraciones de Cd en raíces de maíz estimuladas con HMA. Por lo tanto, se demuestra la presencia de Cd en raíces de palta Hass, posiblemente influenciada por la presencia de los HMA.

4.2.2. Efecto de los HMA en la absorción de cadmio por las hojas

Los resultados de Cd en las hojas de palta Hass muestra mayor concentración en T4 con 0,46 mg·kg⁻¹, seguida de T2 con 0,13 mg·kg⁻¹, T3 con 0,11 mg·kg⁻¹ y T1 con una menor concentración del metal pesado (0,032 mg·kg⁻¹). Esto muestra que hubo una menor acumulación del metal pesado en hojas que en raíz. Esto podría indicar que las raíces son el punto principal para regular la traslocación de este metal pesado en palta Hass. Estos resultados son congruentes con Molina *et al.* (2020) quienes aplicaron a suelos 25 mg·kg⁻¹ de Cd, obteniendo valores promedio del metal en 30,27 y 0,89 mg·kg⁻¹ del metal en raíz y hoja respectivamente. Esto podría deberse al tipo de planta frente al contaminante. Estudios realizados por Grunennvaldt (2022) y Reddy *et al.* (2014) y en palta han demostrado que no es una planta acumuladora para metales pesados como de cadmio, cobalto, cromo, plomo y selenio en órganos aéreos (brote, hoja y fruto), a pesar de la preocupación por los contaminantes en el suelo. En general, los HMA pueden haber reducido la traslocación del metal Cd hacia órganos aéreos haciéndolos menos disponible al permitir cambio en su configuración iónica y permitir su acumulación en las raíces (Wani *et al.*, 2022). Esto resalta su potencial en la biorremediación y en la protección de cultivos en suelos contaminados

4.3. Efecto de los hongos micorrízicos en el crecimiento de la palta Hass contaminados por cadmio

Los tratamientos T2 y T4 que recibieron la adición de Cd presentaron una disminución significativa (hasta 20,7 %) en el crecimiento del palto con respecto a los tratamientos que no recibieron Cd. El T3 que recibió HMA sin adición de Cd presentó mayor crecimiento de palto a 60 días. La disminución del crecimiento podría haber resultado de los efectos tóxicos generados por el metal pesado aplicado a los suelos. Así, Onokebhagbe *et al.* (2019). informó que las plantas que se cultivan en suelos con altos niveles de Cd muestran síntomas notables de daño que van desde clorosis; así como inhibición del crecimiento. Según Chaturvedi *et al.* (2021), el Cd provoca la inhibición de la Fe (III) reductasa de la raíz hasta la deficiencia de Fe (II), lo que a su vez tiene un efecto severo en la tasa de fotosíntesis. Asimismo, Shahid *et al.* (2017) informaron que el Cd inhibe la absorción, el transporte y la utilización de varios elementos que van desde Ca, Mg, P hasta K y agua por las plantas. Dado que el cadmio tiene características químicas similares al zinc y al manganeso, a veces reemplaza a este último en el sitio reactivo, lo que da como resultado actividades enzimáticas

inhibidas, lo que lleva al marchitamiento, amarilleamiento y retraso del crecimiento de las plantas, tal como refieren Genchi *et al.* (2020).

En esta investigación la inoculación de HMA al suelo sin adición de Cd (T3) fue el tratamiento más efectivo para el crecimiento de plántones de palta. Este crecimiento mayor de los plántones de palta podría estar influenciado por la inoculación de HMA que incrementa la absorción de nutrientes presentes en el suelo, mostrando un incremento en el crecimiento de la planta huésped. Asimismo, se ha observado diferencias significativas en el crecimiento entre plántones de palta con cadmio con/sin aplicaciones de HMA. Este crecimiento de la palta afectado por Cd, permite evidenciar la actividad de los HMA que reduciría el estrés por el metal pesado al optimizar la quelación por absorción de nutrientes y agua, el ajuste osmótico; así como, la actividad fotosintética y antioxidante, tal como refiere Liu *et al.* (2018).

La inclusión de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de palto tiene un efecto leve en el desarrollo de las plantas, incluso en presencia de cadmio. Esto se refleja en los resultados de T4, donde se aplicaron HMA y cadmio, observándose un incremento no significativo de la altura de las plantas en comparación con las plantas tratadas solo con cadmio puro.

Por otro lado, se observó que la concentración de cadmio en los tejidos vegetales disminuyó desde las raíces a las hojas. El proceso de absorción y distribución de Cd en las plantas de palta Hass puede verse impactado por varios factores, incluida la interacción de las HMA con los diferentes parámetros del suelo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en la colonización micorrízica en relación con el cadmio en cultivos de palta Hass muestran que la aplicación de Cd redujo significativamente la colonización micorrízica en los tratamientos que lo recibieron. Así T3 (no recibió cadmio) presentó una alta colonización micorrízica en comparación de T4 que si recibió Cd. Los tratamientos que no recibieron aplicación de esporas de HMA (T1= 6,33 % y T2= 0 %) no mostraron diferencias significativas para la colonización micorrízica.
2. Esta investigación demuestra que, bajo condiciones de suelo contaminado con Cd, los HMA fortalecieron la fijación del metal pesado en raíz. Además, la acumulación total de Cd en raíz de plantas micorrízicas fue mayor que las de las plantas no micorrízicas, demostrando que los HMA influyen en la biofijación del metal a la raíz de la planta y posibilitando una disminución de la traslocación de Cd a órganos aéreos. Mientras que se registró una menor acumulación del metal pesado en hojas que en raíz. Además, la acumulación de Cd en hojas se vio significativamente influenciado por la interacción de los HMA en palta Hass. Esto podría indicar que las raíces son el punto principal para regular la traslocación de este metal pesado en palta Hass.
3. Los resultados muestran que los tratamientos que recibieron Cd presentaron una disminución en el crecimiento del palto con respecto a los tratamientos que no recibieron Cd. La inclusión de HMA en el cultivo de palto tiene un efecto leve en el desarrollo de las plantas, incluso en presencia de cadmio. Esto se refleja en los resultados de T4, donde se aplicaron HMA y Cd observándose un incremento no significativo de la altura de las plantas en comparación con las plantas tratadas solo con cadmio puro.
4. En general, los HMA contribuyen a la mitigación de los efectos de Cd en plantas de palta Hass al reducir la traslocación del metal hacia órganos aéreos y permitir su acumulación en las raíces.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se sugiere a los agricultores realizar la aplicación de HMA en suelos agrícolas para posibilitar la colonización de estos microorganismos en campos de cultivo.
2. Se recomienda que se realicen investigaciones sobre otras micorrizas arbusculares de palta y su influencia en el secuestro de cadmio en el sistema radicular y parte vegetativa de las plántulas de palta.
3. Se sugiere realizar estudios comparativos usando otros tipos de sustratos para aplicar al suelo con la finalidad de evaluar la movilización del cadmio en las plantas de palta.
4. Es necesario evaluar el efecto de los HMA en la captura de cadmio en otras variedades de palta, priorizando aquellas más comercializadas y en riesgo de acumulación de metales.
5. Se recomienda que se estudie no solo el grado de estimulación generado por las HMA en el crecimiento de palta, sino también su impacto en la calidad del fruto y su resistencia a condiciones adversas.
6. Realizar la evaluación del suelo para establecer el contenido final de Cd en suelo y poder establecer el factor de bioconcentración y definir el estatus fitorremediador de la planta de palta.

