

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Dosis de biosílíce en la tolerancia a *Phytophthora cinnamomi*
de plántones de palto con y sin abonamiento. Ayacucho. 2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AGRÓNOMA**

**PRESENTADO POR:
Leidy Diana Pillpe Quispe**

**ASESORA:
Ph.D. Marhleni Cerda Gómez**

**Ayacucho – Perú
2022**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGROMOMÍA
TESIS

**Dosis de biosílíce en la tolerancia a *Phytophthora cinnamomi* de
plantones de palto con y sin abonamiento. Ayacucho. 2021**

Expedito : 23 de setiembre de 2022

Sustentado : 29 de diciembre de 2022

Calificación : Muy bueno

Jurados :



M.Sc. FRANCISCO CONDEÑA ALMORA
Presidente



M.Sc. ALEX LÁZARO TINEO BERMÚDEZ
Miembro



Ing. GUILLERMO CARRASCO AQUINO
Miembro



Ph.D. MARLENI CERDA GÓMEZ
Asesor

*A Dios por darme salud y
ser guía en mi camino*

*A mis padres
Roly y Ruth por acompañarme
en cada momento y saber guiarme*

*A mi hermano Roly Fabricio,
por ser siempre un compañero,
amigo y un gran apoyo.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, *alma mater*, centro de *sabiduría y enseñanza*, por brindarme la oportunidad de asimilar en sus aulas los conocimientos para lograr mis objetivos.

A la Escuela Profesional de Agronomía, a su plana de docentes por impartir sus conocimientos y formar parte del crecimiento profesional de cada uno de nosotros.

A la Ph.D. Marhleri Cerda Gómez por la valiosa orientación y asesoramiento, que me permite presentar el trabajo de investigación.

A los Ingenieros Barrantes y Guillermo Carrasco, de quienes recibí su apoyo en la investigación y con materiales de laboratorio.

A la Blga. Doris Raquel Quispe Laura, quien me brindó su apoyo para la materialización del trabajo de investigación.

Al Ing. Joel Arone, quien de igual manera me apoyó en la ejecución del trabajo de investigación, recomendándome con su experiencia de tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	ix
Índice de anexos.....	x
Resumen.....	1
Introducción	2

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Generalidades del palto (<i>Persea americana</i>)	5
1.2.1. Origen e historia del palto	5
1.2.2. Nombres comunes.....	5
1.2.3. Características botánicas y taxonomía	5
1.2.4. Clima.....	6
1.2.5. Suelo.....	7
1.2.6. Agua.....	7
1.3. Variedades del cultivo del palto.....	7
1.3.1. Variedades de palto a cultivar	7
1.3.2. Porta injertos o patrones.....	8
1.4. Enfermedades del Palto (<i>Persea americana</i>).....	8
1.4.1. <i>Dothiorella</i> spp	8
1.4.2. Antracnosis (<i>Colletotrichum</i> sp.)	9
1.4.3. Pudrición de raíces (<i>Cylindrocladium</i> Morg.)	10
1.4.4. Tristeza del palto (<i>Phytophthora cinnamomi</i>)	10
1.5. Patógeno evaluado: <i>Phytophthora cinnamomi</i>	12
1.5.1. Historia del patógeno	12
1.5.2. Clasificación taxonómica.....	13
1.5.3. Estructuras principales del hongo	13
1.5.4. Formación de estructuras y supervivencia de <i>Phytophthora cinnamomi</i>	14

1.5.5. Descripción del patógeno.....	15
1.5.6. Ciclo biológico del patógeno y epidemiología	15
1.5.7. Mecanismos de control y prevención.....	16
1.6. Diatomita.....	18
1.6.1. Tipos de diatomita.....	18
1.6.2. Depósitos de diatomita en el Perú.....	19
1.6.3. Propiedades físicas	21
1.6.4. Composición química	22
1.6.5. Principales usos de la diatomita en la agricultura	23
1.6.6. Comportamiento del silicio en la interacción de planta-patógeno.....	24

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA.....	25
2.1. Ubicación del experimento	25
2.1.1. Ubicación del laboratorio de Examen de Productos Agrícolas	25
2.1.2. Ubicación del vivero	25
2.2. Muestreo y características del suelo empleado	27
2.3. Materiales en estudio	28
2.4. Material biológico	28
2.5. Diseño metodológico y análisis estadístico	28
2.5.1. Factores de estudio.....	28
2.5.2. Descripción de tratamientos.....	29
2.5.3. Distribución de tratamiento.....	29
2.5.4. Duración del trabajo de investigación.....	30
2.6. Instalación y conducción del experimento.....	30
2.6.1. Fase I: Trabajo en laboratorio	30
2.6.2. Fase II: Trabajo en campo.....	30
2.6.3. Elaboración de la escala paramétrica y la descripción.....	32
2.7. Parámetros de evaluación.....	34
2.7.1. Índice de severidad (%).....	34
2.7.2. Altura de la planta	34
2.7.3. Diámetro del tallo.....	34
2.7.4. Peso fresco de raíz, tallo y hojas	34
2.7.5. Peso seco de raíz, tallo y hojas.....	34

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1. Evaluación de severidad de sintomatología en plantones	35
3.1.1. Índice de severidad.....	36
3.2. Altura de planta	42
3.3. Diámetro del tallo.....	44
3.4. Peso fresco y peso seco de la raíz	45
3.5. Peso fresco y seco de hojas y tallo	49
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Composición química de diatomitas en algunos yacimientos peruanos	22
Tabla 2.1. Análisis de caracterización del suelo	27
Tabla 2.2. Descripción de los tratamientos	29
Tabla 2.3. Escala preestablecida	33
Tabla 3.1. Escala de los tratamientos	35
Tabla 3.2. Índice de severidad del tratamiento 1.....	36
Tabla 3.3. Índice de severidad del tratamiento 2.....	36
Tabla 3.4. Índice de severidad del tratamiento 3.....	36
Tabla 3.5. Índice de severidad del tratamiento 4.....	36
Tabla 3.6. Índice de severidad del tratamiento 5.....	36
Tabla 3.7. Índice de severidad del tratamiento 6.....	39
Tabla 3.8. Índice de severidad del tratamiento 7.....	39
Tabla 3.9. Índice de severidad del tratamiento 8.....	39
Tabla 3.10. Índice de severidad general.....	39
Tabla 3.11. Análisis de varianza para la variable de altura por efecto de la aplicación de dosis de biosílice con y sin abonamiento en plantones de palto.....	42
Tabla 3.12. Rango estudentizado de Tukey (HSD) para la altura de la planta	42
Tabla 3.13. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo por efecto de la aplicación de dosis de biosílice con y sin abonamiento en plantones de palto.....	44
Tabla 3.14. Análisis de varianza del peso fresco de la raíz por efecto de aplicación de biosílice con y sin abonamiento en plantones de palto	45
Tabla 3.15. Análisis de varianza del peso seco de la raíz por efecto de aplicación de biosílice con y sin abonamiento en plantones de palto	46
Tabla 3.16. Rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso fresco de raíz	46
Tabla 3.17. Rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso seco de raíz.....	47
Tabla 3.18. Análisis de varianza del peso fresco de hojas y tallo por efecto de la aplicación de biosílice con y sin abonamiento en plantones de palto	49
Tabla 3.19. Análisis de varianza del peso seco de hojas y tallo por efecto de la aplicación de dosis de biosílice con y sin abonamiento en plantones de	

palto.....	50
Tabla 3.20. Rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso fresco de hojas y tallos.....	50
Tabla 3.21. Rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso seco de hojas y tallo.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Estructura morfológica de <i>Phytophthora cinnamomi</i>	15
Figura 1.2. Ciclo de la enfermedad causada por <i>Phytophthora cinnamomi</i>	16
Figura 1.3. Depósitos de origen lacustre	20
Figura 1.4. Depósitos de origen marino	21
Figura 2.1. Ubicación del laboratorio de Examen de Productos Agrícolas	26
Figura 2.2. Ubicación del vivero	26
Figura 2.3. Croquis de los tratamientos en el vivero.....	29
Figura 2.4. Vista frontal del vivero	31
Figura 2.5. Vista lateral del vivero	31
Figura 3.1. Sintomatología de la enfermedad causada por <i>Phytophthora</i> sp. en los tratamientos sin aplicación de biosíllice, con y sin abonamiento	38
Figura 3.2. Síntomatología de la enfermedad causada por <i>Phytophthora</i> sp. en los tratamientos con aplicación de biosíllice (150 kg ha ⁻¹), con y sin abonamiento.....	38
Figura 3.3. Síntomatología de la enfermedad causada por <i>Phytophthora</i> sp. en los tratamientos con aplicación de biosíllice (300 kg ha ⁻¹), con y sin abonamiento.....	39
Figura 3.4. Síntomas de los tratamientos con aplicación de 450 kg ha ⁻¹ de biosíllice.....	40
Figura 3.5. Tendencia de altura (cm) del plantón con y sin abonamiento por efecto de la aplicación de 4 niveles de biosíllice	43
Figura 3.6. Tendencia del diámetro del tallo (cm) del plantón con y sin abonamiento por efecto de la aplicación de 4 niveles de biosíllice	44
Figura 3.7. Tendencia del peso fresco de la raíz (g) del plantón con y sin abonamiento por efecto de la aplicación de 4 niveles de biosíllice	47
Figura 3.8. Tendencia del peso seco de raíz (g) del plantón con y sin abonamiento por efecto de la aplicación de 4 niveles de biosíllice	48
Figura 3.9. Tendencia del peso fresco de hojas y tallo (g) del plantón con y sin abonamiento en las diferentes aplicaciones de biosíllice.....	51
Figura 3.10. Tendencia del peso seco de hojas y tallo (g) del plantón con y sin abonamiento en las diferentes aplicaciones de biosíllice.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Ubicación del Laboratorio de Productos Agrícolas	63
Anexo 2. Ubicación del vivero	63
Anexo 3. Desinfección de semillas de palto	64
Anexo 4. Desinfección del sustrato	64
Anexo 5. Tratamientos instalados en el vivero.....	65
Anexo 6. Preparación de medio a base de semillas de trigo.....	65
Anexo 7. Multiplicación del patógeno en placas con semilla de trigo	66
Anexo 8. Aplicación de biosílice según indica los tratamientos	66
Anexo 9. Inoculación de <i>Phyophthora</i> sp.....	67
Anexo 10. Evaluación de los tratamientos.....	67
Anexo 11. Escala 0, síntomas de INTENSIDAD 0	68
Anexo 12. Escala 1, síntomas de INTENSIDAD 1	68
Anexo 13. Escala 2, síntomas de INTENSIDAD 2	69
Anexo 14. Escala 3, síntomas de INTENSIDAD 3	69
Anexo 15. Escala 4, síntomas de INTENSIDAD 4	70
Anexo 16. Comparación de tratamientos sin abonamiento con el testigo	70
Anexo 17. Comparación de tratamientos con abonamiento respecto del testigo	72
Anexo 18. Medición de altura de la planta	73
Anexo 19. Medición del diámetro de la planta.....	74
Anexo 20. Peso fresco de la parte radicular y aérea de la planta.....	74
Anexo 21. Peso seco de la parte radicular y aérea de la planta	75
Anexo 22. Resultados del tratamiento	76
Anexo 23. Resultados del tratamiento 2	77
Anexo 24. Resultados del tratamiento 3	78
Anexo 25. Resultados del tratamiento 4.....	79
Anexo 26. Resultados del tratamiento 5	80
Anexo 27. Resultados del tratamiento 6.....	81
Anexo 28. Resultados del tratamiento 7	82
Anexo 29. Resultados del tratamiento 8.....	83

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar las dosis de biosíllice en la tolerancia a *Phytophthora* sp. en plántones de palto con y sin abonamiento, se realizó el trabajo de investigación, conduciendo ocho tratamientos: T1 (sin biosíllice - sin abonamiento), T2 (150 kg ha⁻¹ de biosíllice - sin abonamiento), T3 (300 kg ha⁻¹ de biosíllice - sin abonamiento), T4 (450 kg ha⁻¹ de biosíllice - sin abonamiento), T5 (sin biosíllice - con abonamiento), T6 (150 kg ha⁻¹ de biosíllice - con abonamiento), T7 (300 kg ha⁻¹ de biosíllice - con abonamiento) y T8 (450 kg ha⁻¹ de biosíllice - con abonamiento), los que fueron dispuestos en el Diseño Completamente Randomizado (DCR), con un total de 32 unidades experimentales, quienes se inocularon con *Phytophthora* sp., para evaluar el efecto del patógeno en los plántones, cuyos síntomas fueron evaluados en base a una escala previamente elaborada. Se concluye que el aporte de 450 kg ha⁻¹ de biosíllice sin abonamiento (T4), permite resistir más el ataque de *Phytophthora* sp., pues mostró síntomas de incidencia patogénica de menor intensidad respecto a los demás tratamientos, y el crecimiento de los plántones tuvo mayor desarrollo, al mostrar mayor altura (19.1 cm), diámetro de tallo (0.45 cm), peso fresco de la parte aérea y radicular (19.19 y 10.34 g respectivamente), peso seco de la parte aérea y radicular (7.43 y 4.86 g respectivamente), respecto de todos los demás tratamientos en quienes el patógeno tuvo mayor incidencia. El estudio demuestra aun cuando no es definitivo que es factible el uso de biosíllice en el fortalecimiento de las plantas para resistir el ataque de *Phytophthora* sp. lo que es de gran importancia no sólo por la disminución de la incidencia del patógeno, también por la implicancia en el medio ambiente.

Palabras clave: *Phytophthora* sp., diatomita, incidencia, biosíllice, abonamiento.

INTRODUCCIÓN

Siendo el palto (*Persea americana*), un cultivo de gran importancia económica, debido a su demanda triplicada en la última década en países como Estados Unidos, europeos y asiáticos. Adaptado en Perú, debido a las condiciones climáticas en las diversas regiones, se masifica su cultivo, tal como se observa en diferentes valles de Ayacucho. Sin embargo, el palto, implica un manejo técnico, con actividades nutricionales adecuadas, riego y sanidad. Respecto a este último, SENASA (2017) refiere que “en las dos últimas décadas, la pudrición de raíces producidas por *Phytophthora cinnamomi* ha causado pérdidas económicas importantes a los productores del país”. Se trata de una de las enfermedades de mayor escala en el mundo debido a que ocasiona pérdidas entre 30 y 50% de las plantas en vivero en los primeros años de establecimiento, donde su presencia evidencia necrosis y pudrición parcial o total de las raicillas (Toapanta, Morillo, & Viera, 2017).

Las propuestas de control, son diversas desde uno integral que parte por drenaje, control de agua, selección de patrones, uso de organismos antagónicos, hasta control químico como fungicidas y fosfonatos, no obstante a ello, continúa siendo un problema de grandes proporciones. Se ha evidenciado que el control de *Phytophthora cinnamomi* es factible con el uso del silicio, el mismo que ofrece protección física y química a la planta, dado que se ubica en las paredes de la raíz y debajo de la cutícula, de manera que impide el ingreso y/o penetración de patógenos, además de provocar la estimulación de fitoalexinas, ayudando a limitar la dispersión del patógeno (Wang et al., 2017). Al respecto Bekker et al. (2004) y Rassolizadeh et al. (2018) refieren que el uso de silicio permite fortalecer los tejidos de las plantas, contribuyendo a disminuir los efectos de la *Phytophthora cinnamomi*, en cultivo de palto y soya respectivamente, todos ellos empleando fuentes solubles del silicio. El trabajo de investigación propone utilizar una fuente natural de silicio, la diatomita (biosílice), compuesto de 90% de sílice, en dos

condiciones de nutrición mineral, a fin de evaluar el grado de tolerancia conferida a las plantas de palto frente al ataque del patógeno, con los objetivos:

Objetivo general

Evaluar las dosis de biosílice en la tolerancia a *Phytophthora cinnamomi* de plantones de palto con y sin abonamiento.

Objetivos específicos

1. Conocer la dosis de biosílice de mayor tolerancia a *Phytophthora cinnamomi* de plantones de palto sin abonamiento.
2. Conocer la dosis de biosílice de mayor tolerancia a *Phytophthora cinnamomi* de plantones de palto con abonamiento.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Bekker et al. (2005) en su trabajo de investigación titulado “Effects of soluble silicon against *Phytophthora cinnamomi* root rot of avocado (*Persea americana* Mill.) nursery plants”, aplicó silicio soluble junto a ácido fosfórico al 1% en dosis de 20 ml antes y después de la inoculación de *Phytophthora cinnamomi*, obtuvo como resultado que la aplicación de silicio soluble contribuye con la mayor formación de peso fresco de raíz y parte aérea.

Anjos et al. (2017) en el artículo científico titulado “Potential of silicon fertilization in the resistance of chestnut plants to ink disease (*Phytophthora cinnamomi*)” las plantas de castaño fueron tratadas con diferentes dosis de silicio en 0, 15 y 30 días después de la inoculación del patógeno. Se obtuvo mayor tasa de supervivencia en las plantas tratadas con silicio por la presencia de fitolitos en los tejidos radiculares, que actúan como barrera mecánica y no deja desarrollarse a las estructuras del patógeno.

Pillpe (2020), en su trabajo de investigación titulado “Niveles de diatomita en la supresión in-vitro del crecimiento micelial de dos especies de *phytophthora* sp. 2020” hizo una evaluación in-vitro con diferentes dosis de diatomita en los medios de cultivo, comprobándose que a mayor dosis de diatomita (8%) en el medio de cultivo, la inhibición del patógeno es mayor.

Varas (2021) en su trabajo de investigación titulado “Efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*)” realizó una evaluación con diferentes dosis de silicio en el suelo, comprobando el control de *Phytophthora capsici* con una dosis de 500 kg/ha de silicio, viéndose los síntomas en las hojas y frutos.

Coelho et al. (2021) en su artículo científico titulado “Metalaxyl-M, phosphorous acid and potassium silicate applied as soil drenches show different chestnut seedling performance and protection against *Phytophthora* root rot” planteó como un medio de control de *Phytophthora* en Castaño, la aplicación de tres productos que son: Metalaxil, ácido fosforoso y silicato de potasio. Concluye que estos productos disminuyen su mortalidad desde un 23% hasta un 67% en las plantas en evaluación.

1.2. GENERALIDADES DEL PALTO (*Persea americana*)

1.2.1. Origen e historia del palto

Según Teliz (2000); deduce que el cultivo del palto, conocido así mismo como aguacate es nativo de América, en México, de Centro América hasta Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú. Se registró algunos restos fósiles de aguacate en el Valle Teuacan en 8000 a.C. Otro aporte del autor, menciona que los arqueólogos encontraron semillas de *Persea* en Perú y fueron enterradas junto a momias incas que datan aproximadamente del año 750 a.C. y es desde estos momentos que se propaga a otros lugares del mundo.

1.2.2. Nombres comunes

En países como México, Colombia, Estados Unidos y España, es más conocido como aguacate y avocado. Mientras en países como Argentina, Chile, Uruguay, Bolivia y Perú, comúnmente se le conoce como palta (Franciosi, 2003).

1.2.3. Características botánicas y taxonomía

El árbol del palto alcanza una altura promedio de 20 metros. En cuanto a plantaciones comerciales, el crecimiento no es mayor de 5 metros, dando facilidad al manejo agronómico, que implica control fitosanitario, poda, cosecha, fertilización, entre otros. Es una especie vegetal con tronco grueso, con hojas alargadas y follaje denso. El palto, es un cultivo perenne, por lo que se cultiva durante todo el año (Rodríguez, 1982).

El fruto de esta especie vegetal es una drupa, tiene forma de pera, color verde y violeta/negro, cáscara rugosa con pulpa entre verde claro, un hueso central grande. Existe entre 400 variedades de palto, por tal motivo se encuentran frutos con formas y pesos diferentes (Rodríguez & Sánchez, 2005).

Reino : Plantae
División : Magnoliophyta
Clase : Magnoliopsida
Orden : Laurales
Familia : *Lauraceae*
Género : *Persea*
Especie : *Persea americana*

1.2.4. Clima

Franciosi (2003), menciona que, es el clima un aspecto determinante para poder decidir en donde se dará la plantación comercial del palto. Los factores que se analizarán y que van a interactuar son: temperatura, humedad relativa, luminosidad, precipitaciones pluviales y vientos. La mejor temperatura para un buen desarrollo del ciclo floral para cultivos de palto como Fuerte, es de 25°C como máxima y más de 12°C como mínima nocturna, mientras que de la variedad Hass tiende a adaptarse a una máxima de 20°C y mínima de 10°C. No existen estudios que demuestren foto periodo en este cultivo. Al ser la humedad relativa menor a 50%, los líquidos estigmáticos se desecan, por tal motivo la germinación de los granos de polen queda afectado. Cuando la humedad es elevada, presentará condiciones adecuadas para el desarrollo de enfermedades fungosas, las pudriciones comienzan por el pedúnculo. El cultivo de palto requiere altas precipitaciones, pero repartidas en el tiempo, mas no debe haber exceso continuo por problemas de drenaje en el suelo y caída de frutos antes de la madurez. Para que se dé una polinización, la velocidad del viento no debe superar 10 km/h.

Según INTAGRI (2019), la temperatura depende de factores como altitud y microclimas. El cultivo del palto alcanza su óptimo desarrollo a una temperatura de 20°C, requiriendo una temperatura mínima entre 10°C a 17°C y como máximo entre 28°C a 33°C. El palto tiene necesidad de precipitación con un régimen entre 1000 a 2000 milímetros de lluvia, durante época productiva, el riego localizado favorece el período productivo, de esta manera incrementando en un 30% el rendimiento y mejorando las cualidades organolépticas de los frutos. El terreno que está destinado a la plantación del palto debería contar con una protección natural contra el viento, de esta manera evitar daños del árbol.

1.2.5. Suelo

Los suelos más recomendados para el cultivo de palto, son de textura ligera, suelos profundos y bien drenados, con un pH neutro o ligeramente ácidos (5.5 a 7). Así mismo puede cultivarse en suelos arcillosos o franco arcillosos, siempre y cuando exista buen drenaje, evitando la presencia de enfermedades de raíz (Franciosi, 2003).

El cultivo de aguacate tiene un requerimiento de 2.5 a 5% de materia orgánica, con el fin de proporcionar buena estructura y evitar asfixie radicular de la planta. Son los suelos de textura franco y de consistencia media los más adecuados para el palto. En cuanto al pH óptimo es entre los valores de 5.5 a 7, tomando de esta forma la mayor cantidad de nutrientes. Es una planta muy sensible a la salinidad, por el cual los valores de conductividad eléctrica deben ser menores a 2 o 3dS/m (INTAGRI, 2019).

1.2.6. Agua

Dependiendo del estado de desarrollo en que se encuentre el palto, variará la cantidad de agua. Las plantas jóvenes, pueden recibir como mínimo 50 l/planta/riego y en planta adulta recibe unos 150 l/planta/riego (Rodríguez, 1982).

La conductividad eléctrica del agua, es un factor importante en cuanto a la producción y calidad del fruto, porque refleja su nivel de salinidad. A mayor concentración de cloruros, mayor es la salinidad en el agua (Lemus et al., 2010).

1.3. VARIEDADES DEL CULTIVO DEL PALTO

1.3.1. Variedades de palto a cultivar (Huamanguilla, 2021)

Palta fuerte, es una palta de color verde, siendo una de las más comerciales dentro del mercado nacional, por su contenido de aceite que fluctúa entre 18 y 22%. Los frutos presentan aspecto piriforme, de tamaño medio es de 10 a 12 cm y su ancho de 6 a 7 cm. La cáscara es áspera de manera ligera que se separa con facilidad de la carne (pág. 8).

Palta Hass, es una palta de color verde oscuro violáceo, una de las más exquisitos para exportación, de forma oval piriforme. Tamaño medio (200 a 300 g), gran calidad, piel gruesa, rugosa, se pela con facilidad. La pulpa no tiene fibra y su contenido de aceite fluctúa entre 18 y 22%. La semilla es de tamaño pequeño, forma esférica y adherida a la pulpa. El fruto puede permanecer en el árbol un cierto tiempo después de alcanzar la

madurez sin perder su calidad. El árbol es muy sensible al frío y muy productiva (pág. 8).

1.3.2. Porta injertos o patrones (Huamanguilla, 2021)

Zutano, variedad híbrida mexicana por guatemalteca, de grupo B, fruto de forma oval o piriforme de peso de 200 a 400 g, de calidad regular, pobre, muy productora, más utilizado como polinizaste de Hass (pág. 9).

- **Duke**, raza mexicana, son los más resistentes al frío y enfermedades como *Phytophthora cinnamomi*, pero sensible a la salinidad, gran uniformidad de plantas y muy vigorosas (pág. 9).
- **Antillano**, tolerantes a la salinidad, clorosis y al exceso de caliza en el suelo, sensible a las bajas temperaturas y a la pudrición radicular (pág. 9).
- **Topa topa**, raza mexicana, tolerante a bajas temperatura y enfermedades como la pudrición radicular causada por *Phytophthora cinnamomi*, sensible a la salinidad y muy vigorosas, ubicado en zonas de valles interandinos por su tolerancia a la saturación del agua. Se debe sembrar en terrenos sueltos o franco arenosos, para una fácil evacuación del agua (Tarazona, 2017)

1.4. ENFERMEDADES DEL PALTO (*Persea americana*)

La conjugación de cuatro factores, hace que se presente una enfermedad en cualquier cultivo, siendo estos: agente fitopatógeno, hospedero susceptible, medio ambiente y la intervención del ser humano realizando prácticas inadecuadas. A esta conjugación, se le conoce como “tetraedro de las enfermedades” (Torres, 2014). A continuación, se hace mención algunas enfermedades de mayor importancia del palto.

1.4.1. *Dothiorella* spp

Es un patógeno polífago, es decir, afecta a diferentes especies frutales, como son el palto, nísperos, manzano, nogal, peral y durazneros (Tamayo, 2007).

a) Sintomatología

Se manifiesta en cualquier parte del fruto, siendo con mayor frecuencia en la inserción del pedúnculo con el mismo. Es aquí donde se observa una lesión, provocando un color marrón oscuro en la cáscara, avanzando progresivamente hacia el centro del fruto (Tamayo, 2007).

b) Condiciones que la favorecen

Los puntos de entrada de esporas de hongos fitopatógenos, son los cortes de poda y heridas en la madera. La alta humedad favorece a la progresión de esta enfermedad (Torres, 2014).

c) Prevención y control

Torres (2017), recomienda que, se debe mantener un monitoreo periódicamente de los árboles durante toda la temporada, a fin de detectar ramas enfermas y secas que constituyen fuente de inóculo, y podarlas de inmediatamente. Así mismo, es fundamental eliminar restos de la poda del huerto. Mantener los árboles sin estrés ambiental y nutricional.

1.4.2. Antracnosis (*Colletotrichum* sp.)

El hongo fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides* es el agente causal de antracnosis en el palto, sobretodo de la variedad Hass, el cual se manifiesta en etapas tempranas del desarrollo del fruto (Tapia et al., 2020). Este hongo fitopatógeno puede infectar entre 20 y 28°C, en ambientes con humedad relativa de 80 a 100% y en un pH entre 5.5 a 7 (Torres, 2017).

La Antracnosis en el palto, disminuye su calidad de producción, al generar daños directos en el fruto y siendo limitante para su comercialización, estadísticamente disminuye un 20% en su producción (Ávila, Silva, & Téliz, 2007).

a) Sintomatología

Las hojas presentan manchas como decoloraciones amarillas y luego se tornan marrón, estos se funden en grandes áreas muertas. En las puntas de las hojas y en los márgenes se presenta necrosis entre venas de las hojas. El daño en los frutos es de mayor interés, sin embargo, el daño no se da hasta después de la cosecha (Torres, 2017).

b) Condiciones que la favorecen

La alta temperatura, sobre los 15°C en invierno, escasas prácticas culturales en el huerto y una excesiva manipulación de la fruta durante y después de la cosecha aumentan las pérdidas (Torres, 2014).

c) Prevención y control

Torres (2017) señala que, entre las prácticas de prevención destaca, poda de ramas muerta y dañadas, eliminar hoja muertas que se encuentran entrelazadas en el dosel, podar ramas que estén a menos de 60 cm del suelo y así favorecer una mejor circulación de aire reduciendo la humedad dentro de la canopia. Una alta temperatura en post cosecha es crítica para el desarrollo de la antracnosis.

1.4.3. Pudrición de raíces (*Cylindrocladium Morg.*)

La muerte de plántones de palto a causa de este hongo fitopatógeno (*Cylindrocladium* sp.) se da en la fase de vivero (Tamayo, 2007).

a) Sintomatología

Presenta marchitez de las hojas apicales, reducido tamaño de las hojas, manchas oscuras y acuosas en el tronco y en menor proporción en ramas, necrosidad en las raíces (Torres, 2014).

b) Condiciones que la favorecen

Suelos saturados con mal drenaje, estrés hídrico, climático y nutricional (Torres, 2014)

c) Prevención y control

Las técnicas más usuales de prevención son, emplear material de siembra sano, ubicar puntos de desinfección de calzado y vehículos en los accesos al cultivo o al vivero. Retirar plantas y ramas afectadas y disponerlas fuera del cultivo o vivero, controlar insectos chupadores (Tamayo, 2007).

1.4.4. Tristeza del palto (*Phytophthora cinnamomi*)

El hongo fitopatógeno de *Phytophthora cinnamomi* es el agente causal de la tristeza del palto, dicho hongo afecta a las raíces de varias especies cultivables, comestibles y ornamentales, se desarrolla principalmente en suelos con excesiva humedad, mal drenaje o textura (Díaz, 2016).

En algunos países la enfermedad se denomina “podredumbre de raíz del palto”, recibe interés por los daños que causa, desde la disminución en rendimiento, pérdida de árboles en huertos y zonas productoras. Muchos productores que se encuentran con este

problema son afectados económicamente, porque limita el desarrollo de la planta, reduce la producción, disminuye la calidad del fruto (Mejía & Ramos, 2003).

a) Sintomatología

Los plántones afectados por esta enfermedad en la etapa de almácigo, pueden llegar a morir antes que el prendimiento del injerto, debido a la necrosis en el cuello del patrón (Tamayo, 2007).

Phytophthora cinnamomi infecta principalmente a las raíces de absorción, las cuales se tornan negras y quebradizas. Algunos de los efectos que produce este fitopatógeno sobre la planta y el fruto son las pérdidas de raíces, por lo tanto afecta la absorción de agua y nutrientes (Torres, 2017).

Las hojas presentan una coloración verde clara o verde amarillenta, un tamaño más reducido y marchitez. A medida que la enfermedad avanza, se produce defoliación y reduce la brotación (Bartoli, 2008).

b) Condiciones que favorecen la enfermedad

El hongo fitopatógeno sobrevive bien a temperaturas medias, entre 21° y 27°C, de igual manera se desarrolla bien en condiciones de alta humedad. Aumenta la susceptibilidad de las plantas al patógeno cuando son sometidos a períodos de sequía, en suelos con pH neutro a ácido, el hongo favorece su desarrollo (Torres, 2017).

c) Microorganismos antagónicos

Castaño et. al (2014) mencionan que, los patógenos habitantes del suelo pueden ser invadidos y parasitados por varios hongos. Los más comunes son del género *Pythium*, son estos los que inhiben el crecimiento y desarrollo de especies de *Phytophthora*. En cuanto a bacterias, son de los géneros *Bacillus*, *Enterobacter*, *Pseudomonas* y *Pantoea*.

d) Prevención y control

Es muy importante el buen manejo y control de riego y drenaje, de esta manera evitar excesos y restricciones de agua. En cuanto a control químico se debe usar fungicidas registrados para la especie como Metalaxyl, Fosetyl-Al, a las dosis recomendadas en la etiqueta. Se recomienda realizar prácticas que favorezcan el contenido de materia

orgánica, con el cual se incentiva a microorganismos benéficos como *Trichoderma* spp. y otros (Torres, 2017).

1.5. PATÓGENO EVALUADO: *Phytophthora cinnamomi*

Es un microorganismo del suelo perteneciente a la clase de los Oomycetes en el reino Chromista (Hardy et al., 2001). Su hábitat es el suelo, lo que causa la pudrición de raíces de muchos cultivos como hortícolas, ornamentales y forestales, además causa pudrición de los frutos (Castaño & Leal, 2018). Tiene una supervivencia de hasta seis años en suelos húmedos, mediante estructuras como oosporas, clamidosporas o esporangios, las cuales tienen resistencia a factores ambientales adversos. Dichas esporas tienen la capacidad de movilizarse por sí mismas en el suelo y son esparcidas por el agua de escorrentía y riego, principalmente en suelos con mal drenaje (Bartoli, 2008).

Los daños afectan a árboles de todas las edades, desde plantones en vivero hasta árboles de gran porte, destruyendo sus raíces, las cuales los alimentan (Hardy et al., 2001).

Este microorganismo del suelo ha causado grandes pérdidas económicas y ecológicas a nivel mundial. (Pegg et al., 2002).

1.5.1. Historia del patógeno

Phytophthora cinnamomi se describió por primera vez en Sumatra en 1922 como el causal del chancro de la raya en el árbol de canela. Se considera como el patógeno *Phytophthora* de mayor importancia de los árboles forestales, también es destructivo en plantas ornamentales leñosas, especialmente rododendros, cultivos de huertos, incluido el palto (Erwin & Ribeiro, 1996).

Se extendió por todo el mundo y sigue siendo muy destructivo en los bosques de Australia, los países mediterráneos, México y el sureste de los Estados Unidos, por tal motivo sigue siendo un motivo de gran preocupación a nivel mundial (Erwin & Ribeiro, 1996).

Según SENASA (2017), el patógeno *Phytophthora cinnamomi* Rands tiene la capacidad de infectar árboles de cualquier edad, produciendo un decaimiento general de la parte aérea como una marchitez, es por tal motivo que se denomina tristeza, se caracteriza por

tener hojas más pequeñas que lo normal, verde pálido y frutos pequeños que no se desarrollan por completo.

Así mismo presentan defoliación, ramas secas, en el suelo se presenta pudrición de las raíces y finalmente la muerte del árbol (Erwin & Ribeiro, 1996).

1.5.2. Clasificación taxonómica

La taxonomía establecida de Peronosporomycetes (Oomycetes) ha cambiado, especialmente después de la incorporación de técnicas moleculares modernas para estudios filogenéticos. Estos estudios están dando lugar a importantes consecuencias evolutivas y taxonómicas de los Oomycetes (Marulanda, 2017)

Reino	: Chromista (Stramenopila)
Filo	: Oomycota
Clase	: <i>Peronosporae</i> (<i>Oomycetes</i>)
Orden	: <i>Peronosporales</i>
Familia	: <i>Peronosporaceae</i>
Género	: <i>Phytophthora</i>
Especie	: <i>P. cinnamomi</i>

1.5.3. Estructuras principales del hongo

P. cinnamomi posee estructuras especializadas que da la capacidad de dispersión y resistencia a condiciones adversas en el ambiente. El hongo fitopatógeno se encuentra en el suelo y sobrevive en forma de clamidosporas o como micelio latente en restos vegetales infectados. En condiciones favorables, presenta la fase asexual, en la cual germinan esporangios que dan origen a zoosporas biflageladas. En la rizosfera de la planta se forman los esporangios que aumentan rápidamente el inóculo en el suelo en un período de tiempo corto (Marulanda, 2017). Las principales estructuras se mencionan a continuación.

- **Micelio.** Zentmeyer (1977) menciona que, el micelio es hialino, filamentoso, cenocítico y algunas veces pseudoseptado, ya que cuando transcurre el tiempo se pueden apreciar carentes de protoplasma y a veces aparecen septas.
- Las hifas con hinchazones son una característica diferencial, estas adquieren un aspecto coraloide y ramificado (Marulanda, 2017).

- **Clamidosporas.** Zentmeyer (1977) menciona que, las clamidosporas son las estructuras reproductivas asexuales que se pueden diferenciar de los hinchamientos de las hifas por presentar estructuras esféricas con paredes delgadas o gruesas.
- **Esporangios.** Zentmeyer (1977) menciona que, los esporangios no son papilados y no son caducos con formas comúnmente elipsoides a ovoides.
- Son estructuras, muy importantes, ya sea por su rol en la reproducción asexual como por su gran variabilidad en genes y tamaños, y permiten la identificación de las diferentes especies (Giorgi, 1993).
- **Zoosporas.** Las zoosporas son reniformes y biflageladas, frágiles y de vida corta. Se mueven en medio acuáticos a través de sus flagelos y su movimiento se orienta hacia las raíces como sitios favorables para la infección (Zentmeyer, 1977) (Marulanda, 2017).
- **Oosporas:** La oospora es el resultado de la interacción del oogonio, que es generalmente esférico a piriforme y ubicado en el ápice de una hifa lateral, con el anteridio, que corresponde a una hifa engrosada y multinucleada (Giorgi, 1993).