REFERENCIAS

- Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S. y Murtaza, G. (2017). Effect of biochar on alleviation of cadmium toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L) grown on Cd-contaminated saline soil [Efecto del biocarbón en la mitigación de la toxicidad del cadmio en el trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado en suelo salino contaminado con Cd]. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 25668–25680. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8987-4>.
- Abraham, J.D., Abraham, J. y Takrama, J.F. (2018). Características morfológicas del aguacate (*Persea americana* Mill.) en Ghana. *Revista Africana de Ciencias Vegetales*, 12 (4), 88-97.
- Aguilar-Ulloa, W., P. Arce-Acuña, F. Galiano-Murillo y Torres-Cruz, T. (2016). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Revista Tecnología en Marcha* 29(7): 5-14. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i7.2700>.
- Aguirre, E., Alonso, A., Méndez, A., Villanueva, A. y Reverchon F. (2020). Bark from avocado trees of different geographic locations have consistent microbial communities. *BioRxiv*. 261396; <https://doi.org/10.1101/2020.08.21.261396>
- Ahn, Y., Han, M. y Choi, J. (2020). Monitoring the mobility of heavy metals and risk assessment in mine-affected soils after stabilization [Monitoreo de la movilidad de metales pesados y evaluación de riesgos en suelos afectados por minas luego de su estabilización], *Journal of Hazardous Materials*, 400. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123231>
- Ahmed, N., Zhang, B., Chachar, Z., Li, J., Xiao, G., Wang, Q., Hayat, F., Deng, L., Narejo, N., Bozdar, B. y Tu, P. (2024). Micronutrients and their effects on Horticultural crop quality, productivity and sustainability [Micronutrientes y sus efectos en la calidad, productividad y sostenibilidad de los cultivos hortícolas], *Scientia Horticulturae*, 323, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112512>.
- Al-Shammary, G., Kouzani, A., Gyasi-Agyei, Y., Gates, W., y Rodrigo-Comino, J. (2020). Efectos de la solarización en las propiedades termofísicas del suelo bajo diferentes tratamientos: una revisión. *Geoderma* , 363 , 114137.
- Araújo, R.G, Rodriguez-Jasso, R.M., Ruiz, H.A, Pintado, M. y Aguilar, C. (2018). Subproductos del aguacate: propiedades nutricionales y funcionales. *Tendencias Ciencia de los alimentos. Tecnología*; 80:51–60. doi: 10.1016/j.tifs.2018.07.027

- Ayangbenro, A.S. y Babalola, O.O. (2021). Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria [Recuperación de suelos áridos y semiáridos: el papel de las arqueas y bacterias promotoras del crecimiento de las plantas] *Curr. Plant Biol*, 25, 100173. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100173>.
- Azeem, M.; Haider, M.Z.; Javed, S.; Saleem, M.H. y Alatawi, A. (2022). Drought Stress Amelioration in Maize (*Zea mays* L.) by Inoculation of *Bacillus spp.* Strains under Sterile Soil Conditions [Mejora del estrés por sequía en maíz (*Zea mays* L.) mediante la inoculación de *Bacillus spp.* Cepas en condiciones de suelo estéril]. *Agriculture*, 12, 50. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010050>.
- Balderas, A., Esquivel, G. y Frutis, R. V. (2019). Colonización micorrízica arbuscular en parcelas de aguacate con diferentes prácticas de manejo agrícola. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 44(11), 649-652.
- Barker, A. (2019). Fertilizers, *Encyclopedia of Analytical Science (Third Edition)*, Academic Press: 134-144. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.00142-6>.
- Bastidas, L. (2024). *El cadmio en el suelo y su efecto en el cultivo del palto (Persea americana Mill.)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6168>
- Bhore, S. J., Ochoa, D. S., Al Houssari, A., Zelaya, A. L., Yang, R., Chen, Z. y Eltantawy, E. (2021). The avocado (*Persea americana* Mill.): a review and sustainability perspectives. <https://www.preprints.org/manuscript/202112.0523/v1>
- Bonilla, N., Vida, C., Martínez-Alonso, M., Landa, B.B., Gaju, N., Cazorla, F.M., y de Vicente, A. (2015). Organic amendments to avocado crops induce suppressiveness and influence the composition and activity of soil microbial communities [Las enmiendas orgánicas a los cultivos de aguacate inducen supresión e influyen en la composición y actividad de las comunidades microbianas del suelo]. *Appl Environ Microbiol* 81:3405–3418. doi:10.1128/AEM.03787-14
- Buades, D. (2016). Variación léxica en los nombres de árboles, plantas y frutos y su aplicación a la traducción inglés-español (español europeo vs. español americano).
- Carrasco, S. (2019). Metodología de la investigación científica. Editorial San Marcos. Perú
- Carrillo-Saucedo, S. M., J. Puente-Rivera, S. Montes-Recinas y Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana* 129: e1932. doi: <http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>.