1.5.4. Formación de estructuras y supervivencia de *Phytophthora cinnamomi*

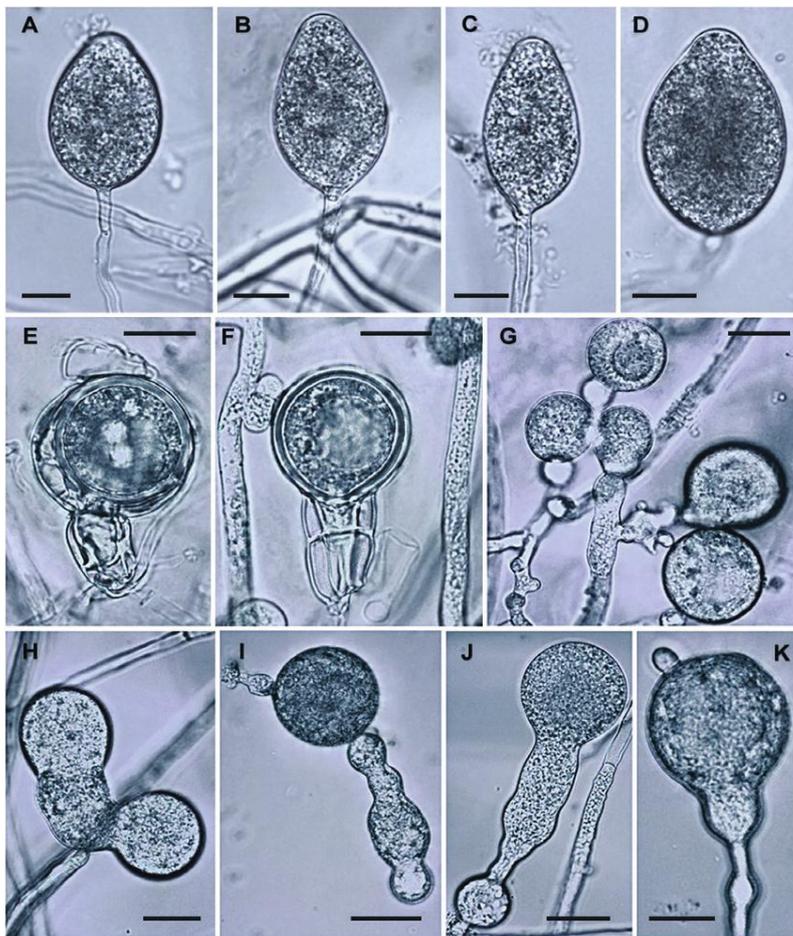
La *Phytophthora cinnamomi* forma diferentes estructuras que están involucradas en el desarrollo de la enfermedad y en la supervivencia del Oomycete: que vienen a ser los esporangios, clamidosporas y oosporas. Las zoosporas que es la unidad primaria, tienen la función de causar nuevas infecciones en raíces, son transportadas por el agua de lluvia o de riego. Son atraídas por quimiotaxia a las raíces de palto donde germinan, penetran e inician la pudrición radicular. Los factores que limitan la supervivencia son: carencia de agua, bajas temperaturas y competencia con microorganismos antagonistas. La supervivencia de especies de *Phytophthora* puede ser en forma de micelio, esporangios, quiste, clamidosporas y oosporas. El micelio es un propágulo muy vulnerable, de fácil destrucción por bacterias, por ello el período de supervivencia varía de 1 a 60 días. Mientras que para esporangios de 3 a 42 días. En relación a las clamidosporas, por su gruesa pared y tolerancia a humedad mínima la sobrevivencia es 84 a 365 días, las oosporas, pueden permanecer viables más de 365 días (Vidales, 2002).

1.5.5. Descripción del patógeno

Micelio toruloso con hifas de hasta 8 μm de espesor, hinchazón de hifas en racimos, típicamente esféricas, con un diámetro promedio de cultivo de 42 μm . Los esporangios son delgados, de 3 μm . Los esporangios son ampliamente elipsoide a ovoide, 57 x 33 μm , hasta 100 x 40 μm , sin papila con ligero engrosamiento apical, los cuales se forman únicamente en solución acuosa de extracto de suelo. Las clamidosporas son usualmente esféricas, de pared gruesa, de 18-48 μm de diámetro (Mamani, 2017, pág. 17) (Magnano et al., 2018)

Figura 1.1.

Estructura morfológica de Phytophthora cinnamomi



Nota. Esporangios no papilados (A-D); gametangia y oosporas (E-F), hinchazón de hifas (G-K); clamidospora de pared delgada (G). Barra de escala: 20 μm . Tomado de *Phytophthora cinnamomi* Involved in the Decline of Holm Oak (*Quercus ilex*) Stands in Southern Italy por Magnano et al., 2018.

1.5.6. Ciclo biológico del patógeno y epidemiología

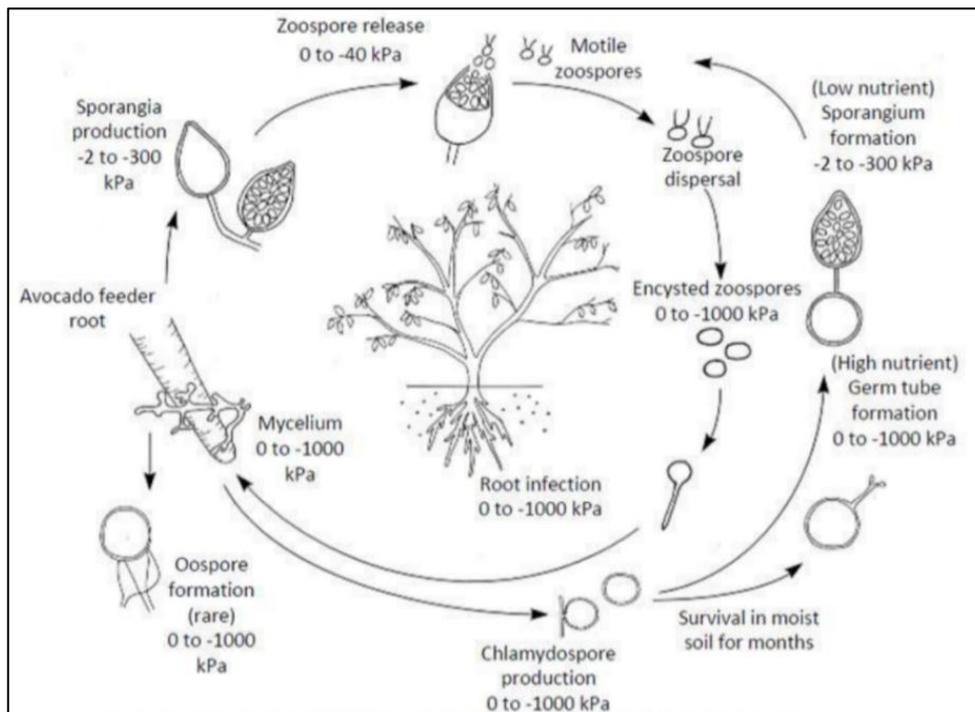
Las zoosporas, que son las principales estructuras de infección, son liberadas por los esporangios y con apoyo de los flagelos, van en dirección a las raíces jóvenes del

hospedante, adhiriéndose a las raicillas por medio de una secreción adhesiva y luego se enquistan para finalmente germinar, entre veinte a treinta minutos después de la infección, forman tubos germinativos que penetran las células de la raíz. Pasadas seis horas después de la penetración, el tejido alimentador de la raíz muere. El oomycete crece dentro de ese tejido necrótico por algunos días, cuando se agotan las reservas alimenticias del tejido de la raíz, dicho patógeno, puede dar lugar a dos tipos de esporas, que son esporangios y clamidosporas. Después de dos a tres días de la infección, la *Phytophthora cinnamomi* libera más zoosporas en la rizósfera, y así acelerando la inoculación (Guerrero & Ramos, 2016).

Las clamidosporas generadas, sobreviven en un período bastante considerable en las raíces y el suelo, produciendo tubos germinativos a temperaturas mayor a 15°C (Zentmeyer, 1977)

Figura 1.2.

Ciclo de la enfermedad causada por Phytophthora cinnamomi



Nota. El gráfico representa el cómo se da el ciclo de la enfermedad. Tomado de *Prevención y manejo de la pudrición radical del aguacate* (p.6) por Guerrero & Ramos, 2016.

1.5.7. Mecanismos de control y prevención

Medidas desarrolladas para reducir o eliminar el inóculo inicial del cual se inicia la pudrición de raíces en los viveros o campo (Castaño & Leal , 2018).

- **Control cultural y biológico:** uno de los métodos más eficientes ha sido la siembra de las plántulas de palto en montículos, aproximadamente de 1 a 1.5 m de diámetro y 0.5 a 1 m de altura, siendo más utilizados en suelos arcillosos, planos y poco profundos. En suelos infestados con *Phytophthora*, se recomienda hacer los riegos a intervalos más largos, evitando el exceso de humedad. Otras prácticas culturales utilizadas son las coberturas vegetales y la incorporación de materia orgánica al momento de la siembra. (Lea et al., 2014).

La materia orgánica en el suelo puede reducir la pudrición de las raíces del aguacate por: incremento de la actividad microbiana nativa en el suelo suprimiendo la población del patógeno a través de la competencia o inhibición específica; liberación de compuestos tales como dióxido de carbono, amonio, nitritos, saponinas o enzimas que generalmente son tóxicos a *P. cinnamomi*. (Castaño & Leal, 2018).

Mantener niveles altos de microorganismos en el suelo, puede reducir la Pudrición de raíces del aguacate a través de la destrucción de inóculo inicial de *P. cinnamomi*. Muchos microorganismos cuyo hábitat es el suelo, tales como: *Myrothecium roridum*, *Trichoderma harzianum*, *Epicoccum purpurascens*, *Catenaria anguillae* Sorokin, *Humicola fuscoatra* Traaen, *Anguillospora pseudolongissima*, *Hypochoytrium catenoides*, *Myrothecium verrucaria*, *Streptomyces griseoalbus*, *Micromonospora carbonacea*, *Streptomyces violascens* Preobrazhenskaya y *Sveshnikova* y *Ceraceomyces tessulatus*, han demostrado ser inhibitorios de *P. cinnamomi* vía competencia, antibiosis y parasitismo (Castaño & Leal, 2018)

- **Control químico:** en la década de los 70s se desarrollaron los primeros fungicidas sistémicos con potencial para el control de la pudrición de las raíces en palto, cuyos ingredientes activos son el metalaxil y fosetil-Al, extremadamente activos contra *P. cinnamomi*, y su efecto principal es reducir la tasa de desarrollo de la enfermedad. (Castaño & Leal, 2018).

El interés por el fosfito se reactivó cuando se demostró que un producto comercial (una sal de fosfonato de aluminio denominada fosetil-Al) se movía desde las hojas hacia las raíces por el floema en forma de fosfito y proporcionaba control de algunas enfermedades radicales. Se ha demostrado que el fosfito en las raíces inhibe a especies de *Phytophthora* y también estimula los sistemas de defensa contra patógenos de las plantas. (Castaño & Leal, 2018).

Bajo antecedentes de investigación sobre la sílice como controlador orgánico del hongo fitopatógeno en estudio. Se deduce que produce enzimas de la planta (Samuels et al. 1993), mejora la capacidad de resistencia de las plantas a la toxicidad de micronutrientes y otros metales (Bent, 2007), el silicio se deposita bajo de la cutícula y en las paredes de células epidérmicas, lo cual limita pérdidas de agua y no deja desarrollarse a las hifas de los hongos (Sociedad Española de Productos Húmicos S.A. [SEPHU], 2012). En los próximos párrafos, se explica la fuente de sílice que se utilizó para el control de *Phytophthora cinnamomi* en el presente trabajo de investigación.

1.6. DIATOMITA

La diatomita es una roca silíceas, sedimentaria de origen biogénico, principalmente está constituida por restos fosilizados de las frústulas de las diatomeas, presentando diversos grados de consolidación (Dirección General de Desarrollo Minero [DGDM], 2017).

Las diatomitas son prolíficas y microscópicas algas acuáticas unicelulares, del género de las bacilariaceas que viven tanto en el mar como en aguas dulces y saladas expuestas al aire y a la luz. Éstas poseen dos valvas silíceas situadas dentro de la capa externa del plasma. El tamaño de la valva de la diatomita varía según la especie, aproximadamente entre 5 y 150 μm de diámetro (Saldarriaga, 2009).

Este organismo, en todos sus géneros y especies, tiene la capacidad de extraer sílice de su hábitat natural acuoso formando una estructura de concha o valva, la cual consiste principalmente en SiO_2 , que inicialmente se encuentra como ácido sílico coloidal en la pared celular de las diatomitas vivas (Verdeja, Ayala, & Vasquez, 1993).

1.6.1. Tipos de diatomita

Según el color en relación a su composición, se puede clasificar en tres tipos comerciales (Saldarriaga, 2009):

- Diatomita extra: son de color blanco con apariencia limpia.
- Diatomita de primera: de colores muy blanquecinos.
- Diatomita de segunda: con colores grisáceos o amarillentos blanquecinos.

La diatomita se ofrece en tres grupos de presentaciones con diferentes tamaños de partículas (Espinoza, 2007 citado en Caballero & Zuni, 2017)

- Natural: Es la forma natural de la diatomita en el sentido que no contiene ningún agente externo.
- Calcinados: Se obtienen por calcinación directa sin agente químico.
- Calcinados con fundente: Se obtienen por calcinación, se le adiciona un compuesto químico que actúa como agente fundente y genera partículas de mayor tamaño y más permeable.

1.6.2. Depósitos de diatomita en el Perú

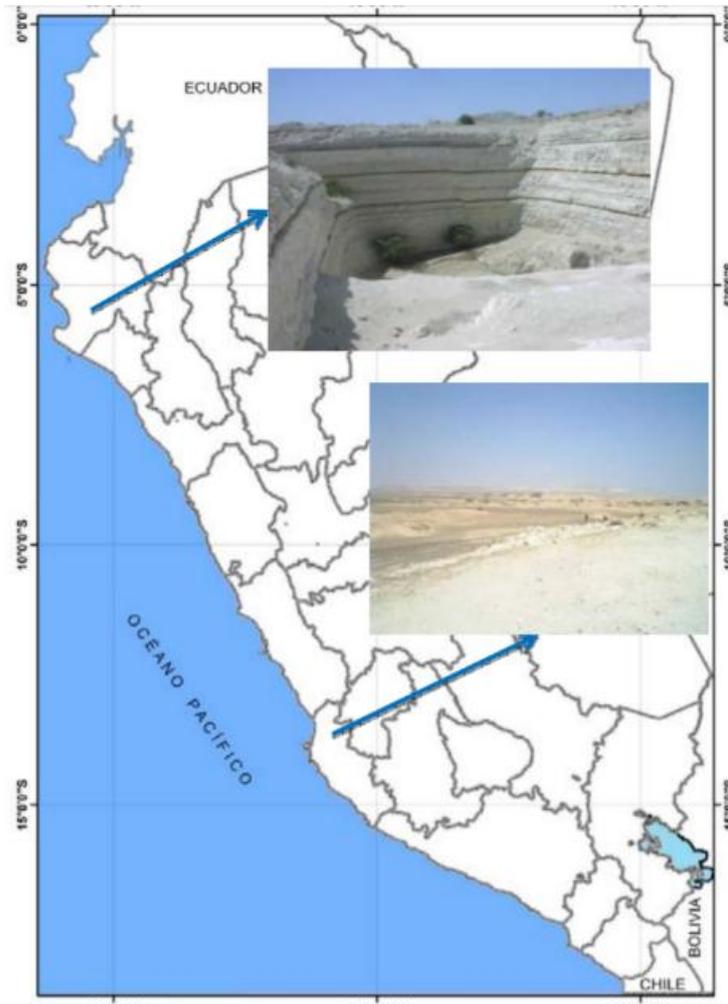
Estudios e investigaciones realizadas en los últimos años, confirman determinados depósitos continentales en la región interandina y en algunos puntos de la costa peruana, que se formaron durante el Terciario Superior, donde se favorecía el ambiente para la proliferación de las diatomitas (Verdeja et al., 1993). Según Verdeja et al. (1993) los depósitos de diatomita en el Perú son los siguientes.

a) Depósitos de origen marino

- Piura, Yacimiento de Bayóvar. Está ubicado en el desierto de Sechura (Piura). Con las siguientes coordenadas: Longitud Oeste 80'50' y Latitud Sur 06"05', precisando que las cotas del terreno se encuentran comprendidas entre los 22,5 m s. n. m. y los 480 m s. n. m. En el desierto de Sechura se han localizado rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuya secuencia estratigráfica abarca cronológicamente desde el Paleozoico Superior hasta el Cuaternario Reciente. El sistema Terciario lo constituyen los sedimentos marinos de mayor desarrollo en la cuenca de Sechura, y está conformado por las formaciones del Eoceno y Mioceno (pág. 122).
- Ica, Cuenca de Ocucaje. El yacimiento de Ocucaje se encuentra ubicado en La Pampa, distrito de Santiago, en Ica. Tiene un área de 6 Km, con las siguientes coordenadas: Longitud Oeste 75"37' y Latitud Sur 14"22'. Las cotas del terreno se encuentran comprendidas entre los 300 y los 400 m s. n. m. (pág. 123).

Figura 1.3.

Depósitos de origen marino



Nota: Representa los depósitos de diatomita en Ica y Piura. Tomado de *Diatomitas en el Perú, Características y aplicaciones* por Ramírez, 2010.

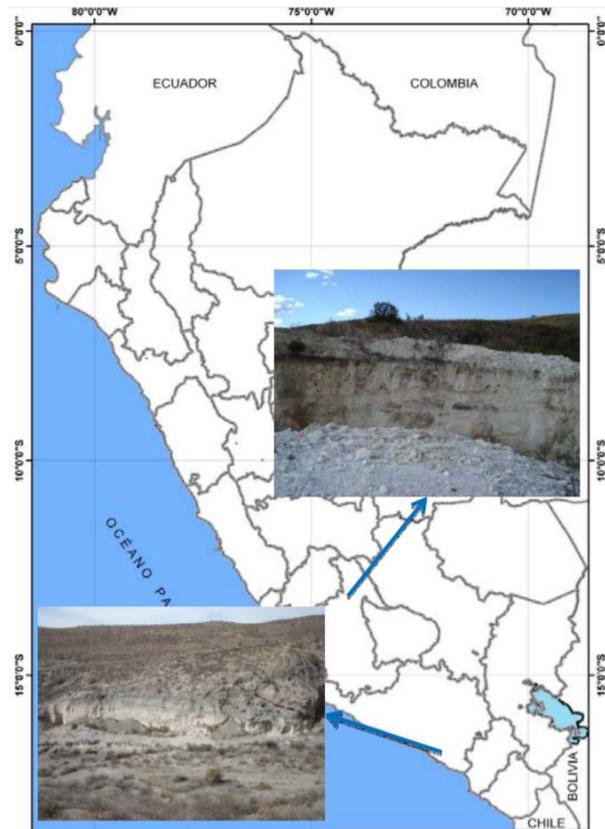
b) Depósitos de origen lacustre

- Ayacucho: Se encuentra ubicado en la ciudad de Ayacucho, en los distritos de Carmen Alto (Quicapata), Tambillos y Quinoa (Moya), las diatomitas forman parte de la Formación Ayacucho. Todas estas áreas pertenecen a la provincia de Huamanga. Dicho yacimiento está constituido por sedimentos de ambiente lacustre, interestratificados con horizontes de tobas y coladas basálticas. Las reservas del yacimiento de Ayacucho se estiman en más de 5 millones de toneladas, quedando aún varias áreas por explorar donde se sabe de la existencia de diatomitas (págs. 123-124).
- Arequipa: Capas de diatomita alternan con sedimentos lacustres y cenizas volcánicas. (pág. 124).

- Tacna: Capas de diatomita alternan con sedimentos lacustres y cenizas volcánicas. (pág. 124)

Figura 1.4.

Depósitos de origen lacustre



Nota: Representa los depósitos de diatomita en Ayacucho y Arequipa. Tomado de *Diatomitas en el Perú, Características y aplicaciones* por Ramírez, 2010.

1.6.3. Propiedades físicas (DGDM, 2017)

- En el aspecto macroscópico, es una roca purulenta, fina y porosa con aspecto margoso.
- Tiene un color blanco brillante (en el caso de alta pureza). Pueden estar coloreadas, blanco (calcinado con fundente), rosa (calcinado), gris (sin calcinar).
- De porosidad alta
- Volumen de muy baja densidad
- Gran capacidad para absorber líquidos
- Capacidad abrasiva suave
- Baja conductividad térmica y eléctrica
- Alta resistencia a la temperatura

- Punto de fusión entre 1,400° a 1,750°C
- Peso específico 2.0 (la calcinación la incrementa a 2.3)
- Área superficial 10 a 30 m² /g (la calcinación la reduce de 0.5 a 5 m² /g)
- Índice de refracción 1.4 a 1.46 (la calcinación la incrementa a 1.49)
- Dureza (Mohs) 4.5 a 5 (la calcinación la incrementa de 5.5 a 6)
- Químicamente inerte
- El porcentaje de humedad varía de acuerdo al depósito, entre un 10 a 60%
- La densidad aparente varía de 0.32 a 0.64 Ton/m³.
- Tiene un pH neutro

1.6.4. Composición química

El principal componente que tiene la diatomita es la sílice, que se halla en mayor proporción, variando de 68% al 92%. También contiene componentes en menor cantidad como: calcio, hierro, sodio, aluminio y potasio. En la tabla 1.1. se observa una comparación de la composición química de diatomita en varias regiones productoras.

Tabla 1.1.

Composición química de diatomitas en algunos yacimientos peruanos

Tipo de yacimiento Región Yacimiento	Lacustre				Marino		
	Arequipa		Ayacucho		Tacna	Piura	Ica
	Maca	Tarucani	Quicapata	Tambillo	Tripartito	Bayovar	Ocucaje
<i>SiO₂</i>	84.89	86.2	89.5	85.78	68	65.5	73.8
<i>Al₂O₃</i>	2.62	5.9	2.7	2.71	8.15	2	9.7
<i>Fe₂O₃</i>	1.04	1.7	0.9	1.22	3	1.3	3
<i>CaO</i>	0.94	1.2	1.4	0.64	2	9.6	2.9
<i>MnO</i>	0.03	-	-	0.01	0.56	-	-
<i>MgO</i>	0.5	0.6	0.5	0.55	2.57	3.3	1.2
<i>TiO₂</i>	-	-	-	0.14	0.31	-	-
<i>Na₂O</i>	0.92	-	0.1	0.26	1.38	1.9	1.8
<i>P₂O₆</i>	0.01	-	-	0.02	0.33	-	-
<i>K₂O</i>	0.58	-	0.4	0.39	1.45	0.5	1.3
PxC	7.34	3.8	4.45	8.29	11.2	14.75	4.66

Nota: Composición química de la diatomita en diferentes depósitos del Perú. Tomado de *Diatomitas en el Perú, Características y aplicaciones* por Ramírez, 2010.

Fuente: Bustamante (1998)

1.6.5. Principales usos de la diatomita en la agricultura

La tierra de diatomitas es considerada como un compuesto natural silíceo. Se encuentra entre las categorías biorracionales cuando se usa en agricultura. Al hablar de biorracionales se refiere a productos de bajo riesgo que promueven el bienestar de las plantas cultivadas (Constantinescu et al., 2020).

La diatomita, por su alto contenido de sílice, es un elemento benéfico para los cultivos, dándoles resistencia frente a factores ambientales bióticos y abióticos, protegiéndolos de ellos. Este elemento también contiene micronutrientes que facilitan la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y mejora la absorción de nutrientes (Peña, 2018).

Al mezclar la diatomita con fertilizantes químicos u orgánicos aplicada en el suelo o vía foliar, suple los micronutrientes que la planta necesita para su desarrollo, y especialmente por ser un producto natural ayuda a conservar la salud del suelo (Baglione, 2011)

La diatomita es un insecticida totalmente natural, se extrae de canteras naturales, refinándose mecánicamente, sin transformación química, siendo una materia prima casi inagotable. Su uso se está extendiendo al ser la solución más efectiva frente a plagas de pulgas, hormigas y chinches. (Vidanaturalia, 2018).

La diatomita es utilizada en la actualidad para prevenir los daños por plagas y enfermedades en diferentes cultivos. Otros beneficios en su aplicación son los siguientes (Baglione, 2011)

- Aumenta la productividad y produce mejor calidad de cosechas agrícolas.
- Restaura el suelo de la degradación e incrementa su nivel de fertilidad para la producción agrícola.
- La resistencia del suelo aumenta contra la erosión del viento, agua y sequías.
- Neutraliza la toxicidad del aluminio en suelos ácidos.
- Tiene acción sinérgica con calcio y magnesio.
- Reduce la lixiviación de fósforo, nitrógeno y potasio en las áreas de cultivo agrícola.
- La resistencia de la planta frente a plagas y enfermedades aumenta.
- La absorción de fósforo mejora y aumenta la eficiencia de roca fosfórica.
- Promueve una mayor tasa de fotosíntesis.

1.6.6. Comportamiento del silicio en la interacción de planta-patógeno

Muchos estudios han demostrado que el Si, tiene gran importancia en las interacciones de planta-patógeno, porque mejora la resistencia del huésped al estimular reacciones de defensa. Las plantas tratadas con silicio tienen respuestas de defensa que se clasifican en tres tipos de mecanismos, físicos, bioquímicos y moleculares (Wang et al., 2017).

- **Mecanismos físicos:** para que se de una infección, el patógeno ingresa a la planta (huésped) a través de cutículas, cera y paredes celulares. La acción del silicio es crear una capa gruesa de sílice debajo de la cutícula, creando una capa cuticular doble, evitando así la penetración de patógenos. La acumulación del silicio está reticulado con hemicelulosa en las paredes celulares, gracias a esto mejora las propiedades mecánicas y la regeneración. También el silicio estimula la formación de papilas durante la infección por patógenos (Wang et al., 2017). También Shimoyama (1958), citado en Sahebi et al. (2015); refiere que la acumulación de silicio en el arroz, engrosa la pared del culmo y haces vasculares, por tal motivo la fuerza y resistencia del tallo aumenta.
- **Mecanismos bioquímicos:** el silicio tiene la propiedad de aumentar la actividad enzimática en relación con la defensa, como polifenol oxidasa (PPO), glucanasa, peroxidasa y fenilalanina amoníaco-liasa (PAL). La actividad de PAL con tratamiento de silicio, es acumular derivados solubles de ácido fenólico y lignina en las hojas de las plantas y le corresponde una baja incidencia de la enfermedad (Wang et al., 2017)
- **Inducir producción de compuestos microbianos** como fenólicos, flavonoides, fitoalexinas. Regular señales sistémicas como ácido salicílico, ácido jasmónico y etileno (Wang et al., 2017).
- **Mecanismos moleculares:** se ha demostrado en varios trabajos de investigación que el silicio induce la resistencia de la planta a través de la regulación ascendente de la expresión de genes que están involucrados en las respuestas de defensa, resistencia y estrés (Wang et al., 2017).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El trabajo de investigación se realizó en dos ambientes, el primero en el Laboratorio de Examen de Productos Agrícolas en la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, donde se realizó la prueba preliminar in-vitro del control del hongo fitopatógeno con diatomita y los indicadores de evaluación. El segundo ambiente fue en el vivero ubicado en Jr. Manuel José Pozo 583 en el distrito Jesús Nazareno, donde se realizó la producción de plantones, inoculación del patógeno y la evaluación correspondiente.

2.1.1. Ubicación del laboratorio de Examen de Productos Agrícolas

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Ubicación política <p>Distrito : Ayacucho</p> <p>Provincia : Huamanga</p> <p>Región : Ayacucho</p> | <ul style="list-style-type: none">• Ubicación geográfica <p>Latitud : 13° 8'43.54"S</p> <p>Longitud : 74°13'19.26"O</p> <p>Altitud : 2791 m s. n. m.</p> |
|---|---|

2.1.2. Ubicación del vivero

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Ubicación política <p>Distrito : Jesús Nazareno</p> <p>Provincia : Huamanga</p> <p>Región : Ayacucho</p> | <ul style="list-style-type: none">• Ubicación geográfica <p>Latitud : 13° 9'22.09"S</p> <p>Longitud : 74°12'58.33"O</p> <p>Altitud : 2750 m s. n. m.</p> |
|---|---|

2.2. MUESTREO Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EMPLEADO

Se realizó el muestreo de un área de suelo en la localidad de Huanta, una vez obtenida la muestra se llevó a un laboratorio especializado para el análisis de caracterización correspondiente, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1.

Análisis de caracterización del suelo

Lab	9441
Campo	Huanta
pH (1:1)	6.6
C.E. (dS/m)	0.45
CaCO₃ %	0
Nt %	0.2
MO %	3.2
P ppm	21
K ppm	72
Análisis mecánico	Arena % 53
	Limo % 24
	Arcilla % 23
Clase textural	Fr.Ar.A.
CIC Cmol(+)/kg	16.2
Ca⁺⁺	13
Cationes Mg⁺⁺	1.47
cambiables K⁺	0.34
Cmol(+)/kg Na⁺	0.42
Al³⁺ + H⁺	0
Suma de cationes	15.23
Suma de bases	15.23
% Sat. De bases	94
PSI %	3

Interpretación del análisis de caracterización

Realizando la comparación con las tablas se tiene que el pH es neutro, un suelo no salino, alto en nitrógeno (N), materia orgánica (MO), medio en fósforo (P), bajo en potasio (K) y clase textural moderadamente fino.

Relaciones catiónicas

- Ca/Mg (5 - 8) : 8.84 (alto)
- Mg/K (1.8 - 2.5) : 4.32 (alto)
- Ca/K (14 - 16) : 38.24 (alto)

El suelo muestra desequilibrio entre sus cationes en desmedro del potasio.

2.3. MATERIALES EN ESTUDIO

- **Hongo fitopatógeno *Phytophthora sp.***, fue obtenido a partir de un trabajo de investigación, en el cual se realizó el aislamiento e identificación de muestras de campo en la provincia de Huanta.
- **Diatomita**, se obtuvo en la zona de Quicapata (Carmen Alto), contenido de 90% de sílice. El cual fue tamizado para el uso respectivo en los tratamientos.

2.4. MATERIAL BIOLÓGICO

El material biológico en estudio es el palto de la variedad Topa Topa, recolectada en el distrito de Luricocha – Huanta. Se trata de una variedad que es comúnmente empleado como patrón, debido a la tolerancia a bajas temperaturas y ser resistente a suelos alcalinos.

2.5. DISEÑO METODOLÓGICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El trabajo de investigación corresponde a un arreglo factorial de 4A* 2B (A, niveles de biosílice y B, con y sin abonamiento), dispuestos en el Diseño Completamente Randomizado (DCR) con 4 repeticiones, haciendo un total de 32 unidades experimentales.

Después de evaluar las variables, se procedió a realizar el análisis de varianza (ANVA), con un nivel de confianza del 95% y pruebas de significación utilizando Tukey ($p < 0.05$), para comparación de medias.

2.5.1. Factores de estudio

- **Factor A: niveles de biosílice (diatomita)**
 - A1: Sin biosílice
 - A2: 150 kg ha⁻¹ de biosílice
 - A3: 300 kg ha⁻¹ de biosílice
 - A4: 450 kg ha⁻¹ de biosílice
- **Factor B: abonamiento o nutrición de las plantas**
 - B1: Sin abonamiento
 - B2 : Con abonamiento

2.5.2. Descripción de tratamientos

Se condujo un total de 8 tratamientos producto del factorial, en base a niveles de biosílice y la incorporación o no de abono (con y sin abonamiento). La descripción se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.2.

Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	Código
T1	Sin biosílice - sin abonamiento	A1B1
T2	Con 150 kg ha ⁻¹ de biosílice - sin abonamiento	A2B1
T3	Con 300 kg ha ⁻¹ de biosílice - sin abonamiento	A3B1
T4	Con 450 kg ha ⁻¹ de biosílice - sin abonamiento	A4B1
T5	Sin biosílice - con abonamiento	A1B2
T6	Con 150 kg ha ⁻¹ de biosílice - con abonamiento	A2B2
T7	Con 300 kg ha ⁻¹ de biosílice - con abonamiento	A3B2
T8	Con 450 kg ha ⁻¹ de biosílice - con abonamiento	A4B2

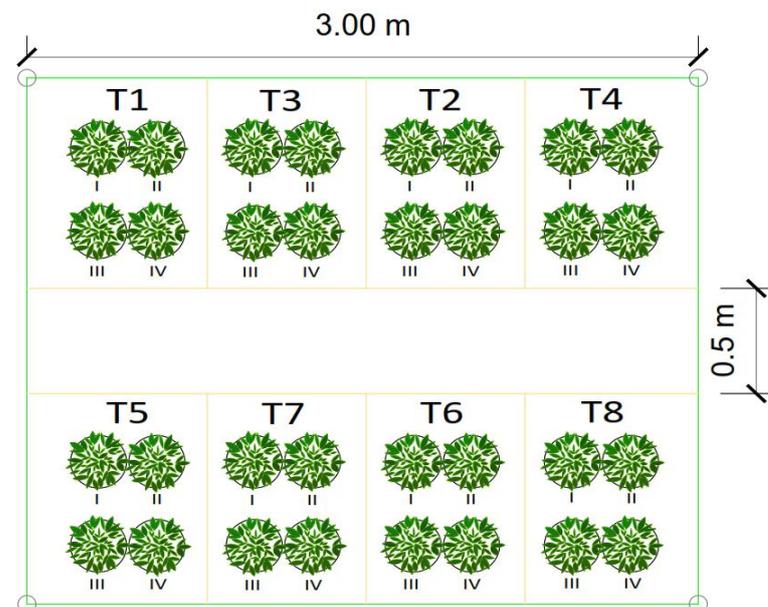
Fuente: Elaboración propia

2.5.3. Distribución de tratamiento

La figura 2.3 muestra la distribución de los tratamientos realizados durante el período de experimentación.

Figura 2.3.

Croquis de los tratamientos en el vivero



Fuente: Elaboración propia

2.5.4. Duración del trabajo de investigación

El período en el que se condujo la parte experimental tanto en laboratorio como en campo fue de 9 meses.

2.6. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

2.6.1. Fase I: Trabajo en laboratorio

- **Esterilización de materiales e insumos**

La esterilización del sustrato (arena, tierra agrícola, ceniza), se realizó envolviendo la mezcla en bolsas de polipropileno, de este modo fueron colocadas en la autoclave, sometiéndose a alta temperatura, para eliminar a los patógenos existentes.

- **Multiplicación *in vitro* de *Phytophthora* sp.**

Con la finalidad de multiplicar el hongo, se procedió a incubar en un medio preparado a base de trigo, que fue distribuido a la dosis de 20 g en placa previamente esterilizada, para posteriormente sembrar el hongo (*Phytophthora* sp.).

- **Desinfección de las semillas**

Para evitar la pudrición de las semillas de palto, durante la siembra, se desinfectó con una solución preparada de Benzomil 500.

2.6.2. Fase II: Trabajo en campo

Se construyó un tinglado o vivero en un área de 2.5m x 3.00 m, utilizando tubos de acero para el soporte y malla rassell de la cubierta, con las siguientes características:

Largo : 3.00 m

Ancho : 2.50 m

Altura : 1.60 m

Figura 2.4.

Vista frontal del vivero

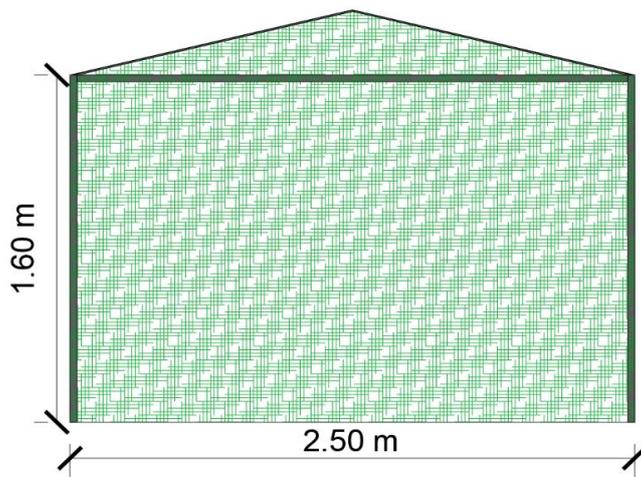
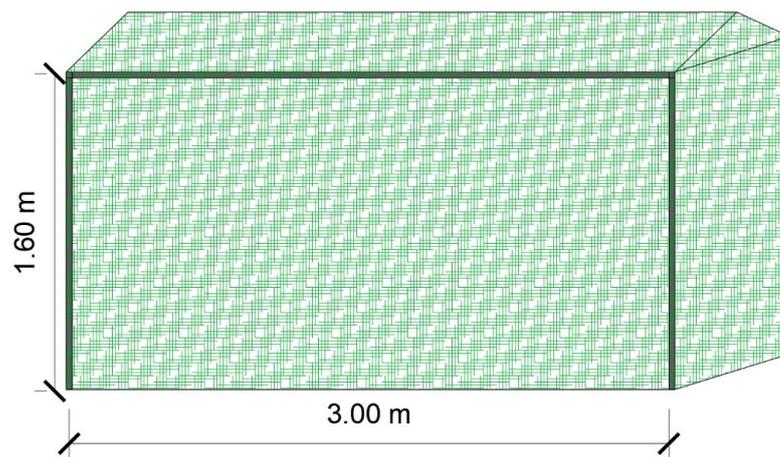


Figura 2.5.