- Chang, Q., Diao, F.W., Wang, Q.F., Pan, L., Dang, Z.H. y Guo, W. (2018) Effects of arbuscular mycorrhizal symbiosis on growth, nutrient and metal uptake by maize seedlings (*Zea mays* L.) grown in soils spiked with Lanthanum and Cadmium. *Environ Pollut.*;241:607-615. doi: 10.1016/j.envpol.2018.06.003.
- Chaturvedi, R., Favas, P., Pratas, J., Varun, M. y Paul, M. (2018). Assessment of edibility and effect of arbuscular mycorrhizal fungi on *Solanum melongena* L. grown under heavy metal(loid) contaminated soil [Evaluación de la comestibilidad y el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en *Solanum melongena* L. cultivado en suelo contaminado con metales pesado], *Ecotoxicology and Environmental Safety*,148: 318-326. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.048>.
- Chebet, D.K. (2021). Investigación de la inoculación de micorrizas arbusculares en el crecimiento de plántulas de frutas tropicales en condiciones de estrés salino, inundaciones y nutrientes [Tesis de posgrado, Jomo kenyatta University of Agriculture and Technology]. Repositorio de la JKUAT.
- Chellaiah, E.R. (2018). Cadmium (heavy metals) bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa*: A minireview [Biorremediación de cadmio (metales pesados) por *Pseudomonas aeruginosa*: una minirevisión]. *Appl. Water Sci*, 8: 154. doi:10.1007/s13201-018-0796-5
- Choppala, G., Saifullah, B.N., Bibi, S., Iqbal, M., Rengel, Z. y Ok, Y. (2014). Cellular mechanisms in higher plants governing tolerance to cadmium toxicity cellular mechanisms in higher plants governing tolerance [Mecanismos celulares en plantas superiores que rigen la tolerancia a la toxicidad del cadmio Mecanismos celulares en plantas superiores que rigen la tolerancia a la toxicidad del cadmio]. *Crit. Rev. Plant Sci*. 33, 1–18. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.903747>
- Coral, D. (2022). *Recuperación de Suelos con Inoculación de Micorrizas Benéficas en Plántulas de Cacao (Theobroma cacao L), Caynarachi San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/103362>.
- Del Aguila, Karen M., Vallejos-Torres, Geomar, Arévalo, Luis A. y Becerra, G. (2018). Inoculation Effect of Arbuscular Mycorrhizal Consortiums in *Coffea arabica*, Caturra Variety in the San Martín Region. *Información tecnológica*, 29(1), 137-146. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100137>
- Duncan, E. W., Osmond, D. L., Shober, A. L., Starr, L., Tomlinson, P., Kovar, J. L., Moorman, T. B., Peterson, H. M., Fiorellino, N. M. y Reid, K. (2019). Phosphorus and Soil Health Management Practices [Prácticas de manejo del fósforo y la salud

del suelo]. *Agricultural y Environmental Letters*, 4(1), 190014. <https://doi.org/10.2134/ael2019.04.0014>

Dutta, A., Patra, A., Singh Jatav, H., Singh Jatav, S., Kumar Singh, S., Sathyanarayana, E., ... Singh, P. (2021). Toxicity of Cadmium in Soil-Plant-Human Continuum and Its Bioremediation Techniques. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.94307

Ebrahimi, E., y Reza, M. (2024). Dinámica del fósforo en el entorno de suelo-agua-sedimento. *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.113225

Elahi, A. y Rehman, A. (2019). Multiple metal resistance and Cr⁶⁺ reduction by bacterium, *Staphylococcus sciuri* A-HS1, isolated from untreated tannery effluent [Resistencia de múltiples metales y reducción de Cr⁺⁶ por la bacteria *Staphylococcus sciuri* A-HS1, aislada de efluentes de curtiduría sin tartar]. *J. King Saud Uni. Sci.* 31: 1005–1013). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.07.016>

García, J.S.A., da Silva, D.P, Salazar, A.H., Espinoza, R.A.I, y Ceballos-Aguirre, N. (2022). Fenología del aguacate hass en el trópico andino de Caldas, Colombia. *Rev. Bras. Frutico*;44 doi: 10.1590/0100-29452022252.

Genchi, G., Sinicropi, M.S., Lauria, G., Carocci, A. y Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity [Los efectos de la toxicidad del cadmio]. *Int J Environ Res Public Health*. 26;17(11):3782. doi: 10.3390/ijerph17113782

Ghaffar, A., Hussain, N., Ajaj, R., Shahin, S.M, Bano, H., Javed, M., Khalid, A., Yasmin. M., Shah, K.H., Zaheer, M., Iqbal, M., Zafar, y Athar, H. (2023) Photosynthetic activity and metabolic profiling of bread wheat cultivars contrasting in drought tolerance [Actividad fotosintética y perfil metabólico de cultivares de trigo panificable que contrastan en tolerancia a la sequía]. *Front. Plant Sci.* 14:1123080. doi: 10.3389/fpls.2023.1123080

Genchi, G.; Sinicropi, M.S.; Lauria, G.; Carocci, A. y Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity [Los efectos de la toxicidad del cadmio]. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 3782. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>

Granda, R., Pichiling, G. y Tobalina, G. (2021). *Estudio del sector industrial de palta Hass para consumo nacional*. [Trabajo de Investigación, Universidad de Lima]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/12737>

- Grunenvaldt, R. (2022). Avocado soil health literature. Extension horticulturist Queensland Department of Agriculture and Fisheries [Revisión de la literatura sobre la salud del suelo del aguacate]. Queensland, Australia. https://avocado.org.au/wp-content/uploads/2022/11/Soil-health-literature-review_NOV-22.pdf.
- Guo, G., Lei, M. y Chen, T. (2018). Evaluación de diferentes enmiendas y fertilizantes foliares para la inmovilización de metales pesados en suelos contaminados. *J Soils Sediments* 18, 239–247. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1752-y>
- Haider, F.U, Liqun, C., Coulter, J.A, Cheema, SA, Wu, J., Zhang, R. y Farooq, M. (2021). Toxicidad del cadmio en plantas: impactos y estrategias de remediación. *Ecotoxicología y seguridad ambiental*, 211, 111887. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>
- Han, Y., Zveushe, O. K., Dong, F., Ling, Q., Chen, Y., Sajid, S. y de Dios, V. R. (2021). Unraveling the effects of arbuscular mycorrhizal fungi on cadmium uptake and detoxification mechanisms in perennial ryegrass (*Lolium perenne*) [Desentrañando los efectos de los hongos micorrízicos arbusculares sobre los mecanismos de absorción y desintoxicación de cadmio en raigrás perenne (*Lolium perenne*)]. *Science of The Total Environment*, 798, 149222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149222>
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, B., Parvin, K., Bhuiyan, T.F., Anee, T.I, Nahar, K., Hossen, M.S., Zulfiqar, F., Alam, M.M. y Fujita, M. (2020). Regulation of ROS Metabolism in Plants under Environmental Stress: A Review of Recent Experimental Evidence [Regulación del metabolismo de ROS en plantas bajo estrés ambiental: una revisión de evidencia experimental reciente]. *Int J Mol Sci.* 18;21(22):8695. doi: 10.3390/ijms21228695
- Henao-Rojas, J.C., Lopez, J.H, Osorio, N.W, y Ramírez-Gil, J.G. (2019). Calidad de fruto en aguacate Hass y su relación con diferentes áreas de cultivo en zonas tropicales. *Rev. Ceres*; 66:341–350. doi: 10.1590/0034-737X201966050003
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- Herrera R. (1993). General methodology to analyse rootlets raw humus and Vesicle Arbuscular Mycorrhizal (VAM) components. Cuba: Educational *Ancoras*.