Vista lateral del vivero



- **Preparación de bolsas**

Las bolsas que se emplearon fueron de 2 kg de capacidad, las que se llenaron de sustrato para recepción de semillas.

- **Tratamiento de semillas**

Se realizó un corte horizontal en la parte superior de la semilla aproximadamente 1 cm de corte para facilitar la germinación.

- **Abonamiento**

Después de 3 meses, luego de la germinación, en los tratamientos 5, 6, 7 y 8 se abonaron con fosfato diamónico, cloruro de potasio y sulfato de zinc, en dosis de 55-

100-65 kg ha⁻¹, respectivamente, de acuerdo al análisis de suelo. El biosílice fue aplicado luego de abonar, de acuerdo a los tratamientos establecidos.

- **Inoculación de *Phytophthora* sp. en palto**

Al mes y medio de aplicada la diatomita, se procedió a inocular con el patógeno *Phytophthora* sp., que consistió en retirar con cuidado un poco de sustrato de cada tratamiento y sembrar el patógeno que se mantuvo en las semillas de trigo, enseguida devolver el sustrato. A continuación, se procedió con el riego pesado.

- **Riegos**

El riego fue constante luego de la aplicación de diatomita; sin embargo, después de la inoculación con el patógeno, el riego fue abundante, para mantener la humedad, de tal forma que el patógeno se desarrolle en la planta.

2.6.3. Elaboración de la escala paramétrica y la descripción

Se elaboró una escala para evaluar y valorar el efecto del patógeno, habiéndose instalado los tratamientos con dosis crecientes de inóculo en plántones de palto, de manera que sirvió para construir una escala de valoración en el experimento con biosílice. Los tratamientos se presenta con las siguientes consideraciones:

1º Grado 0, no se inoculó los plántones (testigo), observando al segundo mes el crecimiento y desarrollo sin ataque del patógeno. Según la **figura 2.6**, muestra hojas de color verde normal sin necrosamiento, con folíolos extendidos y el desarrollo normal de la raíz, teniendo un daño en la planta del 0%, considerando a esta escala con síntomas de **SEVERIDAD 0 (planta sana)**.

2º Grado 1, se inoculó las macetas de plántones de palto con 4 g de semilla de trigo conteniendo el patógeno por kilogramo de suelo, al cabo de 2 meses se observó que las plantas mostraron ligeros síntomas de ataque de patógeno respecto del que no fue inoculado. En la **figura 2.6**. se observó en sus hojas un color verde normal, con algunas hojas que mostraron el ápice con indicios de necrosamiento; en cuanto al crecimiento de la raíz fue menor en comparación al de grado 0, teniendo un daño de 10% en la planta. En esta escala se consideró los síntomas de **SEVERIDAD 1**.

3º Grado 2, se inoculó con 6 g de semilla de trigo conteniendo patógeno por kilogramo de suelo y la respuesta de los plantones fue mostrar síntomas de la enfermedad en la parte aérea y radicular, siendo éstas más intensos que en el grado 1, pues se puede observar menor número de hojas, bordes secos desde el ápice y con menor crecimiento de raíz y necrosado, con un daño de 60% en la planta. Por tal se considera a este grado, síntomas de **SEVERIDAD 2**.

4º Grado 3, se inoculó con 8 g de semilla de trigo conteniendo patógeno por kilogramo de suelo, se observó que la sintomatología de la enfermedad de la planta fue más intensa, planta de menor tamaño, hojas con ápices necrosados, sistema radicular pobre con menor número de raíces laterales y necrosados, mostrando un daño de 80% en la planta. Este grado se considera con síntomas de **SEVERIDAD 3**.

5º Grado 4, finalmente para este grado se utilizó 10 g de semilla de trigo con patógeno por cada kilogramo de suelo. Se observó síntomas mucho más intensos en la parte radicular y aérea, con un follaje desecado, raíces laterales muy escasas y semilla en estado de pudrición. Considerándose a esta escala como síntomas de **SEVERIDAD 4** que tuvo como resultado, la muerte de los plantones (daño al 100%). Cabe resaltar que los porcentajes de daño se realizaron mediante criterio visual de los tratamientos, para así obtener el índice de severidad.

Este ensayo previo, permitió construir la escala de valoración, que se resume en la tabla 2.3.

Tabla 2.3.

Escala preestablecida

ESCALA	CARACTERÍSTICAS DE EVALUACIÓN
0	No muestra síntomas, SEVERIDAD 0 (planta sana)
1	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
2	Daño de 60% en la planta, SEVERIDAD 2
3	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
4	Daño de 100% en la planta, SEVERIDAD 4 (muerte de la planta)

Fuente: Elaboración propia

2.7. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

2.7.1. Índice de severidad (%)

Se aplicó la fórmula para hallar el índice de severidad por tratamiento y general.

$$\%IS = (\%Af1)n1 + (\%Af2)n2 + (\%Af3)n3 \dots \dots \%Afn)n/N$$

%IS: Índice de severidad

%AF: porcentaje de afectación en la planta

n: número de plantas dañadas

N: número total de plantas en evaluación

2.7.2. Altura de la planta

Se midió la altura de la planta, desde el cuello de la planta hasta la hoja más alta, con ayuda de una wincha y se registró en centímetros.

2.7.3. Diámetro del tallo

Se midió el diámetro del tallo en la parte baja de la planta, con ayuda de la cinta métrica y se registró en centímetros.

2.7.4. Peso fresco de raíz, tallo y hojas

Una vez cortada la planta se procedió a separar la parte aérea de la radicular, y se puso en sobre manila para proceder a pesar en laboratorio, siendo registrado en gramos.

2.7.5. Peso seco de raíz, tallo y hojas

En estufa de aire caliente se procedió a secar cada una de las partes de la planta a 70°C hasta sequedad permanente para luego obtener su peso en gramos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EVALUACIÓN DE SEVERIDAD DE SINTOMATOLOGÍA EN PLANTONES

La evaluación de la sintomatología, se realizó en base a la escala previamente establecida, comparando daños en la parte aérea y radicular de la planta. Los resultados se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1.

Escala de los tratamientos

TRAT.	REP.	GRADO	CARACTERÍSTICAS
T1 Sin biosólido - sin abonamiento	I	4.00	Daño de 100% en la planta, SEVERIDAD 4 (Muerte de la planta)
	II	4.00	
	III	4.00	
	IV	4.00	
T5 Sin biosólido - con abonamiento	I	4.00	Daño de 100% en la planta, SEVERIDAD 4 (Muerte de la planta)
	II	4.00	Daño de 100% en la planta, SEVERIDAD 4 (Muerte de la planta)
	III	3.00	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
	IV	4.00	Daño de 100% en planta, SEVERIDAD 4 (Muerte de la planta)
T2 Con biosólido (150 kg ha ⁻¹) - sin abonamiento	I	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
	II	4.00	Daño de 100% en la planta, SEVERIDAD 4 (Muerte de la planta)
	III	3.00	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
	IV	3.00	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
T6 Con biosólido (150 kg ha ⁻¹) - con abonamiento	I	3.00	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
	II	4.00	Daño de 100% en planta, SEVERIDAD 4 (Muerte de la planta)
	III	3.00	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
	IV	3.00	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
T8 Con biosólido (450 kg ha ⁻¹) - con abonamiento	I	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
	II	2.00	Daño de 60% en la planta, SEVERIDAD 2
	III	3.00	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
	IV	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
T3 Con biosólido (300 kg ha ⁻¹) - sin abonamiento	I	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
	II	2.00	Daño de 60% en la planta, SEVERIDAD 2
	III	2.00	Daño de 60% en la planta, SEVERIDAD 2
	IV	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
T7 Con biosólido (300 kg ha ⁻¹) - con abonamiento	I	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
	II	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
	III	3.00	Daño de 80% en la planta, SEVERIDAD 3
	IV	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
T4 Con biosólido (450 kg ha ⁻¹) - sin abonamiento	I	1.00	Daño de 10% en la planta, SEVERIDAD 1
	II	1.00	
	III	1.00	
	IV	1.00	

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Índice de severidad

Tabla 3.2.

Índice de severidad del tratamiento 1

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
4	100	4

%IS =100%

Tabla 3.3.

Índice de severidad del tratamiento 2

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
1	10	1
3	80	2
4	100	1

%IS =67.5%

Tabla 3.4.

Índice de severidad del tratamiento 3

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
1	10	2
2	60	2

%IS =35%

Tabla 3.5.

Índice de severidad del tratamiento 4

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
1	10	4

%IS =10%

Tabla 3.6.

Índice de severidad del tratamiento 5

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
3	80	1
4	100	3

%IS =95%

Tabla 3.7.*Índice de severidad del tratamiento 6*

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
3	80	3
4	100	1

%IS =85%

Tabla 3.8.*Índice de severidad del tratamiento 7*

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
1	10	3
3	80	1

%IS =27.5%

Tabla 3.9.*Índice de severidad del tratamiento 8*

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
1	10	2
2	60	1
3	80	1

%IS =40%

Tabla 3.10.*Índice de severidad general*

GRADO	% AFECTACIÓN	N° plantas
0	0	0
1	10	12
2	60	3
3	80	8
4	100	9

$$\%s = (\%Af1)n1 + (\%Af2)n2 + (\%Af3)n3 \dots \dots \%Afn)n/N$$

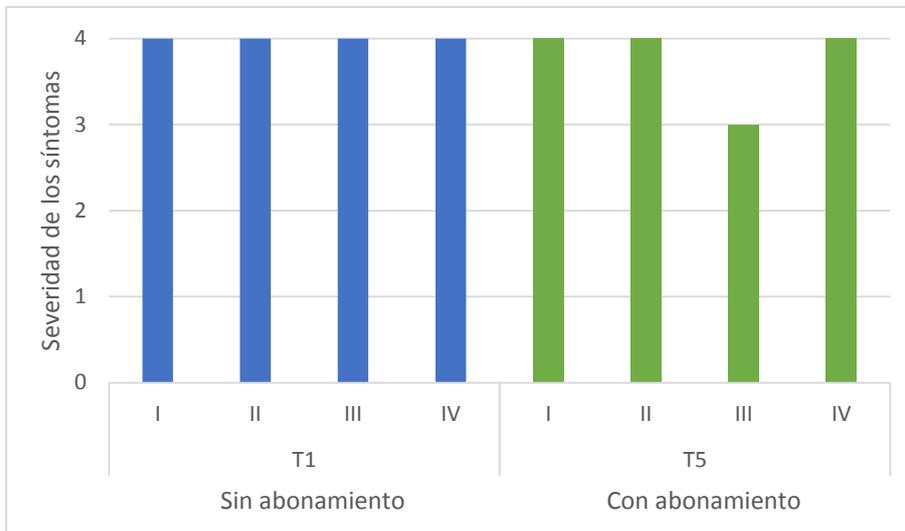
$$\%s = [(0)0 + (10)12 + (60)3 + (80)8 + (100)9]/32$$

$$\%s = 57.50 \%$$

El 57.50 % de la parte aérea y radicular de la planta está afectado por la enfermedad.

Figura 3.1.

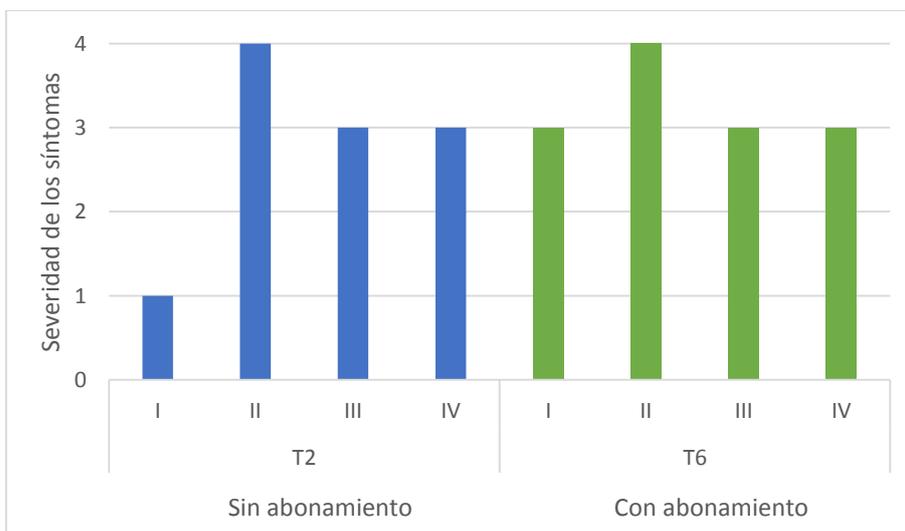
Sintomatología de la enfermedad causada por Phytophthora sp. en los tratamientos sin aplicación de biosílice, con y sin abonamiento.



En la figura 3.1 se observa que la sintomatología en los tratamientos sin aplicar biosílice con y sin abonamiento, el patógeno causa la misma intensidad de daño en las plantas, lo que permite observar que las dosis de fósforo, potasio y zinc aplicados, que en teoría contribuirían a fortalecer la raíz tampoco muestra efecto favorable en las plantas, probablemente el cloro de KCl contribuye con generar estrés en la planta (Benavides, 1996).

Figura 3.2.

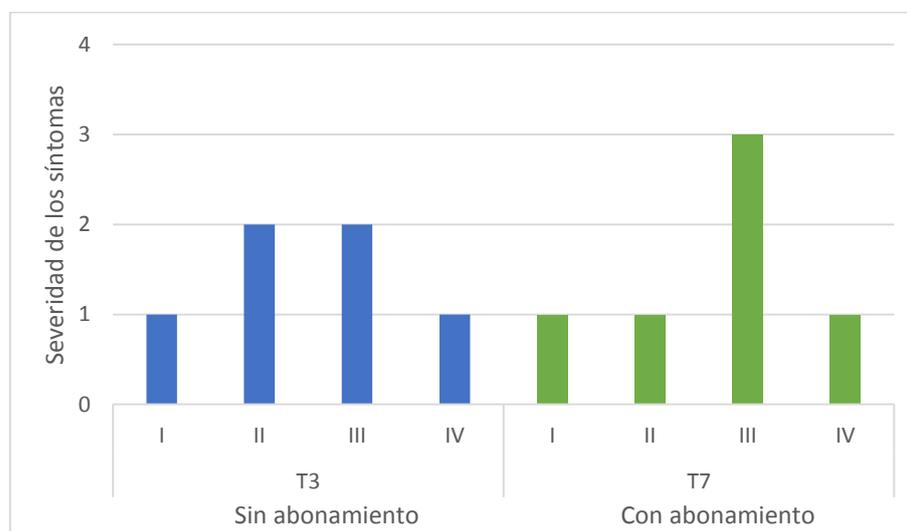
Sintomatología de la enfermedad causada por Phytophthora sp. en los tratamientos con aplicación de biosílice (150 kg ha⁻¹), con y sin abonamiento.



Ambos tratamientos muestran en algunas repeticiones mayor intensidad de síntomas que en otros, tal como se observa en la **figura 3.2**, diferencia debido probablemente a la variabilidad genética de la semilla, de este modo unas se mostraron más susceptibles que las otras. Se observa que respecto al anterior tratamiento la presencia del biosíllice en dosis de 150 kg ha^{-1} ya contribuye en la resistencia y protección de la planta contra el patógeno. Siendo el resultado comparable a lo hallado por Van et al. (2013) citado por Wang et al. (2017), quienes afirman que la resistencia de la planta con silicio se asocia con la densidad de las células epidérmicas, creando una capa doble de silicio debajo de la cutícula, esto impide el ingreso y penetración de patógenos. Este tipo de resistencia es considerado como un mecanismo físico. Por su parte Sahebi et al. (2015), afirma que el silicio brinda protección a la planta, acumulándose en tejidos y células epidérmicas creando una capa de membrana celulosa que impide el ingreso del patógeno. Estas barreras físicas inhiben la penetración de patógenos y hacen que las células vegetales sean menos susceptibles a la degradación enzimática causada por los patógenos fúngicos.

Figura 3.3.

*Síntomatología de la enfermedad causada por *Phytophthora* sp. en los tratamientos con aplicación de biosíllice (300 kg ha^{-1}), con y sin abonamiento*

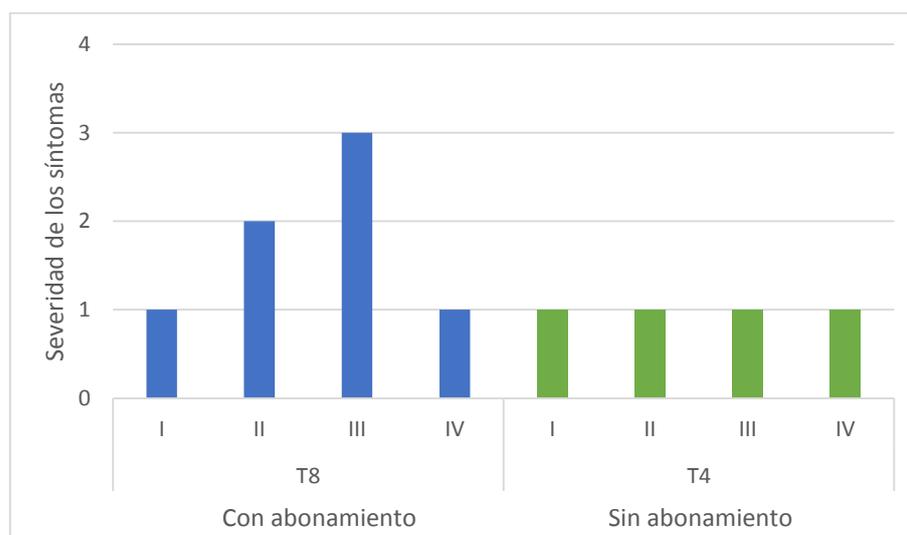


En la **figura 3.3**. se observa que los tratamientos con aplicación de 300 kg ha^{-1} de biosíllice, muestran síntomas de menor intensidad en comparación a la anterior dosis de biosíllice (150 kg ha^{-1}), lo que implica que mientras va aumentando la dosis de biosíllice, se observa menor intensidad de los síntomas y daño en el palto. Resultados que son

concordantes con lo hallado por Wang et al, (2017), quienes demuestran que el silicio foliar previene la penetración de los patógenos en plantas de pepino, a quienes le otorgaron resistencia contra el mildiú polvoroso a través de una barrera física. Así mismo demuestra que el silicio restringe el ingreso de hifas a la primera célula epidérmica invadida en hojas de trigo infectadas por *Prycularia oryzae*.

Figura 3.4.

Síntomas de los tratamientos con aplicación de 450 kg ha⁻¹ de biosílice



El tratamiento con 450 kg ha⁻¹ de biosílice más abonamiento (T8), muestra síntomas en intensidad 2 y 3, es decir hojas con ápices y bordes ligeramente desecados, de menor desarrollo radicular. No obstante, se muestran con mejor apariencia respecto cuando las dosis de biosílice son menores. Comparativamente el tratamiento con 450 kg ha⁻¹ de biosílice sin abonamiento (T4) muestra síntomas de severidad 1.

Como antecedentes científicos, no existe trabajos, que certifiquen escalas por sintomatología en las plantas como las que desarrollamos, sin embargo existen trabajos, los que son comparables con el presente como lo que refiere Bekker et al. (2005), quienes aplicando sílice soluble a la raíz de plántones de palto contra *Phytophthora cinnamomi*, encuentran que la resistencia difusiva es mayor cuando el silicio soluble se aplica antes y después de la inoculación, siendo mayor la eficiencia cuando se inocula después. En caso nuestro aplicamos antes de inocular, existiendo entonces la posibilidad hipotética de que el efecto encontrado pudiera ser mejor de aplicarse el biosílice luego de inocular.

También es comparable a lo hallado por Anjos et al. (2017), quienes al aplicar silicio a plantas de castaño y medir la resistencia a *Phytophthora cinnamomi*, refieren que, la mayor tasa de supervivencia de plantas tratadas con silicio obedece a la presencia de fitolitos en los tejidos radiculares, los que actúan como barrera mecánica y no permiten el desarrollo de las estructuras del patógeno.

Con los diferentes reportes respecto del mecanismo de acción de la sílice, se afirma que cuando la sílice es tomada por las raíces, se mueve continuamente por el xilema que es la forma como se distribuye y sólo así la sílice potencializa varios mecanismos de defensa en la planta (Zellner et al., 2021). Este mecanismo atribuido al silicio, en el control de las enfermedades depende de la frecuencia de aplicación, condiciones medio ambientales, estilo de vida del patógeno y su nivel de agresividad, así como de la cantidad de inóculo producido durante el período de infección (Andrade et al., 2013).

De este modo, en general una mayor aplicación de biosílice permitió resistir al *Phytophthora* sp. mucho más a los plantones de palto similar a lo que obtuvieron otros investigadores reconociendo que el silicio contribuye en el control de *Phytophthora* en soya, palto, entre otros. Las teorías que explican pasan por contribuir como barrera física por silificación de células epidérmicas, lo que demora la penetración del hongo, la colonización de los tejidos y la esporulación (Debona et al., 2017). Según Coskun et al. (2018) el silicio, obstruye el apoplasto al depositarse y obstruir el reconocimiento de la especificidad patógeno – hospedero (vías de señalización) alterando así la infección del patógeno. Otros mecanismos bioquímicos de defensa potenciados por el silicio se reportan en diferentes especies de plantas como respuesta a la infección del patógeno como por ejemplo, elevadas concentraciones de ácidos fenólicos y flavonoides producidas en hojas de cucurbitáceas suministradas con silicio e infectadas por *P. xanthii* (Debona et al., 2017), o en las plantas de trigo infectadas por *P. oryzae*, como lo reportan Cruz et al. (2015). También Xue et al. (2021) identificaron que la aplicación foliar de silicio en plantas de papa influye en las vías hormonales involucradas en la resistencia a *Phytophthora infestans*, al encontrar mayor formación de etileno luego de rociar sílice.

3.2. ALTURA DE PLANTA

En la tabla 3.2., muestra el análisis de varianza para la variable, altura de la planta, teniendo diferencia significativa en la ecuación lineal con un coeficiente de variabilidad de 25.65%, dicho porcentaje expresa que los datos de los tratamientos tienen variabilidad moderada.

Tabla 3.11.

Análisis de varianza para la variable de altura por efecto de la aplicación de dosis de biosíllice con y sin abonamiento en plántones de palto.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	7	261.8336469	37.4048067	17.46	<.0001	**
A1 VS A2	1	5.9082031	5.9082031	2.76	0.1097	ns
R. lineal Si/A1	1	146.6652800	146.6652800	68.48	<.0001	**
R. cuadr Si/A1	1	1.1990250	1.1990250	0.56	0.4616	ns
R. cubic Si/A1	1	8.6856200	8.6856200	4.06	0.0554	ns
R. lineal Si/A2	1	95.4189613	95.4189613	44.55	<.0001	**
R. cuadr Si/A2	1	2.1535563	2.1535563	1.01	0.3260	ns
R. cubic Si/A2	1	1.8030013	1.8030013	0.84	0.3680	ns
Error	24	51.4033250	2.1418052			
Total corregido	31	313.2369719				

CV% = 25.65%

Nota: A1: Tratamientos sin abonamiento y A2: tratamientos con abonamientos

Tabla 3.12.

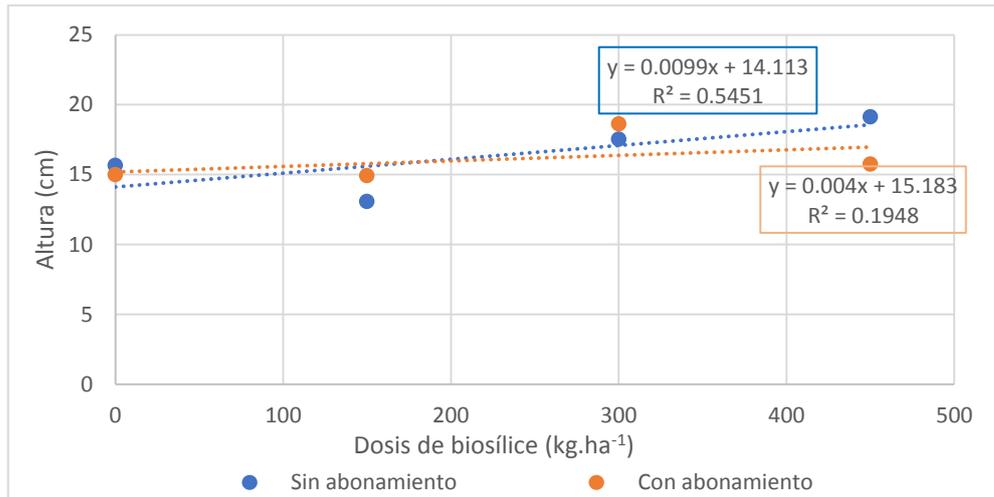
Rango estudentizado de Tukey (HSD) para la altura de la planta

Tukey Agrupamiento	Media	N	trat
A	19.125	4	4
A	18.625	4	7
B	17.525	4	3
B	15.750	4	8
B	15.650	4	1
B	15.000	4	5
C	14.925	4	6
C	13.075	4	2

Al realizar la prueba de Tukey de altura de la planta (Tabla 3.3.) se observa que el tratamiento 4 (450 kg ha⁻¹ de biosílice) desarrollo más, mostrando mayor altura (19.13 cm) respecto al resto de los tratamientos.

Figura 3.5.

Tendencia de altura (cm) del plantón con y sin abonamiento por efecto de la aplicación de 4 niveles de biosílice



La **figura 3.5** muestra la tendencia de las dosis de biosílice con y sin abonamiento, en el que se observa que las tendencias son similares, mientras mayor sea la dosis de biosílice es mayor crecimiento, con una muy ligera superioridad en la altura de la planta respecto del que se abona en general. Al abonar tiene una tasa de crecimiento de 0.004 g por cada unidad de sílice. Mientras cuando no se abona la tasa de crecimiento es de 0.0099 g por unidad de biosílice.

Rodrigues & Datnoff (2015) citado por Pinilla (2019), confirman que el silicio refuerza la rigidez, referente a la arquitectura de la planta, endurecimiento de tejidos, mejorando así su crecimiento y desarrollo. La hipótesis de barrera mecánica, donde el silicio se acumula debajo de la cutícula, fue propuesto por primera vez con el fin de explicar que el desarrollo de las plantas disminuía con dicha aplicación, sin embargo, diferentes estudios de investigación demostraron que aquellas plantas con suministro de silicio tenían la vía de los fenilpropanoides bastante potenciado, es decir aumentaba las concentraciones de fenoles y fitoalexinas, las cuales son mecanismos de defensa de la planta, mejorando el crecimiento. Además de estar involucrado en las vías metabólicas aumentando la actividad de las catalasas (Tsfay et al., 2011)

3.3. DIÁMETRO DEL TALLO

La siguiente **tabla 3.4.** muestra el análisis de varianza de la variable, diámetro del tallo, teniendo una diferencia significativa y altamente significativa en la ecuación lineal, mas no en la cuadrática y cúbica. Tiene un coeficiente de variabilidad de 23.62%, expresando una variabilidad moderada en los datos obtenidos en la evaluación de diámetro del tallo de plantones de palto inoculados.

Tabla 3.13.

Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo por efecto de la aplicación de dosis de biosílíce con y sin abonamiento en plantones de palto

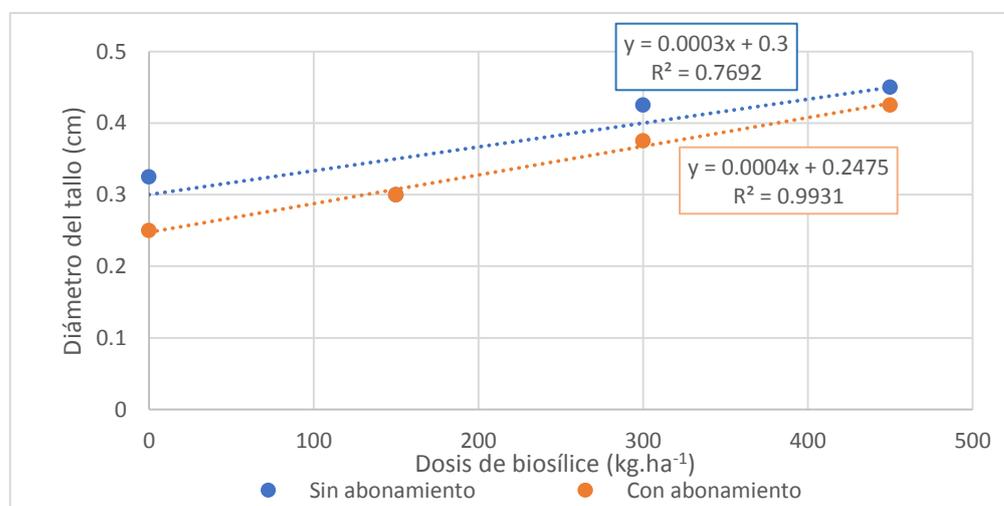
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	7	0.14875000	0.02125000	3.00	0.0207	ns
A1 VS A2	1	0.01125000	0.01125000	1.59	0.2197	ns
R.lineal Si/A1	1	0.05000000	0.05000000	7.06	0.0138	*
R. cuadr Si/A1	1	0.00250000	0.00250000	0.35	0.5580	ns
R. cubic Si/A1	1	0.01250000	0.01250000	1.76	0.1965	ns
R.lineal Si/A2	1	0.07200000	0.07200000	10.16	0.0040	**
R. cuadr Si/A2	1	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000	ns
R. cubic Si/A2	1	0.00050000	0.00050000	0.07	0.7928	ns
Error	24	0.17000000	0.00708333			
Total corregido	31	0.31875000				

CV% = 23.62 %

Nota: A1: Tratamientos sin abonamiento y A2: tratamientos con abonamientos

Figura 3.6.

Tendencia del diámetro del tallo (cm) del plantón con y sin abonamiento por efecto de la aplicación de 4 niveles de biosílíce



En la Figura 3.6. se puede observar que la tendencia del crecimiento de diámetro del tallo de los plántones de palto es similar, siendo ligeramente superior cuando se aplica biosílice sin abonamiento respecto de cuando se abona.

Castellanos et al. (2015), mencionan que el silicio es muy importante en la integridad estructural de las células vegetales, lo cual apoya en las propiedades mecánicas, incluyendo rigidez y elasticidad. Esto explica el beneficio de la aplicación de sílice en el mejor crecimiento y desarrollo de los plántones en estudio.

El trabajo es comparable al encontrado por Pati et al. (2016), quienes aplicando silicio sólido al suelo reporta mejora significativa de la absorción de nutrientes en cultivo de arroz, que produce mayor crecimiento y desarrollo de toda la planta.

3.4. PESO FRESCO Y PESO SECO DE LA RAÍZ

Las tablas 3.14 y 3.15, muestran el análisis de varianza de las variables, peso fresco y seco de la raíz respectivamente, teniendo una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, con un coeficiente de variabilidad de 24.79% (peso fresco) y 27.91% (peso seco), lo cual pertenece al rango de variabilidad moderada.

Tabla 3.14.

Análisis de varianza del peso fresco de la raíz por efecto de aplicación de biosílice con y sin abonamiento en plántones de palto.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	
Tratamientos	7	261.8336469	37.4048067	17.46	<.0001	**
A1 VS A2	1	5.9082031	5.9082031	2.76	0.1097	ns
R.lineal Si/A1	1	146.6652800	146.6652800	68.48	<.0001	**
R. cuadr Si/A1	1	1.1990250	1.1990250	0.56	0.4616	ns
R. cubic Si/A1	1	8.6856200	8.6856200	4.06	0.0554	ns
R.lineal Si/A2	1	95.4189613	95.4189613	44.55	<.0001	**
R. cuadr Si/A2	1	2.1535563	2.1535563	1.01	0.3260	ns
R. cubic Si/A2	1	1.8030013	1.8030013	0.84	0.3680	ns
Error	24	51.4033250	2.1418052			
Total corregido	31	313.2369719				

CV% = 24.79%

Nota: A1: Tratamientos sin abonamiento y A2: tratamientos con abonamientos

Tabla 3.15.

Análisis de varianza del peso seco de la raíz por efecto de aplicación de biosílíce con y sin abonamiento en plántones de palto.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	
Tratamientos	7	55.53735000	7.93390714	15.20	<.0001	**
A1 VS A2	1	0.48020000	0.48020000	0.92	0.3470	ns
R.lineal Si/A1	1	29.74360500	29.74360500	56.99	<.0001	**
R. cuadr Si/A1	1	2.34090000	2.34090000	4.49	0.0447	*
R. cubic Si/A1	1	0.36992000	0.36992000	0.71	0.4081	ns
R.lineal Si/A2	1	22.00802000	22.00802000	42.17	<.0001	**
R. cuadr Si/A2	1	0.29702500	0.29702500	0.57	0.4579	ns
R. cubic Si/A2	1	0.29768000	0.29768000	0.57	0.4574	ns
Error	24	12.52500000	0.52187500			
Total corregido	31	68.06235000				

CV% = 27.91%

Nota: A1: Tratamientos sin abonamiento y A2: tratamientos con abonamientos

Tabla 3.16.

Rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso fresco de raíz

Tukey - Agrupamiento		Media	N	Trat
	A	10.340	4	4
	B	8.968	4	8
	B	8.403	4	3
C	B	6.650	4	7
D	C	3.718	4	2
D	C	3.565	4	6
D		2.875	4	1
D		2.715	4	5

Tabla 3.17.

Rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso seco de raíz

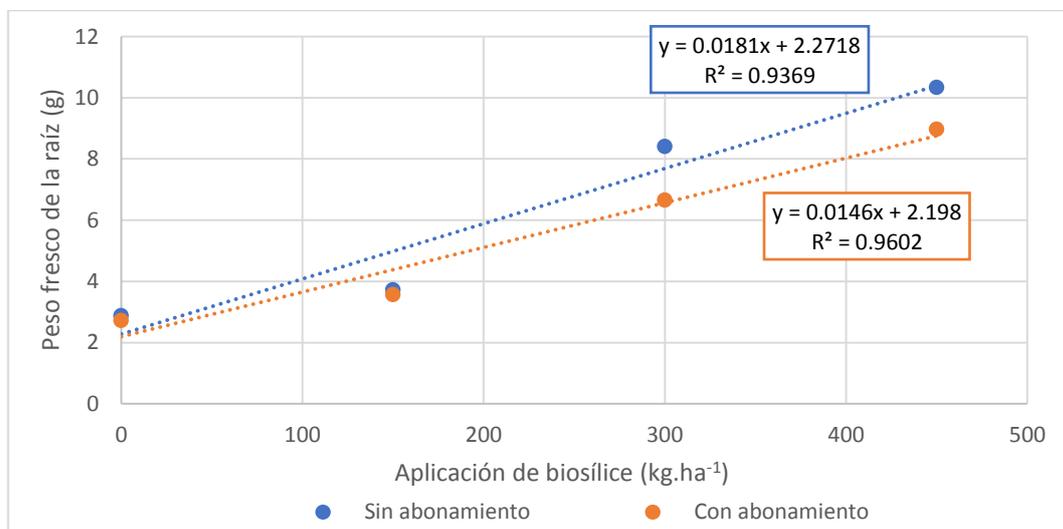
Tukey - Agrupamiento		Media	N	trat	
	A	4.8550	4	4	
	B	A	4.1150	4	8
	C	B	3.1425	4	3
	C	B	3.0375	4	7
D	C	1.6225	4	6	
D	C	1.5150	4	2	
D		1.3325	4	1	
D		1.0900	4	5	

Aplicar biosílce (450 kg ha^{-1}) a los plantones de palto, permitió mayor crecimiento y desarrollo de la raíz, alcanzando 10.34 g de raíz fresca (tabla 3.7) y 4.86 g en seco (tabla 3.8), siendo significativamente diferente de los otros tratamientos, sin duda el hecho de aplicar sílice, favorece el crecimiento debido a la diferencia del o los mecanismos de defensa de las planta así como en las vías metabólicas sean estos físicos o bioquímicos.

El hecho de que las plantas no reciban abono, resulta también crítico en vista de que el abonamiento aplicado induce a menor desarrollo radicular tal como referimos en las tablas anteriores, probablemente sea la fuente empleada, por un tema de sensibilidad al cloro.

Figura 3.7.