- Hurtado-Fernández, E., Fernández-Gutiérrez, A. y Carrasco-Pancorbo, A. (2018). Avocado fruit— *Persea americana* [Fruto de aguacate: *Persea americana*]. *Exotic Fruits*, 37–48. doi:10.1016/b978-0-12-803138-4.00001-0
- Hussain, B., Umer, M.J., Li, J., Ma, Y., Abbas, Y., Ashraf, M.N., Tahir, N., Ullah, A., Gogoi, N. y Farooq, M. (2021). Strategies for reducing cadmium accumulation in rice grains [Estrategias para reducir la acumulación de cadmio en los granos de arroz]. *J. Clean. Prod.* 286, 125557 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125557>.
- Huybrechts, M., Cuypers, A., Deckers, J., Iven, V., Vandionant, S., Jozefczak, M. y Hendrix, S. (2019). Cadmium and plant development: an agony from seed to seed. *IJMS* 20, 3971. <https://doi.org/10.3390/ijms20163971>
- Ismael, M.A., Elyamine, A.M., Moussa, M.G., Cai, M., Zhao, X. y Hu, C. (2018). Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. *Metallomics*, 10.1039/c8mt00247a
- Jalmi, S.K., Bhagat, P.K., Verma, D., Noryang, S., Tayyeba, S., Singh, K., Sharma, D. y Sinha, A.K. (2018). Traversing the links between heavy metal stress and plant signaling [Recorriendo los vínculos entre el estrés por metales pesados y la señalización vegetal]. *Front. Plant Sci.* 9, 12.
- Ji, L.; Zhang, Y.; Yang, Y.C.; Yang, L.X.; Yang, N. y Zhang, D.P. (2020). Long-term effects of mixed planting on arbuscular mycorrhiza fungal communities in the roots and soils of *Juglans mandshurica* plantations [Efectos a largo plazo de la siembra mixta sobre las comunidades de hongos micorrizas arbusculares en las raíces y suelos de plantaciones de *Juglans mandshurica*]. *BMC Microbiol.* 20, 304. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-01987-1>
- Jinadasa, N.; Collins, D.; Holford, P.; Milham, P.J. y Conroy, J.P. (2016). Reactions to cadmium stress in a cadmium-tolerant variety of cabbage (*Brassica oleracea* L.): Is cadmium tolerance necessarily desirable in food crops? [Reacciones al estrés por cadmio en una variedad de repollo tolerante al cadmio (*Brassica oleracea* L.): ¿Es necesariamente deseable la tolerancia al cadmio en los cultivos alimentarios?] *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 23. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5779-6>
- Kalai, T., Bouthour, D., Manai, J., Ben-Kaab, L.B. y Gouia, H. (2016). Salicylic acid alleviates the toxicity of cadmium on seedling growth, amylases and phosphatases activity in germinating barley seeds [El ácido salicílico alivia la toxicidad del cadmio en el crecimiento de las plántulas y la actividad de las amilasas y fosfatasa en las semillas de cebada en germinación]. *Arch. Agron. Soil Sci.* 62, 892–904. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2015.1100295>

- Kaushal, M., y Prasad, R. (2021). Microbial Biotechnology in Crop Protection. [Biotecnología microbiana en la protección de cultivos] doi:10.1007/978-981-16-0049-4 10.1007/978-981-16-0049-4 :
- Kendir, G. y Köroğlu, A. (2018). Evaluation of avocado (*Persea americana* Mill.) leaves in terms of public health. *Marmara Pharm J.*; 22 (3): 347-356
- Khan, S., Reid, B.J., Li, G. y Zhu, Y. (2014). Application of biochar to soil reduces cancer risk via rice consumption: A case study in Miaoqian village, Longyan, China [La aplicación de biocarbón al suelo reduce el riesgo de cáncer a través del consumo de arroz: un estudio de caso en la aldea de Miaoqian, Longyan] *Environ. Int.* 68, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.03.017>
- Khan, K., Elahi, A., Bukhari, D. y Rehman, A. (2022). Cadmium sources, toxicity, resistance and removal by microorganisms-A potential strategy for cadmium eradication [Fuentes de cadmio, toxicidad, resistencia y eliminación por microorganismos: una posible estrategia para la erradicación del cadmio], *Journal of Saudi Chemical Society*, 26 (6):101569. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2022.101569>.
- Kinay, A. (2018). Effects of cadmium on nicotine, reducing sugars and phenolic contents of Basma tobacco variety [Efectos del cadmio sobre la nicotina, los azúcares reductores y los contenidos fenólicos del tabaco de la variedad Basma]. *Fresenius Environ. Bull.* 27, 9195–9202.
- Kubier, A.; Wilkin, R.T. y Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review [Cadmio en suelos y aguas subterráneas: una revisión]. *Appl. Geochem.* 2019, 108: 5296–5306. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>
- Li, W.; Chen, K.; Li, Q.; Tang, Y.; Jiang, Y. y Su, Y. (2023). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Alleviating Cadmium Stress in *Medicago truncatula* [Gaertn. Efectos de los hongos micorrízicos arbusculares para aliviar el estrés por cadmio en *Medicago truncatula*. *Plants*], 12, 547. <https://doi.org/10.3390/plants12030547>
- Liu, Y., Xiao, T., Baveye, P. Zhu, J., Ning, G. y Li, H. (2015). Potential health risk in areas with high naturally-occurring cadmium background in southwestern China [Posible riesgo para la salud en zonas con alto contenido natural de cadmio en el suroeste de China], *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 112: 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.10.022>
- Liu, L.W.; Li, W.; Song, W.P. y Guo, M.X. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability [Técnicas de remediación de suelos

contaminados con metales pesados: principios y aplicabilidad]. *Sci. Total Environ.* 2018, 633, 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>

Liu, R., Thomas, B. W., Shi, X., Zhang, X., Wang, Z. y Zhang, Y. (2021). Effects of ground cover management on improving water and soil conservation in tree crop systems: A meta-analysis [Efectos de la gestión de la cobertura vegetal en la mejora de la conservación del agua y el suelo en sistemas de cultivo arbóreo: un metanálisis]. *Catena*, 199, 105085. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105085>

Ma, X., Cui, W., Yang, L., Yang, Y., Chen, H. y Wang, K. (2015). Efficient biosorption of lead (II) and cadmium (II) ions from aqueous solutions by functionalized cell with intracellular CaCO₃ mineral scaffolds [Biosorción eficiente de iones de plomo (II) y cadmio (II) de soluciones acuosas mediante células funcionalizadas con estructuras minerales intracelulares de CaCO₃], *Bioresour. Technol.* 185: 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.074>

Mahmud, K., Missaoui, A., Lee, K., Ghimire, B., Presley, H. W. y Makaju, S. (2021). Rhizosphere microbiome manipulation for sustainable crop production [Manipulación del microbioma de la rizosfera para la producción agrícola sostenible]. *Current Plant Biology*, 27, 100210.

Martin, F.M, y van Der Heijden, M.G. (2024). Mycorrhizal symbiosis: frontiers of research in genomics, ecology and agricultural applications [La simbiosis micorrízica: fronteras de investigación en genómica, ecología y aplicaciones agrícolas]. *New Phytologist*, 242 (4), 1486-1506. <https://doi.org/10.1111/nph.19541>

Mc Gonigle, T.P., Miller, M.H., Evans, D.G., Fairchild, G.L. y Swan, J.A. (1990). A New Method Which Gives an Objective Measure of Colonization of Roots by Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi [A New Method Which Gives an Objective Measure of Colonization of Roots by Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi]. *New Phytol*, 115, 495–501.

Miller, J. (2020). *Aguacate: Una historia global*. Reaktion Books.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI] (2018). Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas, granos y productos derivados del Cacao. Grupo técnico nacional de cadmio en cacao.

Molina, L., Pérez, C, Vargas, G., Zirulnik, L., y Azcón. A. (2020). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Colonization on Cadmium-Mediated Oxidative Stress in *Glycine max* (L.) [Efecto de la colonización micorrízica arbuscular sobre el estrés oxidativo

mediado por cadmio en *Glycine max*] Merr. Plants, 9(1), 108. doi:10.3390/plants9010108.

Muñoz, S. (2022). *Niveles de contaminación con cadmio en cinco suelos fertilizados con compuestos fosforados en la zona agrícola de Barranca, Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional UCSS. <https://hdl.handle.net/20.500.14095/1660>.

Newett, S., Rigden, P. y Carr, B. (2018). Avocado Plant Nutrition Review (Issue August).

Onokebhagbe, V. O., Adeleye, A. O. y Nkereuwen, M. E. (2019). Bioavailability of cadmium in soils, fertilizer sources and uptake by leafy vegetables: a review [Biodisponibilidad de cadmio en suelos, fuentes de fertilizantes y absorción por vegetales de hoja: una revisión]. FUDMA Journal of Sciences, 3(1), 299-306.

Palansooriya, K.N., Shaheen, S., Chen, S., Tsang, D., Hashimoto, Y., Hou, D. Bolan, N.S. Rinklebe, J. y Ok, Y. (2020). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: a critical review [Enmiendas de suelos para la inmovilización de elementos potencialmente tóxicos en suelos contaminados: una revisión crítica]. *Environ. Bar Int.*, 134, p. 105046. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105046>

Phillips, J.M.; Hayman, D.S. (1970) Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Rapid Assessment of Infection [Procedimientos mejorados para limpiar raíces y teñir hongos parásitos y micorrízicos vesículo-arbusculares para una evaluación rápida de infecciones]. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55, 158–161.

Programa Ambiental de las Naciones Unidas [UNEP] (2024). Draft final review of scientific information on cadmium.

Ramírez-Gil, J.G., Henao-Rojas, J.C., Diaz-Diez, C.A, Peña-Quiñones, A.J, León, N, Parra-Coronado, A. y Bernal-Estrada, J.A. (2023). Phenological variations of avocado cv. Hass and their relationship with thermal time under tropical conditions. *Heliyon*. 3;9(9): e19642. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19642

Raza, A., Habib, M., Kakavand, S.N., Zahid, Z., Zahra, N., Sharif, R. y Hasanuzzaman, M., (2020). Phytoremediation of cadmium: physiological, biochemical, and molecular mechanisms [Fitorremediación del cadmio: mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares]. *Biology* 9, 177 doi:10.3390/biology9070177.

- Reddy, M., Moodley, R. y Jonnalagadda, S. B. (2014). Elemental uptake and distribution of nutrients in avocado mesocarp and the impact of soil quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(7), 4519–4529. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3716-7>
- Rengel, Z. (2015). Disponibilidad de Mn, Zn y Fe en la rizosfera. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15 (2), 397-409.. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000036>
- Riaz, M., Kamran, M., Fang, Y., Wang, Q., Cao, H., Yang, G. y Wang, X. (2020). Mitigation of heavy metal phytotoxicity induced by arbuscular mycorrhizal fungi in metal-contaminated soils: a critical review [Mitigación de la fitotoxicidad de metales pesados inducida por hongos micorrízicos arbusculares en suelos contaminados con metales: una revisión crítica]. *Journal of Hazardous Materials*, 123919. <https://doi:10.1016/j.jhazmat.2020.1239>
- Rizwan, M., Ali, S., Abbas, T., Rehman, M.Z., Hannan, F., Keller, C., Al-Wabel, M.I. y Ok, Y.S. (2016). Cadmium minimization in wheat: a critical review [Minimización del cadmio en el trigo: una revisión crítica]. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 130, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.04.001>.
- Rojas, P. A. (2022). *Identificación de cadmio (Cd) soluble en rocas fosfóricas y su relación con diversas propiedades encontradas sobre yacimientos empleados para la producción de fertilizantes de la Cordillera Oriental*. [Tesis de posgrado, Universidad EAFIT]. Repositorio EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/fccbd894-35d1-4948-a237-72cca7eeef1/content>
- Rowe, A. (2019). Avocado growers talk cover crops. Climate Smart Agriculture. <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=30882>
- Servicio de Sanidad Agraria del Perú [SENASA] (2022). SENASA realiza medidas inmediatas sobre los hallazgos de metales pesados en palta de exportación en Holanda. <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/senasa-realiza-medidas-inmediatas-sobre-los-hallazgos-de-metales-pesados-en-palta-de-exportacion-en-holanda/>
- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Niazi, NK y Antunes, P. (2017). Biodisponibilidad, absorción, toxicidad y desintoxicación del cadmio en el sistema suelo-planta. *Reseñas de contaminación ambiental y toxicología*, 241: 73-137.