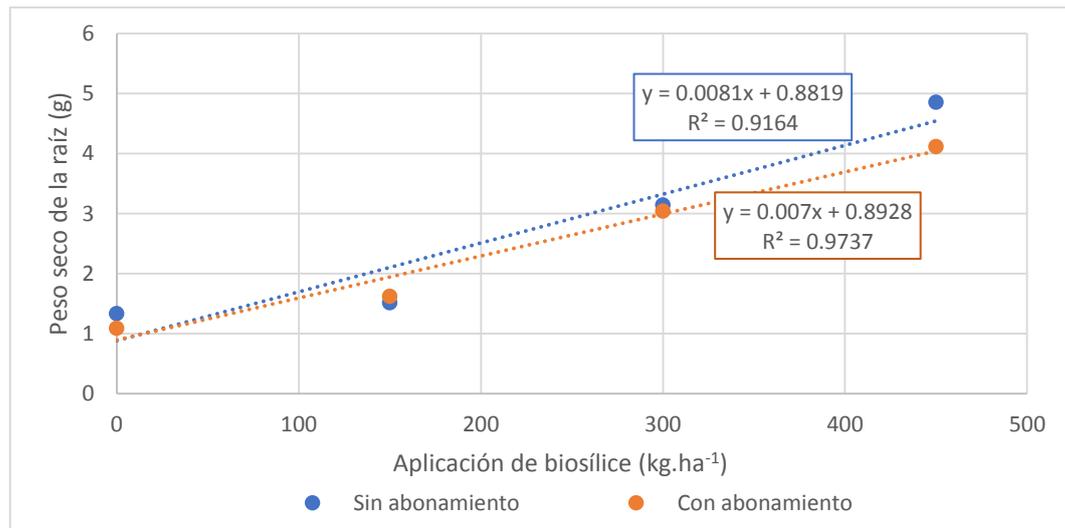
Tendencia del peso fresco de la raíz (g) del plantón con y sin abonamiento por efecto de la aplicación de 4 niveles de biosílce.



La figura 3.7 muestra que el abonar provoca menor tasa de crecimiento siendo 0.0146 g por cada unidad de sílice aplicado junto al abono, siendo ligeramente menor a cuando no se abona cuya tasa es de 0.0181 g por unidad de sílice.

Figura 3.8.

Tendencia del peso seco de raíz (g) del plantón con y sin abonamiento por efecto de la aplicación de 4 niveles de biosílice.



En la figura 3.8 se puede observar que la aplicación de biosílice sin abonamiento es mayor en el peso seco de la raíz, a la aplicación de diatomita con abonamiento. El hecho de abonar permite una tasa de crecimiento de 0.007 g por unidad de biosílice más abonamiento, mientras cuando no se abona la tasa de crecimiento aumenta a 0.0081 g por unidad de biosílice. Comprobándose la eficiencia del biosílice en la planta.

Este comportamiento, muestra que es muy importante no sólo abonar, también es importante elegir la fuente, además una vez más nos demuestra el efecto benéfico del biosílice que contribuye con potenciar o aumentar la eficiencia de uso de los nutrientes existentes en el suelo, como lo demuestran investigaciones de Bekker et al. (2005); quienes afirman que el peso fresco de raíz del palto es mayor cuando se aplica sílice soluble después de la inoculación de *Phytophthora cinnamomi*, en dosis de 20 mL/L de silicio soluble y el peso seco de la raíz es mayor cuando la aplicación de silicio soluble es antes y después de la inoculación. También Hattori et al. (2007) citado por Chen et al. (2018) demostraron que, existe una mejora de la conductancia hidráulica de la raíz por medio de la aplicación de sílice en sorgo, centeno y tomate, mejorando así el

crecimiento de la raíz y aumentando la relación raíz/vástago, contribuyendo a una mayor absorción y transporte de agua, ayudando a una elevada tasa fotosintética y mejor resistencia a la deficiencia de agua. Efectos que están explicados por Wang et al. (2017), quienes refieren que el silicio está involucrado en el metabolismo fenólico y biosíntesis de lignina en paredes celulares vegetales, esto mejora la resistencia de las plantas a enfermedades fúngicas, lo que permite tener rigidez de los tallos y raíces ayudando a la conductancia de agua y nutrientes, reforzando el desarrollo óptimo de la raíz, el crecimiento y desarrollo de la planta. Todos estos efectos son resumidos por Pinilla (2019), al afirmar que el silicio proporciona un grado de tolerancia ante el déficit hídrico, porque favorece el crecimiento y fortalecimiento radicular, y limita las pérdidas transpiratorias por el engrosamiento de la cutícula.

3.5. PESO FRESCO Y SECO DE HOJAS Y TALLO

Las tablas 3.18 y 3.19, muestran el análisis de varianza del peso fresco y seco de hojas y tallo, teniendo una diferencia significativa entre los tratamientos y altamente significativa en la ecuación lineal de, sin abonamiento. Tiene un coeficiente de variabilidad de 47.22% y 48.71% en peso fresco y seco respectivamente.

Tabla 3.18.

Análisis de varianza del peso fresco de hojas y tallo por efecto de la aplicación de biosílíce con y sin abonamiento en plántones de palto

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	
Tratamiento	7	625.451047	89.350150	3.33	0.0127	*
A1 VS A2	1	14.2711531	14.2711531	0.53	0.4730	ns
R.lineal Si/A1	1	453.5328800	453.5328800	16.89	0.0004	**
R. cuadr Si/A1	1	0.1296000	0.1296000	0.00	0.9452	ns
R. cubic Si/A1	1	7.8500450	7.8500450	0.29	0.5937	ns
R.lineal Si/A2	1	63.1012813	63.1012813	2.35	0.1383	ns
R. cuadr Si/A2	1	25.5783063	25.5783063	0.95	0.3388	ns
R. cubic Si/A2	1	60.9877813	60.9877813	2.27	0.1448	ns
Error	24	644.339875	26.847495			
Total corregido	31	1269.790922				

CV% = 47.22%

Nota: A1: Tratamientos sin abonamiento y A2: tratamientos con abonamientos

Tabla 3.19.

Análisis de varianza del peso seco de hojas y tallo por efecto de la aplicación de dosis de biosílíce con y sin abonamiento en plántones de palto

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	
Modelo	7	83.8805500	11.9829357	2.72	0.0316	*
A1 VS A2	1	2.50880000	2.50880000	0.57	0.4579	ns
R.lineal Si/A1	1	60.51720500	60.51720500	13.73	0.0011	**
R. cuadr Si/A1	1	0.19802500	0.19802500	0.04	0.8339	ns
R. cubic Si/A1	1	1.09512000	1.09512000	0.25	0.6227	ns
R.lineal Si/A2	1	7.88768000	7.88768000	1.79	0.1935	ns
R. cuadr Si/A2	1	2.72250000	2.72250000	0.62	0.4396	ns
R. cubic Si/A2	1	8.95122000	8.95122000	2.03	0.1670	ns
Error	24	105.7616500	4.4067354			
Total corregido	31	189.6422000				

CV% = 48.71%

Nota: **A1**: Tratamientos sin abonamiento y **A2**: tratamientos con abonamientos

Tabla 3.20.

Rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso fresco de hojas y tallos

Tukey - Agrupamiento	Media	N	Trat
A	19.188	4	4
B	15.078	4	7
B	12.993	4	3
B	10.833	4	8
B	10.110	4	2
B	8.063	4	6
B	7.250	4	5
B	4.275	4	1

Tabla 3.21.

Rango estudentizado de Tukey (HSD) para el peso seco de hojas y tallo

Tukey - Agrupamiento	Media	N	Trat
A	7.428	4	4
B	5.760	4	7
B	4.998	4	3
B	4.225	4	8
B	3.960	4	2
B	3.125	4	6
B	3.010	4	5
B	1.975	4	1

La aplicación de 450 kg ha⁻¹ de biosílice a los plántones de palto, permitió mayor crecimiento y desarrollo de la parte aérea de la planta, con el que se alcanza 19.19 g de peso fresco (tabla 3.11) y 7.43 g en seco (tabla 3.12), siendo significativamente diferente de los otros tratamientos, corroborando así que el aplicar sílice a los plántones, favorece en los mecanismos de defensa al ataque de *Phytophthora* sp.

Sin duda el hecho de que las raíces con el biosílice desarrollan mejor, esto permitió mayor posibilidad de absorción de nutrientes haciendo que la parte aérea desarrolle tal como se puede observar en la figura 3.9 y 3.10, donde la aplicación de biosílice sin abonamiento contribuye con el mayor desarrollo de hojas y tallos generando una tasa de crecimiento de 0.0317 g por unidad de biosílice, mientras en el caso de abonar la tasa de crecimiento es 0.0118 g por unidad de biosílice. De manera similar en el caso del peso seco, la tasa de crecimiento es de 0.0042 g por unidad de biosílice más abonamiento aplicado, siendo menor respecto de cuando no se abona, donde la tasa de crecimiento es de 0.0116 g por unidad de biosílice aplicado.

Figura 3.9.

Tendencia del peso fresco de hojas y tallo (g) del plánton con y sin abonamiento en las diferentes aplicaciones de biosílice

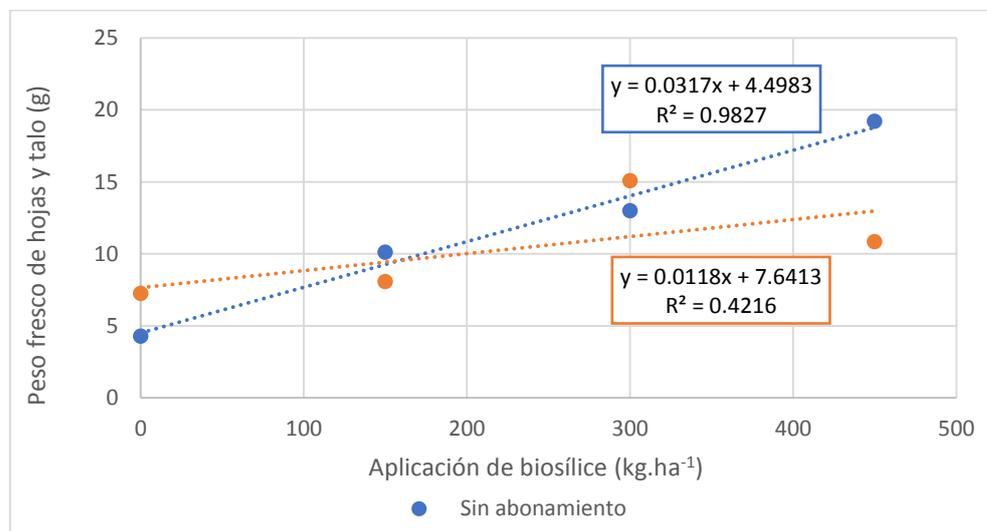
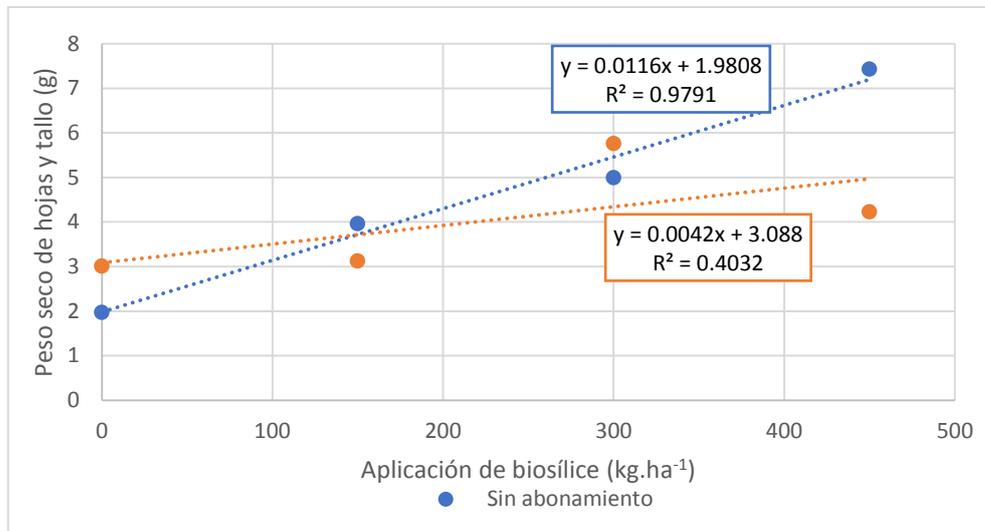


Figura 3.10.

Tendencia del peso seco de hojas y tallo (g) del plantón con y sin abonamiento en las diferentes aplicaciones de biosilíce



Los resultados comprueban la teoría de Seebold et al. (2001), que al aumentar las tasas de sílice en el cultivo de arroz contra *Magnaporthe grisea*, reduce el área foliar enferma y el número de esporas por lesión en un 30 a 45%, mientras las tasas de sílice eran mayores las lesiones esporulantes por hoja y área foliar fueron significativamente reducidos.

Un aporte sobre este indicador de evaluación es según Bekker et al., (2005); que demuestra que el mayor peso fresco y seco de brotes del palto es con aplicación de sílice soluble después de la inoculación, sin mostrar diferencia significativa con el tratamiento que implica aplicación de sílice soluble antes y después de la inoculación.

Zhang et al. (2013) mencionan que, el silicio se deposita en dos tipos de células en la hoja de arroz mejorando la resistencia de la planta a diversos estrés abióticos y bióticos, enfermedades causada por hongos fitopatógenos y ataque de plagas, aumentando el rendimiento de los granos. El sílice acumulado en la pared celular contiene fenol o complejos de lignina que actúan como mecanismos de protección.

Rasoolizadeh et al. (2018) comprobó que, al suministrar sílice a las plantas inoculadas con *Phytophthora sojae*, proporcionó una fuerte protección contra dicho patógeno, viéndose a las plantas tratadas con silicio muchas más sanas, con tallos y hojas más desarrollados respecto a los testigos.

Los efectos que ejerce el silicio en las propiedades estructurales de los silicatos polimerizados en los tejidos de las plantas son altamente positivos, produciendo tallos y hojas más fuertes y erectos, capaces de resistir ataques de patógenos y herbívoros (Coskun et al., 2018)

CONCLUSIONES

1. La mayor dosis (450 kg ha^{-1}) de biosílice, sin abonamiento, en plantas de palto infectadas, permitió resistir significativamente a *Phytophthora* sp. en términos de inhibición del desarrollo de lesiones y mejora del crecimiento de raíces y parte aérea; respecto de los otros niveles evaluados, el testigo y cuando se aplica junto con abono. Se evidencia mayor altura (19.10 cm), diámetro de tallo (0.45 cm), peso fresco de la parte radicular (10.30 g), parte aérea (19.20 g), peso seco de raíz (4.86 g) y peso seco de parte aérea (7.43 g).
2. Dosis alta de biosílice (450 kg ha^{-1}) con abonamiento, en plantas de palto infectadas, se muestran menos susceptibles a *Phytophthora* sp. en escala de intensidad, respecto del testigo y menores niveles de biosílice, habiendo desarrollado hasta 15.75 cm de altura, 0.43 cm diámetro, 8.97 g de peso fresco de la raíz, 10.83 g de parte aérea, 4.12 g y 4.23g de peso seco de raíz y parte aérea, respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la investigación en condiciones de campo, con el fin de observar su efecto y confirmar los antecedentes in-vitro o en vivero.
2. Identificar la especie de *Phytophthora* sp. y seguir con las investigaciones, con el fin de averiguar si la biosílice tiene efecto en otras especies de *Phytophthora*, para ayudar al crecimiento y desarrollo de la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agronegocios, S. d. (2011). Aguacate. *Monografía de cultivos*.
- Andrade, C. C., Resende, R. S., Rodrigues, F., Maciel, H. G., Moreira, W., Oliveira, J., & Ramos, R. (2013). Silicon reduces bacterial speck development on tomato leaves. *Tropical Plant Pathology*, 436-442.
- Ávila, Q., Silva, R., & Téliz, O. (2007). First report of the anamorph of *Glomerella acutata* causing anthracnose on avocado fruits in Mexico. *Plant Dis.*, 1200-1213.
- Baglione, L. (2011). Usos de la tierra diatomea. *Revista Técnica N°27*.
- Bartoli, J. Á. (2008). Manual técnico del cultivo de aguacate Hass. *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)*, 35-36.
- Bekker, T., Labuschagne, N., & Kaiser, C. (2005). Effects of soluble silicon against *Phytophthora cinnamomi* root rot of avocado (*Persea americana* Mill.) nursery plants. *Departments of Plant Production and Soil Science, and Plant Pathology, University of Pretoria*.
- Benavides, C. (1996). Requisitos del suelo y susceptibilidad a cloruros en cultivo de palto y perspectivas de mercado. *Universidad de Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas*.
- Bent, E. (2007). Silicic acid: Growing as nature intended. *Fruit and Vegetable Tech*, 24-26.
- Caballero, P., & Zuni, D. (2017). Elaboración d efiltros de diatomita con adición de quitosano para la descontaminación de las aguas del Río Chili a nivel del laboratorio. *Universidad Nacional de San Agustín*.
- Castaño, J., & Leal, J. (2018). Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate. *Temas Agrarios*, 131-143.
- Castaño, J., & Leal, J. (2018). Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate. *Temas Agrarios*, 131-143.
- Castellanos, L., De Mello, R., & Silva, C. N. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*.
- Chen, D., Wang, S., Yin, L., & Deng, X. (2018). How does silicom mediate plant water uptake and loss under water deficiency. *Frontiers in Plant Science*.
- Constantinescu, D., Lupu, C., & Oancea, F. (2020). Siliceous Natural Nanomaterials as Biorationals - Plant Protectans and Plant Health Strengtheners. *Agronomy*.