- Soti, P., Toprak, B., Rosa, N., y Jayachandran, K. (2021). Influence of Land Use Intensity and Management on Arbuscular Mycorrhizal Fungi-Avocado Symbiosis [Influencia de la intensidad del uso y manejo del suelo en la simbiosis entre hongos micorrízicos arbusculares y aguacate] *Journal of Agricultural Science*, 13, 10. <https://doi.org/10.5539/jas.v13n3p10>
- Ramírez-Gil, J.G., Henao-Rojas, J.C., Diaz-Diez, C.A., Peña-Quiñones, A., León, N., Parra-Coronado, A. y Bernal-Estrada, J. (2023). Phenological variations of avocado cv. Hass and their relationship with thermal time under tropical conditions. *Heliyon*. Sep 3;9(9):e19642. doi: 10.1016/j.heliyon.19642. PMID: 37810128; PMCID: PMC10558874
- Rivera, F.A, González, V., J.G, y Ossa, P. (2016). Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrízica en la rizósfera del aguacate (*Persea americana* Mill) en Caldas, Colombia. *Acta Agronómica*, 65 (4), 398-405.
- Shu, B., Liu, L., Jue, D., Wang, Y., Wei, Y. y Shi, S. (2017): Effects of avocado (*Persea americana* Mill.) scion on arbuscular mycorrhizal and root hair development in rootstock [Efectos del injerto de aguacate (*Persea americana* Mill.) sobre el desarrollo de micorrizas arbusculares y pelos radicales en portainjertos], *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: 10.1080/03650340.2017.131792.
- Šijaković, M. y Perić, A. (2018). Symbiotic architecture: Redefinition of recycling design principles [Arquitectura simbiótica: redefinición del diseño de reciclaje], *Frontiers of Architectural Research*, 7 (1): 67-79, ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.12.002>.
- Singla, A. y Sharma, T. (2021). Role of Plant Physiology in the Era of Second Green Revolution [El papel de la fisiología vegetal en la era de la segunda revolución verde]. *Int. J. Plant Biotechnol*, 7, 18–36. ISSN: 2456–0162
- Solórzano-Acosta, R., Toro, M., y Zúñiga-Dávila, D. (2023). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal y micorrizas arbusculares mejoran el crecimiento de *Persea americana* var. zutano en condiciones de estrés salino. *Journal of Fungi*, 9 (2), 233.
- Tabares, C. y Uribe, C. (2024). Fenología del aguacate Hass en el trópico andino del departamento de Caldas. [Tesis de posgrado, Universidad de Caldas, Colombia]. Repositorio de la Universidad de Caldas. <https://repositorio.ucaldas.edu.co/handle/ucaldas/19785>
- Tedersoo, L., Magurno, F., Alkahtani, S., y Mikryukov, V. (2024). Phylogenetic classification of arbuscular mycorrhizal fungi: new species and higher-ranking taxa

in Glomeromycota and Mucoromycota (class Endogonomycetes). *MycKeys*, 107, 273. doi: 10.3897/mycokeys.107.125549

- Ulusu, Y., Oztürk, L. y Elmasta, S. (2017). Antioxidant capacity and cadmium accumulation in parsley seedlings exposed to cadmium stress. *Russ. J. Plant Physiol.* 64, 883–888.
- Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., Iliquin, I., y Solis, R. (2019). Respuesta en Campo de Clones de Café a la Inoculación con Consorcios de Hongos Micorrízicos Arbusculares en la Región Amazonas, Perú. *Información tecnológica*, 30(6), 73-84. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600073>
- Vallejos-Torres, G., Torres, S. C., Gaona-Jimenez, N., Saavedra, J., Tuesta, J. C., Tuesta, O. A., y del Mar Alguacil, M. (2022). The Combined Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Compost Improves Growth and Soil Parameters and Decreases Cadmium Absorption in Cacao (*Theobroma cacao* L.) Plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4), 5174-5182.
- Vatansever, R., Ozyigit, I. y Filiz, E. (2017). Essential and Beneficial Trace Elements in Plants, and Their Transport in Roots: a Review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Doi:181. 10.1007/s12010-016-2224-3.
- Vidal, M., Torres, H., Velázquez, C., Rascón, A. y Robles, R. (2020). Actividad antioxidante y antiproliferativa de seis plantas medicinales del noroeste de México. *Biotecnia*, 22(3), 40-45. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1169>
- Viera, W., Campaña, D., Gallardo, D., Vásquez, W., Viteri, P. y Sotomayor, A. (2017). Native Mycorrhizae for Improving Seedling Growth in Avocado Nursery (*Persea americana* Mill.). *Indian Journal of Science and Technology*, 10(25), DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i25/110415.
- Viteri, P., Viera, W., Gaona, P., Hinojosa, M., Sotomayor, A., Park, C. y Villavicencio, A. (2021). Manual para el manejo de la poda en aguacate (*Persea americana* Mill.). Manual técnico 123. Quito, Ecuador. INIAP. 41p.
- Wang, F. (2017) Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in mining-impacted sites and their contribution to ecological restoration: mechanisms and applications. *Crit Rev Environ Sci Technol* 47(20):1901–1957. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1400853>.

- Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Khizar, C. y Reddy, S. (2023). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. *Plants (Basel)*. 12(17):3102. doi: 10.3390/plants12173102.
- Wani, K.I., Zehra, A., Choudhary, S., Naeem, M. y Aftab, T. (2022). Cadmium, a Nonessential Heavy Metal: Uptake, Translocation, Signaling, Detoxification, and Impact on Amino Acid Metabolism. In: Kumar, K., Srivastava, S. (eds) *Plant Metal and Metalloid Transporters*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6103-8_4
- Wipf, D., F. Krajinski, D. van Tuinen, G. Recorbet y P.E. y Courty. (2019). Trading on the arbuscular mycorrhiza market: from arbuscules to common mycorrhizal Networks. [El comercio en el mercado de micorrizas arbusculares: de los arbusculos a las redes micorrízicas communes] *New Phytologist* 223(3): 1127-1142
- Wu, Q.S., Cao, M.Q., Zou, Y.N. y He, X.H. (2014). Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliate orange. *Sci. Rep.* 4, <https://doi.org/10.1038/srep05823>.
- You, Y., Wang, L., Ju, C., Wang, G., Wang, Y. y Yang, D. (2021). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and toxic element uptake of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud under zinc/cadmium stress, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112023>.
- Younis, U., Malik, S.A., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Shah, M.H.R., Rehman, R. y Ahmad, N. (2016). Biochar enhances the cadmium tolerance in spinach (*Spinacia oleracea*) through modification of Cd uptake and physiological and biochemical attributes. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 21385–21394. <https://doi.org/10.1007>
- Yuan, P., Wang, J., Pan, Y., Sh. Hussain, B., Umer, M.J., Li, J., Ma, Y., Abbas, Y., Ashraf, M.N., Tahir, N., Ullah, A., Gogoi, N. y Farooq, M., (2021). Strategies for reducing cadmium accumulation in rice grains [Estrategias para reducir la acumulación de cadmio en los granos de arroz]. *J. Clean. Prod.* 286, 125557 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125557>
- Zhan, F., Li, B., Jiang, M., Yue, X., He, Y., Xia, Y. y Wang, Y., (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance antioxidant defense in the leaves and the retention of heavy metals in the roots of maize. [Los hongos micorrízicos arbusculares mejoran la defensa antioxidante en las hojas y la retención de metales pesados en las raíces del maíz]. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 24338–24347. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2487-z>

- Zhang, F., Liu, M., Li, Y., Che, Y. y Xiao, Y. (2019). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, biochar and cadmium on the yield and element uptake of *Medicago sativa* [Efectos de hongos micorrízicos arbusculares, biocarbón y cadmio sobre el rendimiento y la absorción de elementos de *Medicago sativa*]. *Sci. Total Environ.* 655, 1150–1158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.317>
- Zulfiqar, U., Farooq, M., Hussain, S., Maqsood, M., Hussain, M., Ishfaq, M., Ahmad, M. y Anjum, M.Z. (2019). Lead toxicity in plants: impacts and remediation [Toxicidad del plomo en plantas: impactos y remediación]. *J. Environ. Manag.* 250, 109557 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.10955>
- Zulfiqar, U., Jiang, W., Xiukang, W., Hussain, S., Ahmad, M., Maqsood, M.F, y Mustafa, A. (2022). Cadmium phytotoxicity, tolerance and advanced remediation approaches in agricultural soils: a comprehensive review [Fitotoxicidad del cadmio, tolerancia y enfoques avanzados de remediación en suelos agrícolas; una revisión exhaustiva]. *Frontiers in Plant Science*, 13, 773815. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.773815>

TERMINOLOGÍA

Actividad fotosintética. Actividad en la que se utiliza la radiación solar transformándola en energía química a partir de sustancias inorgánicas como agua y CO₂ (Ghaffar *et al.*, 2023).

Actividad antioxidante. Sustancias naturales que pueden provocar el retraso de algunos tipos de daños a las células (Vidal *et al.*, 2020).

Asociación simbiótica. Corresponde a una interacción que practican dos organismos o simbiontes de mutuo beneficio para lograr la sobrevivencia (Šijaković y Perić, 2018).

Arbúsculos. Son los principales sitios de intercambio de nutrientes entre la planta hospedadora y el hongo (Carrillo *et al.*, 2022).

Clorosis. Condición anormal en la fisiología de las hojas y está basada en una deficiencia por clorofila (Abbas *et al.*, 2017).

Esporas. Elemento importante en la propagación y reproducción de microorganismos como bacterias y hongos (Aguilar-Ulloa *et al.*, 2016).

Estrés oxidativo. Es una condición en la que las plantas generan en demasía las especies reactivas de oxígeno (Jalmi *et al.*, 2018).

Fertilizante. Corresponde a una sustancia compuesta de elementos químicos que una vez absorbida libera los necesarios para un buen desarrollo de la planta (Barker, 2019).

Hifas. Filamento que se origina a partir de las esporas de organismos fungicos (Wang, 2017).

Inoculación de HMA. Consiste en la aplicación de cantidades significativas de esporas de hongos micorrizicos a suelos para su propagación (Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022).


Micorriza. Se describe como la asociación entre algunos hongos y las raíces de las plantas que permiten una mejora de la producción agrícola al actuar como fertilizantes (Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022).

Solarización. Técnica que consiste en cubrir el suelo con finalidad que las altas temperaturas eliminen fitopatógenos y malas hierbas (Al-Shammary *et al.*, 2020).

APÉNDICES


Apéndice 1

Análisis físico químico de suelo usado en la investigación



inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registra PLE - 200


INFORME DE ENSAYO
N° 07100-24/SU/ LABSAF - DONOSO

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : ROSMERY BELLIDO RODRIGUEZ
 Propietario / Productor : ROSMERY BELLIDO RODRIGUEZ
 Dirección del cliente : HUAURA-LIMA
 Solicitado por : ROSMERY BELLIDO RODRIGUEZ
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 1 muestra
 Producto declarado : Suelo (Suelo Agrícola)
 Presentación de las muestra(s) : Bolsas de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : HUAURA
 Fecha(s) de muestreo : 08/01/2024 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 10/01/2024
 Lugar de ensayo : LABSAF Donoso
 Fecha(s) de análisis : 10/01/2024 al 24/01/2024
 Cotización del servicio : 068-24-D-O
 Fecha de emisión : 24/01/2024

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1							
Código de Laboratorio	SU7100-DO-24							
Matriz Analizada	Suelo							
Fecha de Muestreo	8/01/2024(*)							
Hora de inicio de Muestreo (h)	14:00 (*)							
Condición de la muestra	Conservada							
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	SUELO1							
Ensayo	Unidad	L.C.M	Resultados					
pH	unid. pH	0,1	7,8					
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	0,25					
Materia Orgánica (**)	%	-	4,2					
Nitrógeno (**)	%	-	0,21					
Fósforo disponible (**)	mg/kg	-	0,53					
Potasio disponible (**)	mg/kg	-	41,06					
CaCO ₃ (**)	%	-	38					
Cationes intercambiables								
Calcio (Ca ²⁺) (**)	meq/100g	-	10,62					
Magnesio (Mg ²⁺) (**)	meq/100g	-	4,73					
Sodio (Na ⁺) (**)	meq/100g	-	1,19					
Potasio (K ⁺) (**)	meq/100g	-	2,18					
Aluminio + Hidrógeno (Al ³⁺ +H ⁺) (**)	meq/100g	-	0,00					
Capacidad de intercambio catiónico (CICe) (**)	meq/100g		18,72					
Acidez Int. (**)	%	-	0					
Bases camb. (**)	%	-	100					




LABSAF

Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliáres
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Carretera Chancay - Huanal Km. 5,6, Huanal - Lima


Página 1 de 3
F-46 / Ver.04
www.inia.gob.pe

Continuación



inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200**



INACAL
DA - Perú
Organismo de Acreditación

Registro N° LE - 200

INFORME DE ENSAYO
N° 07100-24/SU/ LABSAF - DONOSO

Análisis de Textura							
Arena (**)	%	--	40				
Limo (**)	%	--	10				
Arcilla (**)	%	--	50				
Clase Textural (**)	--	--	Arcilla arenosa				

LC: Límite de cuantificación del método, "<" Menor que el LC

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265, First Edition, 1994, First Edition/Corr1 1996. Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity. Technical Corrigendum 1.
Materia Orgánica (M.O.)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black).
Nitrogeno(N)	Calculo a partir de los datos obtenidos de materia orgánica
Fosforo (P)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.10 AS-10.2000. Determinación de fósforo por el método de Olsen y colaboradores.
Potasio (K)	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego-INIA Ed. 1era. 2017. ítem 4.9.1. Pág. 52. Potasio extractable
Carbonato de Calcio (CaCO ₃)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.3.25 AS-29. Determinación de Carbonatos de calcio (AS-29 método de neutralización ácida).
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.9 AS-09.3000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Cationes Intercambiables (Ca, Mg, Na, K)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.12 AS-12.2000. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases intercambiables de suelo con acetato de amonio.
Microelementos (Cu, Zn, Mn)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.12 AS-14.2000. Determinación del contenido de microelementos (Hierro, Cobre, Zinc y Manganese).



LABSAF

**Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliaves
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017**


Dirección: Carretera Chancay - Huaral Km. 5.6, Huaral - Lima


Página 2 de
P-46 / Ver.0
www.inia.gob.pe

Apéndice 2

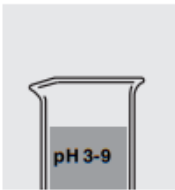
Protocolo para determinar cadmio por fotometría

Cadmio


No. del programa **4** 


a xylem brand


WTW Modelo No.:	14834
Categoría:	KT (ensayo de reactivos con cubeta)
Cubeta:	16 mm
Rango de medición:	0,025 - 1,000 mg/l Cd
	Indicación posible en mmol/l




Verificar el valor pH de la muestra.
Rango nominal: pH 3-9.
En caso necesario, corregir con lejía de sosa diluida o con ácido sulfúrico diluido.




Llenar con una pipeta 5,0 ml de la muestra en una cubeta de reacción y mezclar.




Agregar 0,20 ml **Cd-1K** con una pipeta y mezclar.




Agregar 1 cuchara micrométrica verde rasa de **Cd-2K** y cerrar la cubeta con el tapón roscado.



Sacudir enérgicamente la cubeta para diluir las sustancias sólidas.



Dejar en reposo durante 2 minutos.



Colocar la cubeta en el compartimiento del fotómetro e iniciar la medición.

Observaciones:

- Recomendamos, por cada paquete abierto de un juego de ensayos, determinar el nuevo valor en blanco de reactivos (agua desionizada, en lugar de la muestra).
- Vea más detalles en el papel informativo en el empaque del test.

Apéndice 3

Pruebas de normalidad para colonización de micorrizas

	Tratamientos	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Colonización	SIN HMA	0,253	3	.	0,964	3	0,637
	CON HMA	0,243	3	.	0,972	3	0,679
	CON HMA+Cd	0,175	3	.	1,000	3	1,000

Apéndice 4

Pruebas de homogeneidad de varianza para colonización de micorrizas

F	df1	df2	Sig.
3,848	3	8	,057

Apéndice 5

Prueba de HSD de Tukey para colonización micorrízica

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto		
		1	2	3
SIN HMA+Cd	3	,0000		
SIN HMA	3	6,3333	6,3333	
CON HMA+Cd	3		18,0000	
CON HMA	3			64,3333
Sig.		0,424	0,070	1,000

Apéndice 6

Pruebas de normalidad para cadmio en raíz

	Tratamientos	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
cadmio_raiz	SIN HMA	0,314	3	.	0,893	3	0,363
	SIN HMA+Cd	0,187	3	.	0,998	3	0,915
	CON HMA	0,229	3	.	0,981	3	0,739
	CON HMA+Cd	0,208	3	.	0,992	3	0,826

Apéndice 7

Pruebas de homogeneidad de varianza para cadmio en raíz

F	df1	df2	Sig.
3,045	3	8	0,092

Apéndice 8

Prueba de HSD de Tukey para colonización micorrízica

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto		
		1	2	3
SIN HMA	3	0,0600		
CON HMA	3	0,2367		
SIN HMA+Cd	3		2,8333	
CON HMA+Cd	3			7,5000
Sig.		0,981	1,000	1,000

Apéndice 9

Pruebas de normalidad para cadmio en hojas

	Tratamientos	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cadmio_hojas	SIN HMA	0,281	3	0.	0,937	3	0,514
	SIN HMA+Cd	0,232	3	0.	0,980	3	0,726
	CON HMA	0,385	3	0.	0,750	3	0,000
	CON HMA+Cd	0,337	3	0.	0,855	3	0,253

a. Corrección de significación de Lilliefors

Apéndice 10

Pruebas de homogeneidad de varianza para cadmio en hoja

F	df1	df2	Sig.
4,398	3	8	0,042

Apéndice 11

Prueba de HSD de Tukey para cadmio en hojas

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
SIN HMA	3	0,0320	
CON HMA	3	0,1150	
SIN HMA+Cd	3	0,1300	
CON HMA+Cd	3		0,4667
Sig.		0,669	1,000

Apéndice 12

Pruebas de normalidad para crecimiento de palta

	Tratamientos	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Crecimiento de palta	SIN HMA	0,385	3	.	0,750	3	0,000
	SIN HMA+Cd	0,253	3	.	0,964	3	0,637
	CON HMA	0,253	3	.	0,964	3	0,637
	CON HMA+Cd	0,385	3	.	0,750	3	0,000

Apéndice 13

Pruebas de homogeneidad de varianza para crecimiento de palta

F	df1	df2	Sig.
2,631	3	8	0,122

Apéndice 14

Prueba de HSD de Tukey para crecimiento de palta

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto	
		1	2
SIN HMA+Cd	3	37,0000	
CON HMA+Cd	3	37,6667	
SIN HMA	3	41,3333	41,3333
CON HMA	3		46,6667
Sig.		,286	,158

Apéndice 15
Galería fotográfica



Fotografía 1. Siembra de frijol para captura de hongos micorrízicos arbusculares



Fotografía 2. Procesamiento de semillas de palto.



Fotografía 3. Preparación de bolsas con sustrato para la siembra de palta Hass



Fotografía 4. Aplicación de HMA a suelo



Fotografía 5. Tratamientos de la investigación



Fotografía 6. Mediciones realizadas en la palta.