- Coskun, D., Flam, R., Huynh, W., Hanam, A., Britto, D., & Kronzucker, H. (2018). Membrane fluxes, bypass flows, and sodium stress in rice: the influence of silicon. *Journal of Experimental Botany*.
- Cruz, M. F., Freitas, L., Rios, J., Debona, D., & Ávila, F. (2015). Microscopic aspects of the colonization of *Pyricularia oryzae* on the rachis of wheat plants supplied with silicon. *Universidad Federal de Vicosa*.
- Debona, D., Rodrigues, F., & Datnoff, L. (2017). Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. *Annual Review of Phytopathology*.
- Díaz, D. (2016). Aislamiento e Identificación de Hongos Fitopatógenos de Cultivos de Aguacate. *Tlamati Sabiduría*, 211.
- Dirección General de Desarrollo Minero [DGDM]. (2017). Perfil de Mercado de Diatomita. *Subsecretaría de Minería EUM*, 1-36.
- Erwin, D., & Ribeiro, O. (1996). *Phytophthora diseases worldwide*. St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society (APS Press).
- Franciosi, R. (2003). *El palto producción/ cosecha y post cosecha*. Lima, Perú: CIMARAF.
- Giorgi, K. (1993). Metodología Para La Evaluacion De La Incidencia Y Severidad De La Enfermedad "Tristeza Del Palto" Aislamiento, Identificacion Y Patogenicidad De Cepas De Phytophthora Asociadas. *UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO*.
- Guerrero, M., & Ramos, A. (2016). Prevenga y maneje la pudrición radical del aguacate causada por el Oomycete *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Instituto Colombiano Agropecuario*, 1-20.
- Hardy, G., Barrett, S., & Shearer, B. (2001). The future of phosphite as a fungicide to control the soilborne plant pathogen *Phytophthora cinnamomi* in natural ecosystems. *Australasian Plant Pathology*.
- Hattori, T., Sonobe, K., Inanaga, S., An, P., Tsuji, W., & Araki, H. (2007). Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. *Environ*, 177-182.
- Huamanguilla, M. D. (2021). Manual de tecnología productivo de palto y durazno Huamanguilla - Huanta. *Proyecto, Mejoramiento de capacidades de los productores de los cultivos de palto y durazno en 23 localidades, distrito de Huamanguilla - Huanta, Ayacucho*, 8 - 9.

- Hydrocultura. (13 de enero de 2017). *Tierra de diatomeas-Insecticida y Fertilizante Orgánico*. Obtenido de <https://hydrocultura.com/blogs/noticias-agricultura-mexico/tierra-de-diatomeas-insecticida-y-fertilizante-organico>
- INTAGRI. (2019). Requerimientos de Clima y Suelo en el Cultivo de Aguacate. *Serie frutales Núm. 56 Artículos técnicos de INTAGRI. México*.
- Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Sepúlveda, P., Maldonado, P., Toledo, C., . . . Celedón, J. (2010). El Cultivo del Palto. *Boletín INIA N°129 - Tercera Edición*.
- Lux, A., Luxová, M., Abe, J., Tanimoto, E., Hattori, T., & Inanaga, S. (2003). The dynamics of silicon deposition in the sorghum root endodermis. *New Phytologist*.
- Magnano, G., Lima, G., Camele, I., & Puglisi, I. (2018). Phytophthora cinnamomi Involved in the Decline of Holm Oak (Quercus ilex) Stands in Southern Italy. *Forest Science*, 1-9.
- Mamani, J. (2017). Pseudomonas de rizósfera de palto (Persea Americana Mill.) Con actividad biocontroladora de Phytophthora Cinnamomi Rands, aisladas en costa central del Perú. *UNALM*, 1-72.
- Marulanda, C. J. (2017). Identificación de aislamientos de Phytophthora asociados al cultivo de aguacate en el sur occidente de Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*, 1-88.
- Marulanda, C. J. (2017). Identificación de aislamientos de Phytophthora asociados al cultivo de aguacate en el sur occidente de Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*, 1-88.
- Mejía, V., & Ramos, A. (2003). Evaluación de 7 tratamientos para el control de la Tristeza del aguacatero causada por Phytophthora cinnamomi Rands. *Tesis de Licenciatura. Facultad de Agrobiología*.
- Pegg, K., Coates, L., Korsten, L., & Harding, R. (2002). Foliar, fruit and soilborne diseases. In: Whiley, A.W.; Schaffer, B.; Wolstenholme, B.N. (eds.). *Avocado. Botany, Production and Uses*. CABI, 299-338.
- Peña, V. R. (2018). Aplicación foliar de diatomita en el control de polilla de la col (Plutella xylostella) y pulgón (Brevicoryne brassicae) en el cultivo de brócoli (Brassica oleracea L. var. Italica) cv. "Rumba". *Universidad Nacional de San Agustín*.

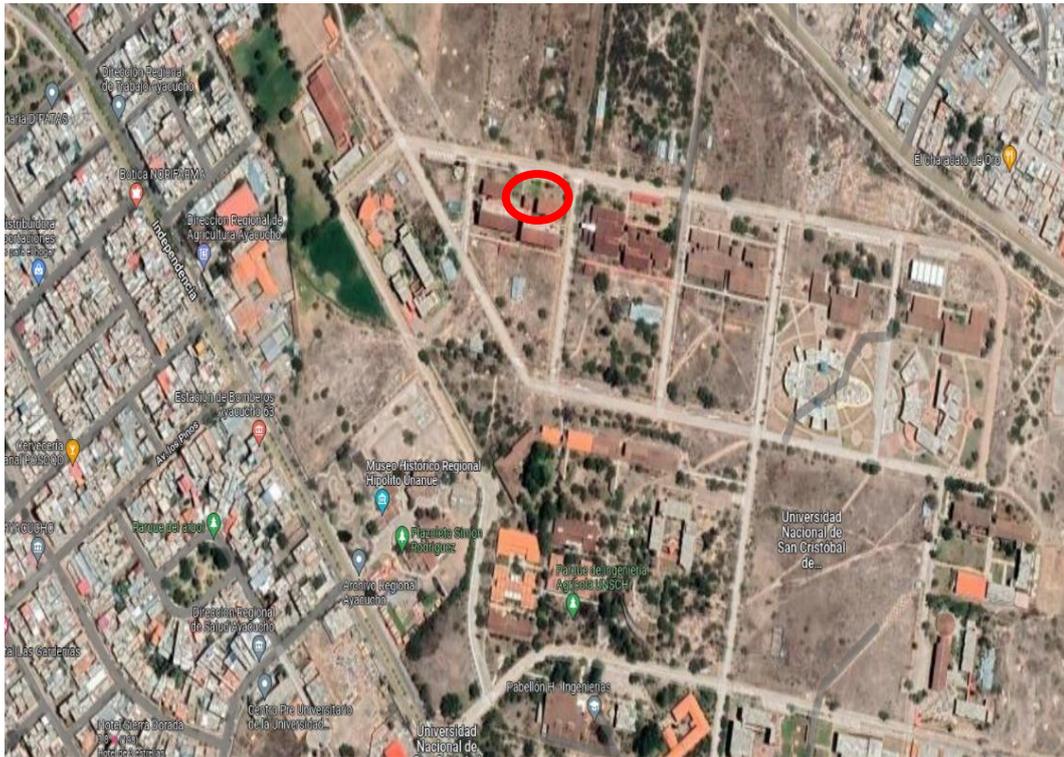
- Pinilla, N. F. (2019). Efecto del silicio como inductor de resistencia sistémica ante *Gaumannomyces graminis* var. *graminis*, agente causal del mal del pie en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*). *Trabajo de Grado. Universidad de Tolima*.
- Ramírez, J. (2010). Diatomitas en el Perú: características y aplicaciones. *Dirección de Recursos Minerales y Energéticos*.
- Rasoolizadeh, A., Sonah, H., Deshmukh, R., & Belzile, F. (2018). Silicon protects soybean plants against *Phytophthora sojae* by interfering with effector - receptor expression. *BMC Plant Biology*.
- Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2015). Silicon and Plant Diseases. *Plant Pathology, Agriculture*.
- Rodríguez, A. N., & Sánchez, P. P. (2005). *Especies de frutales cultivadas en Cuba en la Agricultura Urbana*. La Habana: 3º Edición.
- Rodríguez, S. (1982). *El aguacate. 1º Edición*. México: Progreso.
- Sahebi, M., Hanafi, M., Nor, A., Raffi, M., Azizi, P., Mayzaitul, J., & Shabanimofrad3, M. (2015). Importancia del Silicio y Mecanismos de Formación de biosílice en plantas. *Hindawi*.
- Saldarriaga, D. (2009). Fabricación de ladrillos aislantes y revestimientos cerámicos con diatomita de San Juan, Argentina. *Universidad de Piura*, 1-73.
- Seebold, K. W., Kucharek, T., Datnoff, L. E., Correa, F. J., & Marchetti, M. A. (2001). The Influence of Silicon on Components of Resistance to Blast in Susceptible, Partially Resistant, and Resistant Cultivars of Rice. *The American Phytopathological Society*.
- SENASA. (2017). La tristeza del palto y recomendaciones para su control. *SENASA*.
- Shimoyama, S. (1958). Effect of silicon on lodging and wind damage in raice. *Report for the Research Funds Granted by Ministry of Agriculture*.
- Sociedad Española de Productos Húmicos S.A. (2012). El silicio (SiO₂) en el cultivo y control de hongos de la Palma Africana. *Noticias SEPHU N°66*.
- Tamayo, P. J. (2007). Enfermedades del aguacate. *Revista Politécnica N°4*, 51-70.
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J., Salgado Siclán, M., Castañeda Vildózola, Á., Maldonado Zamora, F., & Lara Díaz, A. (2020). Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México. *Revista Argentina de Microbiología*, 72-81.

- Tarazona, L. A. (2017). Comparativo de diez variedades de palto (*Persea americana*) sobre patrón mexicano "Topa Topa" a nivel de vivero en Tingo María . *Universidad Nacional Agraria De La Selva*.
- Teliz, D. (2000). *El aguacate y su manejo integrado*. México: Mundi-Prensa. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Tesfay, S. Z., Bertling, I., & Power, J. (2011). Effects of post-harvest potassium silicate application on phenolics and other anti-oxidant systems aligned to avocado fruit quality. *Post-harvest Biol. Technol.*, 92-99.
- Toapanta, D., Morillo, L., & Viera, W. (2017). Diagnóstico molecular de *Phytophthora cinnamomi* asociado a la pudrición radicular en zonas productoras de aguacate en Ecuador. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, 285-294.
- Torres, A. (2014). Principales enfermedades del Palto y su manejo. *Informativo INIA La Cruz N°31*.
- Torres, A. (2017). Manual de cultivo del palto. *Boletín INIA N°13*, 55-65.
- Van, B., De Vleeschauwer, D., & Hofte, M. (2013). Towards establishing broad spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. *Exp. Bot.*
- Varas, I. (2021). Efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum*). *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*.
- Verdeja, L., Ayala, J., & Vasquez, R. (1993). Las diatomitas en el Perú. *Revista de Minas*, 121-129.
- Vidales, J. (2002). Efecto de factores físico químicos sobre la actividad microbiana de la rizósfera del aguacatero para el control de *Phytophthora cinnamomi*. *Universidad de Colima*, 1-96.
- Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Role of Silicon on Plant - Pathogen Interactions. *Frontiers in Plant Science*.
- Xue, X., Geng, T., Liu, H., Yang, W., Zhong, W., Zhang, Z., . . . Chu, Z. (2021). Foliar Application of Silicon Enhances Resistance Against *Phytophthora infestans* Through the ET/JA and NPR1 - Dependent Signaling Pathways in Potato. *Frontiers in Plant Science*.
- Zellner, W., Tubaña, B., Rodrigues, F., & Datnoff, L. (2021). Silicon's Role in Plant Stress Reduction and Why This Element is not used Routinely for Managing Plant Health. *Plant Disease Feature*.

- Zentmeyer, G. A. (1977). Morphology of *Phytophthora Cinnamomi*. *Micología*, 701-713.
- Zhang, C., Wang, L., Zhang, W., & Zhang, F. (2013). Do lignification and silicification of the cell wall precede silicon deposition in the silica cell of the rice (*Oryza sativa* L.) leaf epidermis? *Plant Soil*.

ANEXOS

Anexo 1. *Ubicación del Laboratorio de Productos Agrícolas*



Anexo 2. *Ubicación del Vivero*



Anexo 3. *Desinfección de semillas de palto*



Anexo 4. *Desinfección del sustrato*



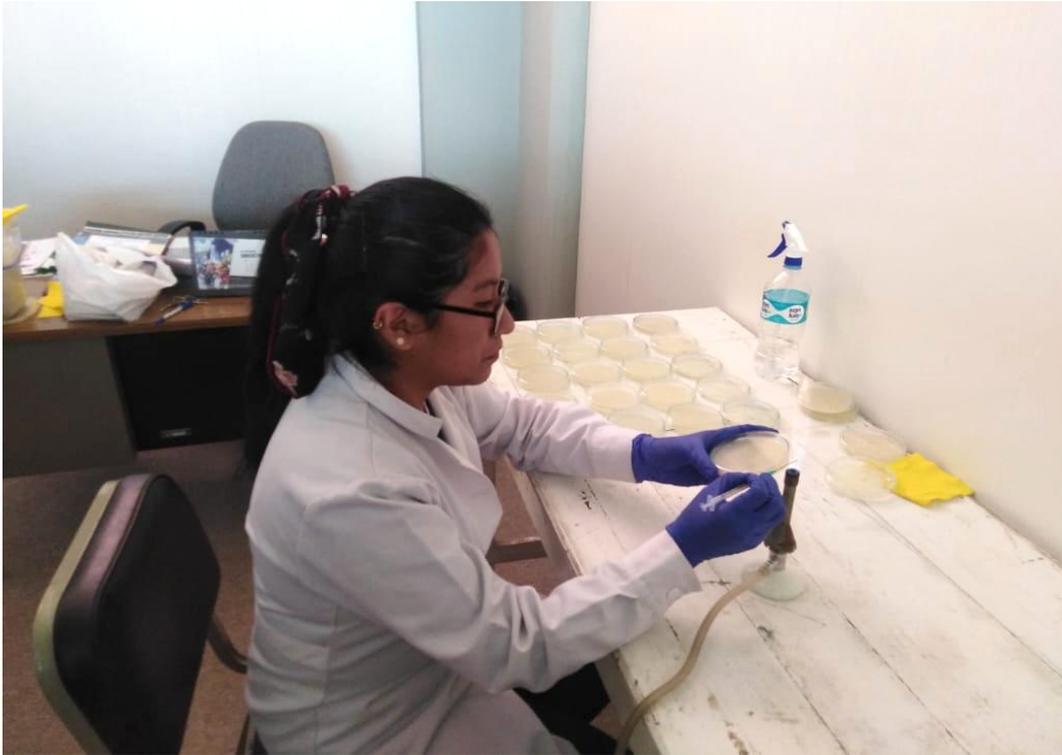
Anexo 5. *Tratamientos instalados en el vivero*



Anexo 6. *Preparación de medio a base de semillas de trigo*



Anexo 7. *Multiplicación del patógeno en placas con semilla de trigo*



Anexo 8. *Aplicación de biosíllice según indica los tratamientos*



Anexo 9. *Inoculación de Phyophthora sp.*



Anexo 10. *Evaluación de los tratamientos*



Anexo 11. *Escala 0, síntomas de INTENSIDAD 0*



Anexo 12. *Escala 1, síntomas de INTENSIDAD 1*



Anexo 13. *Escala 2, síntomas de INTENSIDAD 2*



Anexo 14. *Escala 3, síntomas de INTENSIDAD 3*



Anexo 15. *Escala 4, síntomas de INTENSIDAD 4*



Anexo 16. *Comparación de tratamientos sin abonamiento con el testigo*





Anexo 17. Comparación de tratamientos con abonamiento respecto del testigo





Anexo 18. *Medición de altura de planta*



Anexo 19. *Medición del diámetro de la planta*



Anexo 20. *Peso fresco de la parte radicular y aérea de la planta*

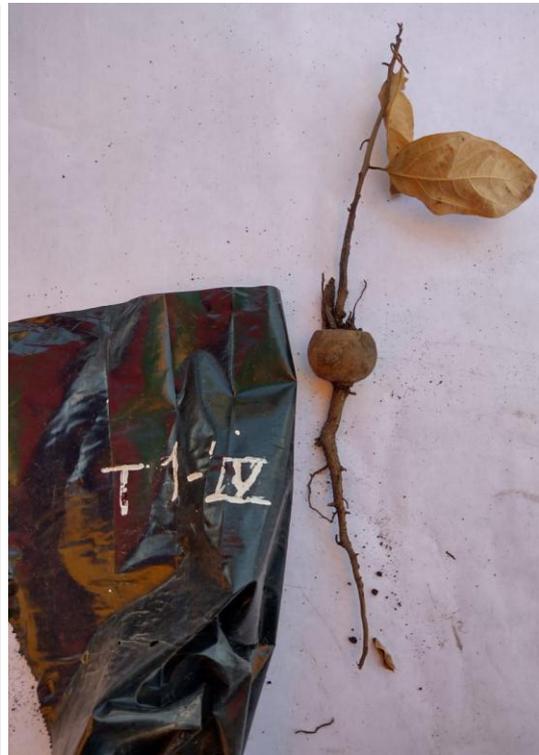




Anexo 21. *Peso seco de la parte radicular y aérea de la planta*



Anexo 22. Resultados del tratamiento 1



Anexo 23. Resultados del tratamiento 2



Anexo 24. Resultados del tratamiento 3



Anexo 25. Resultados del tratamiento 4



Anexo 26. Resultados del tratamiento 5



Anexo 27. Resultados del tratamiento 6



Anexo 28. Resultados del tratamiento 7



Anexo 29. Resultados del tratamiento 8





UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y contolar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por RR N° 294-2022-UNSCH-R; hacen constar que el trabajo titulado;

Dosis de biosílice en la tolerancia a *Phytophthora cinnamomi* de plántones de palto con y sin abonamiento. Ayacucho. 2021

Autor : Leisdy Diana Pillpe Quispe

Asesor : Marhleri Cerda Gómez

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **veinte (20%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2019950823

Ayacucho, 22 de febrero de 2023

M.Sc. WALTER AUGUSTO MATEU MATEO
Presidente de comisión

Dosis de biosílice en la
tolerancia a *Phytophthora*
cinnamomi de plantones de
palto con y sin abonamiento.
Ayacucho.2021
por Leisdy Diana Pillpe Quispe

Fecha de entrega: 21-feb-2023 05:45p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2019950823

Nombre del archivo: borradora_Leisdy_Diana_Pillpe-Corregido.docx (19.57M)

Total de palabras: 16299

Total de caracteres: 84413

Dosis de biosílice en la tolerancia a Phytophthora cinnamomi de plantones de palto con y sin abonamiento. Ayacucho.2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	2%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	revistas.unicordoba.edu.co Fuente de Internet	1%
6	biblioteca.inia.cl Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
8	docplayer.es Fuente de Internet	1%

9	prezi.com Fuente de Internet	1 %
10	digeset.ucol.mx Fuente de Internet	1 %
11	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	1 %
12	portal.amelica.org Fuente de Internet	<1 %
13	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	www.intagri.com Fuente de Internet	<1 %
15	bvirtual.infoagro.hn Fuente de Internet	<1 %
16	1library.co Fuente de Internet	<1 %
17	www.avocadosource.com Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
19	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
20	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

21	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
22	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
23	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	<1 %
26	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
27	www.scielo.org.co Fuente de Internet	<1 %
28	www.ica.gov.co Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo