

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**  
**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Evaluación de agroquímicos para control de *Phytophthora cinnamomi* en *Macadamia integrifolia* Proteacea L.A.S. Johnson, en finca Agropecuaria Las Elviras, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.**

**TPA Nelson Israel Méndez Arévalo**

**Carnet: 201743454**

**Correo: nelsonmendez642@gmail.com**

**Ing. Agr. M.A. Héctor Rubén Posadas Ruíz**

**Supervisor-Asesor**

**Mazatenango, mayo de 2023**

Mazatenango, Suchitepéquez 03 de mayo de 2023

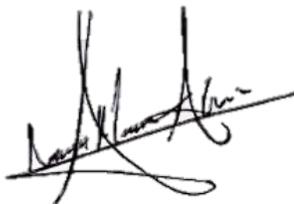
Señores  
Honorable Consejo Directivo  
Centro Universitario de Suroccidente  
Mazatenango, Suchitepéquez.

Estimados Señores:

De conformidad con las normas establecidas en la ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de Graduación titulado: Evaluación de agroquímicos para el control de *Phytophthora cinnamomi* en *Macadamia integrifolia* Proteacea L.A.S. Johnson, en finca Agropecuaria Las Elviras, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

Agradeciendo su atención presta y sin otro particular, me suscribo de ustedes deferentemente.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



---

TPA. Nelson Israel Méndez Arévalo  
Carné: 201743454

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE**

**AUTORIDADES**

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Boilis

Rector

Lic. Luis Fernando Córdón Lucero

Secretario general

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE**

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en funciones

**REPRESENTANTE DE PROFESORES**

MSc. Edgar Roberto del Cid Chacón

Vocal

**REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC**

Lic. Vílser Josvin Ramírez Robles

Vocal

**REPRESENTANTES ESTUDIANTILES**

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

## **COORDINACIÓN ACADÉMICA**

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar  
Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa  
Coordinador Carrea Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Edín Aníbal Ortiz Villatoro  
Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

MSc. José Norberto Tomas Villatoro  
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo  
Coordinador Carrea Ingeniería en Alimentos

Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales  
Coordinador Carrera Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes  
Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lic. Sergio Román Espinoza Antón  
Coordinador Carrera en Ciencias Jurídicas y Sociales Abogado y Notario

Lic. José Felipe Martínez Domínguez  
Coordinador de Área

### **CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA**

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos  
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

M.S. Juan Pablo Ángel Lam  
Coordinador Carrera Periodismo Profesional y  
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios:** Por la sabiduría, el amor, la vida y la oportunidad que me brindó para poder cumplir todas mis metas al lado de mis padres, familia y amigos.
- Madre:** Ingrid Paola Arévalo Figueroa te dedico este logro, ya que, gracias a tu amor, tu esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional que me has dado, hoy he culminado mi carrera universitaria, la cual ha sido una etapa muy importante en mi vida. Me siento el hijo más afortunado por tener una madre tan maravillosa que siempre está en las buenas y en las malas. Sé que este logro te llenará de orgullo y gozo por ver a tu hijo graduado, te amo mucho mamá.
- Padre:** Nelson Amílcar Méndez Ochoa dedico este logro, para que te sientas orgulloso de tu hijo, ya que, con mucho esfuerzo y dedicación hoy culmina sus estudios universitario y se gradúa como Ingeniero Agrónomo. Te amo papá y te agradezco por el apoyo que me has podido brindar.
- Hermano:** Andy Stephen Méndez Arévalo le dedico este logro a mi hermano, agradeciendo tu apoyo incondicional y cariño que siempre me has tenido. Se que este logro servirá de ejemplo para ti, para que tú puedas culminar tu carrera universitaria.
- Novia** Luisa Fernanda Castellanos Salazar te dedico este logro, agradeciéndote tu amor y apoyo durante estos 6 años que hemos compartido juntos. Te agradezco por estar a mi lado en las buenas y en las malas, sabes que te amo y que siempre estaré para ti apoyándote incondicionalmente.

## **AGRADECIMIENTO**

**A:**

Al Centro Universitario De Suroccidente de la Universidad De San Carlos De Guatemala por ser la entidad educativa donde obtuve mi formación profesional.

Mi supervisor M.A. Héctor Rubén Posadas Ruíz, por compartir sus conocimientos y experiencias de forma profesional, siendo base fundamental para los cimientos de todo estudiante.

A los docentes de la carrera de Agronomía Tropical por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias de forma profesional, siendo base fundamental para los cimientos de todo estudiante.

A Finca Agropecuaria Las Elviras por darme la oportunidad de realizar mi práctica y brindarme los recursos necesarios para llevar a cabo los servicios y mi investigación.

A la empresa DISAGRO por brindarme su apoyo en la elaboración de mapas como parte de los resultados de mi investigación inferencial.

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
RESUMEN .....	vii
SUMMARY .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO .....	4
1. Marco Conceptual.....	4
1.1. Orígenes del cultivo de <i>Macadamia integrifolia</i> .....	4
1.2. Generalidades del cultivo .....	4
1.3. Taxonomía Macadamia .....	5
1.4. Descripción Botánica .....	5
1.5. Condiciones edafoclimáticas.....	6
1.6. Requerimiento Nutricional.....	7
1.7. Características que se buscan en cultivares comerciales.....	8
1.8. Manejo agronómico.....	8
1.9. Enfermedades del cultivo de Macadamia.....	10
1.10. <i>Phytophthora cinnamomi</i> . .....	10
1.11. Agroquímicos evaluados en la investigación .....	13
1.12. Mancozeb, Metalaxyl (COLTAC 72 WP) .....	14
1.13. Cymoxanil, Mancozeb (TIZONEX 72 WP) .....	14
1.14. Fosfito Potásico (KALEX Milagro).....	15
2. Marco Referencial .....	16
2.1. Ubicación Geográfica de la unidad de práctica.....	16

2.2.	Límites, extensión y vías de acceso .....	16
2.3.	Clima .....	17
2.4.	Zona de vida.....	17
2.5.	Suelos .....	17
2.6.	Resumen de resultados de investigaciones relacionadas realizadas con anterioridad dentro o fuera del país. ....	17
V.	OBJETIVOS.....	20
1.	General.....	20
2.	Específicos.....	20
VI.	HIPÓTESIS .....	21
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
1.	Materiales .....	22
1.1.	Recursos Humanos.....	22
1.2.	Recursos Físicos.....	22
1.3.	Recursos Financieros.....	22
2.	Metodología.....	23
2.1.	Objetivo 1 Determinar que tratamiento tuvo mayor efecto sobre la reducción de la incidencia y severidad de <i>P. cinnamomi</i> en árboles de macadamia.....	23
2.1.1.	Procedimiento.....	23
2.1.2.	Variable .....	30
2.1.3.	Modo de análisis.....	33
2.2.	Objetivo 2 Comprobar si existió desarrollo radicular como parte de la recuperación de los árboles mediante el Índice de Enraizamiento. ....	34
2.2.1.	Procedimiento.....	34
2.2.2.	Variable .....	37

2.3. Objetivo 3 Determinar los costos de aplicación de cada tratamiento. ....	38
2.3.1. Procedimiento.....	38
2.3.2. Variable .....	39
2.3.3. Modo de análisis.....	39
VIII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	40
2.4. Determinación del tratamiento que tiene mayor efecto sobre la reducción de la incidencia y severidad de <i>P. cinnamomi</i> . ....	40
1.1. Incidencia .....	40
1.2. Severidad.....	42
2.5. Determinación del desarrollo radicular mediante el Índice de Enraizamiento.....	47
2.6. Realizar una estructuración de costos de aplicación para cada tratamiento evaluado. ....	50
3.1. Costos de aplicación de los tratamientos con sulfato de cobre pentahidratado. ....	50
3.2. Costos de aplicación de tratamientos con Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de Potásico.....	51
3.3. Costos de aplicación de los tratamientos con Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de Potasio. ....	52
IX. CONCLUSIONES.....	54
X. RECOMENDACIONES .....	55
XI. REFERENCIAS .....	56
XII. ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1 Clasificación taxonómica. ....	5
2 Composición del fungicida Sulfato de cobre Pentahidratado (PHYTON 6.6 SL) .....	13
3 Composición del fungicida Metalaxyl + Mancozeb (COLTAC 72 WP). ....	14
4 Composición química del fungicida Cymoxanil + Mancozeb. ....	15
5 Tratamientos a evaluar para la investigación. ....	23
6 Fertilizantes para aplicación foliar. ....	29
7 Escala de severidad <i>P. cinnamomi</i> . ....	32
8 ANDEVA Diseño Bifactorial Bloque al Azar con Arreglo En Franjas. ....	34
9 Análisis económico de los tratamientos. ....	39
10 Comparación de los costos de aplicación y la eficiencia obtenida en la incidencia y severidad e índice de enraizamiento. ....	39
11 ANDEVA de la variable incidencia. ....	40
12 Prueba de Tukey de la variable incidencia. ....	41
13 ANDEVA para la variable severidad. ....	42
14 Prueba de Tukey para la variable severidad. ....	43
15 Análisis de varianza de la variable desarrollo radicular. ....	47
16 Prueba de Tukey del factor A para la variable Índice de desarrollo radicular. ....	48
17 Prueba de Tukey del factor B para la variable Índice de Enraizamiento. ....	48
18 Costos de aplicación por hectárea (ha) de los tratamientos con Sulfato de cobre pentahidratado. ....	50
19 Costos de aplicación por hectárea (ha) para los tratamientos con Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio.....	51
20 Costos de aplicación por hectárea (ha) para los tratamientos con Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de potasio.....	52
21 Resumen de los costos de aplicación por ha y por árbol. ....	53
22 Hoja de campo para la toda de datos de incidencia y severidad.....	61
23 Medias reales para la variable Incidencia.....	62
24 Medias transformadas para la variable Incidencia. ....	62

25 Medias reales para la variable Severidad. ....	63
26 Medias transformadas para la variable Severidad. ....	63
27 Medias reales para la variable Índice de Enraizamiento. ....	64
28 Mapas del índice de enraizamiento de los tratamientos evaluados. ....	65
29 Evidencias fotográficas de los resultados obtenidos por los tratamientos.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1 Ciclo biológico de <i>Phytophthora cinnamomi</i> . .....	12
2 Unidad experimental.....	26
3 Croquis del experimento.....	27
4 Introducción de la grilleta en la calicata.....	35
5 Clasificación de raíces. ....	35
6 Hoja de campo para registro de los monitoreos. ....	36
7 Mapeo radicular en árboles de macadamia variedad Clon 4. ....	37
8 Escala de Índice de Enraizamiento (IE). ....	38
9 Grado de severidad 0 del patógeno <i>P. cinnamomi</i> . ....	43
10 Grado de severidad 3 del patógeno <i>P. cinnamomi</i> . ....	44
11 Croquis Finca Agropecuaria Las Elviras.....	60
12 Fungicida TIZONEX 72 WP.....	80
13 Fungicida Metalxyl + Mancozeb (COLTAC 72 WP). ....	80
14 Fungicida PHYTON 6.6 SL .....	81
15 Medición para apertura de calicatas. ....	82
16 Apertura de la calicata para evaluar desarrollo radicular. ....	82
17 Grilleta de 1 m <sup>2</sup> utilizada para las lecturas de desarrollo radicular. ....	83
18 Lectura de desarrollo radicular para determinación del índice de enraizamiento. ....	83
19 Exudaciones de sabia en el tronco por efecto de patógeno <i>P. Cinnamomi</i> . ....	84
20 Aplicación de los tratamiento con Sulfato de cobre pentahidratado. ....	84
21 Aplicación de los tratamientos a base de Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de Potasio. ....	85

## RESUMEN

El trabajo de investigación inferencial se llevó a cabo en Finca Agropecuaria las Elviras, la cual pertenece al municipio de San Francisco Zapotitlán, del departamento de Suchitepéquez. Uno de los principales problemas fitosanitarios del cultivo de macadamia que afronta es la llamada “muerte descendente” causada por el patógeno *P. cinnamomi*. No cuenta con un programa sanitario eficiente para el control de dicha enfermedad por lo que se plantea la evaluación de programas sanitarios para establecer un tratamiento eficiente para el control de esta enfermedad.

Para esta investigación se implementó un experimento bifactorial en un diseño de bloques al azar con un arreglo en franjas, debido a la complejidad para aleatorizar los tratamientos, se implementaron nueve tratamientos y cuatro repeticiones. Los niveles del factor A se componen de los siguientes productos: Sulfato de cobre pentahidratado, Metalaxyl + Mancozeb en combinación con Fosfito de potasio y Cymoxanil + Mancozeb en combinación con Fosfito de potasio. Los niveles del factor B lo conforman las dosis de aplicación las cuales son 75%, 100 y 125% de la dosis recomendada, todas las dosis se expresan en gramos de ingrediente activo por árbol (gr i.a./árbol) de cada producto.

Con base a los resultados estadísticos y la estimación de costos se determinó que el tratamiento 5 (Metalaxyl + Mancozeb más Fosfito de potasio con la dosis de 9 + 7 gr i.a./árbol (100%)) es el más eficiente y reduce los costos de aplicación en un 3.75%, como segunda alternativa el tratamiento 2 (Metalaxyl + Mancozeb más Fosfito de potasio con la dosis de 6.75 + 5.25 gr i.a./árbol (75%)) siendo altamente eficiente para el control de incidencia y severidad y con una eficiencia menor en el desarrollo radicular. Con respecto a los costos de aplicación los reduce en un 23.22%.

El tratamiento menos eficiente para el control de la incidencia y severidad fue el tratamiento 3 (Cymoxanil + Mancozeb más fosfito de potasio con la dosis de 6.75 + 5.25 gr i.a./árbol), ya que no presentó ningún árbol recuperado al concluir la investigación.

## SUMMARY

The inferential research work was carried out at Finca Agropecuaria las Elviras, which belongs to the municipality of San Francisco Zapotitlán, in the department of Suchitepéquez. One of the main phytosanitary problems of the macadamia crop those faces is the so-called "descending death" caused by the pathogen *P. cinnamomi*. Does not have an efficient sanitary program to control this disease, so the evaluation of sanitary programs is proposed to establish an efficient treatment to control this disease.

For this research, a bifactorial experiment was implemented in a randomized block design with a strip arrangement, due to the complexity to randomize the treatments, 9 treatments and 4 repetitions were implemented. Factor A levels are made up of the following products: Copper Sulfate Pentahydrate, Metalaxyl + Mancozeb in combination with Potassium Phosphite, and Cymoxanil + Mancozeb in combination with Potassium Phosphite. Factor B levels are made up of the application doses, which are 75%, 100 and 125% of the recommended dose. All doses are expressed in grams of active ingredient per tree (g a.i./tree) of each product.

Based on the statistical results and the cost estimate, it was determined that treatment 5 (Metalaxyl + Mancozeb plus potassium phosphite with a dose of 9 + 7 gr a.i./tree (100%)) is the most efficient and reduces production costs. application in 3.75%, as a second alternative treatment 2 (Metalaxyl + Mancozeb plus potassium phosphite with the dose of 6.75 + 5.25 gr a.i./tree (75%)) being highly efficient for the control of incidence and severity and with an efficiency less in root development. Regarding the application costs, it reduces them by 23.22%.

The least efficient treatment for the control of the incidence and severity was treatment 3 (Cymoxanil + Mancozeb plus potassium phosphite with the dose of 6.75 + 5.25 gr a.i./tree), since no tree was recovered at the end of the investigation.

## I. INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación inferencial se llevó a cabo en finca Agropecuaria Las Elviras, la cual pertenece al municipio de San Francisco Zapotitlán. El experimento se estableció en el lote San Pablo, el cual cuenta con una extensión de 11.82 Ha, el distanciamiento de siembra es de 7 x 3.5 m, la edad del cultivo es de 27 años, las variedades con las que cuenta son 333, 344, Clon 2, 508 y 660. El lote se encuentra en las coordenadas 14°39'06" de latitud norte y 91°30'58" de longitud oeste.

Una de las enfermedades de mayor importancia en el cultivo de macadamia es la enfermedad muerte descendente causada por el patógeno *P. cinnamomi*, afecta principalmente a los árboles adultos, dañando al sistema radicular impidiendo su desarrollo. Dentro de las sintomatologías se presentan: exudaciones rojizas en el fuste del árbol, amarillamiento y defoliación progresiva desde la parte superior a la parte inferior del árbol.

La presencia de la enfermedad muerte descendente dentro del cultivo de macadamia en finca Agropecuaria Las Elviras es de gran importancia ya que representa el 83% de los árboles enfermos. La enfermedad en un grado de severidad 3 (50%) genera una reducción entre 50% a 70% de la producción de un árbol sano, disminuyendo así el rendimiento por área.

A partir del 2020 la finca ha implementado diferentes tratamientos para el control de dicha enfermedad, sin embargo, aún no se cuenta con un tratamiento específico para controlarla. Actualmente la finca ha adquirido un nuevo producto a base de Metalaxyl + Mancozeb (COLTAC 72 WP) el cual entra en remplazar al producto anterior Cymoxanil + Mancozeb (TIZONEX 72 WP). Este nuevo producto se está incorporando en las aplicaciones de Fosfito de potasio para el control de muerte descendente.

Con el objetivo de establecer un programa fitosanitario que contribuya al control de la enfermedad muerte descendente, se evalúa la eficiencia del Sulfato de cobre pentahidratado, Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio y Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de potasio, para controlar al patógeno. Como parte de los programas sanitarios también se evalúan tres porcentajes de dosis de aplicación que son: 75%, 100% y 125% de la dosis recomendada.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Finca Agropecuaria las Elviras, S.A. actualmente es productora de macadamia *Macadamia integrifolia* en asocio con café *Coffea arabica*; debido a la crisis económica que ha sufrido el café en los últimos años, el cultivo de *M. integrifolia* se ha convertido en el soporte económico.

Por otro lado, la producción de *M. integrifolia* es afectada por diversas plagas y enfermedades de importancia económica; sin embargo, la enfermedad muerte descendente causada por el patógeno *P. cinnamomi*, se considera como la enfermedad de mayor importancia dentro de la plantación, ya que su porcentaje de incidencia es del 4.58% (1693 árboles). Con base en el inventario realizado en el 2022 se presentan los 4 lotes más afectados por *P. cinnamomi*: San Pablo 246 (0.69%) de árboles enfermos, Trapicheña con 216 (0.58%) de árboles enfermos, Animas con 256 (0.66%) árboles y Dolores con 114 (0.31%) árboles.

Con respecto a la severidad se cuenta con 1083 árboles con un grado del 25% del daño, 401 árboles con el 50% del daño y 209 árboles con el 75% del daño. El aumento en la incidencia y severidad de árboles enfermos se debe a la falta de monitoreo constante que permita conocer la dinámica de la enfermedad, ya que se encuentran árboles con severidades del 50% al 75% y que están marcados con un grado del 25% de severidad.

La unidad no cuenta con un tratamiento específico que contribuya al control de *P. cinnamomi*, lo que permite el aumento de la incidencia y severidad del patógeno dentro del cultivo. Por ello es necesario realizar investigación en cuanto a tipos de agroquímicos como Metalaxyl, Cymoxanil y Sulfato de cobre, los cuales son ingredientes activos eficientes para controlar patógenos como *P. cinnamomi*. También se evalúa la eficiencia del fosfito de potasio ya que presenta propiedades antimicóticas que actúa directa o indirectamente sobre el patógeno, como la estimulación de la Resistencia Sistémica Adquirida (Fitoalexinas compuestos que inhiben al patógeno). Además de los agroquímicos también se evalúan dosis de aplicación que pueden ser efectivas para el control de *P. cinnamomi*. Del planteamiento anterior surge la siguiente interrogante:

¿Qué agroquímico y dosis resulta ser más efectivo para control de *Phytophthora cinnamomi* en *Macadamia integrifolia* Proteacea L.A.S. en finca Agropecuaria Las Elviras, San Francisco Zapotitlán, Suchitpeque?

### III. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de *M. integrifolia* en los últimos años se ha convertido en el centro de atención de muchos productores del país, debido al alto valor económico (Q 1,200.00 el qq macadamia en concha) y al mercado externo que se interesa en la producción de Guatemala.

Al ser un cultivo de exportación se busca mejorar el manejo agronómico, por ello se deben implementar estrategias y técnicas de control cultural, biológico y químico, que contribuyan a regular la dinámica de incidencia y severidad de *P. cinnamomi* en el cultivo.

La evaluación de diferentes agroquímicos y dosis contribuirá a establecer un tratamiento específico que regule la incidencia y severidad de la enfermedad dentro del huerto de macadamia.

Se realiza esta investigación por la necesidad de la unidad productiva de contar con un programa sanitario que contribuya a la recuperación de los árboles afectados por *P. cinnamomi*. Además, se propone el uso de fungicidas como el Metalaxyl, Cymoxanil y Mancozeb ya que, de los grupos químicos utilizados en el control de patógenos, las Fenilamidas (Metalaxyl), el carboxílico amida (Cymoxanil) y el Dithiocabamato (Mancozeb) han sido reportados como específicos y eficientes en el control de hongos fitopatógenos de la clase Oomycetes. (Maeso, 2005).

Además, el fosfito de potasio se aplica con la finalidad de estimular la Resistencia Sistémica Adquirida (SAR) que son mecanismos de auto defensa como la producción de fitoalexinas endógenas que inhiben a los patógenos. También existen diversas investigaciones que respaldan la eficiencia del fosfito de potasio para el control de *P. cinnamomi* como la investigación de Smillie et al. (1989) que determinó la susceptibilidad de *P. cinnamomi*, *P. palmivora* y *P. nicotiana* al fosfito. La acción indirecta del ion fosfito incluye la estimulación de los mecanismos de defensa estructural y bioquímica en las plantas; así, Pilbeam et al. (2011) describieron deposición de lignina y suberina alrededor del tejido dañado por *Phytophthora cinnamomi* en plantas de eucalipto tratadas con fosfito de potasio, efecto que limitó el desarrollo del patógeno.

## IV. MARCO TEÓRICO

### 1. Marco Conceptual

#### 1.1. Orígenes del cultivo de *Macadamia integrifolia*.

El árbol de la nuez de macadamia es originario de los bosques lluviosos costeros de la parte de Queensland y Nueva Gales del Sur, en Australia. Fue introducido en la Isla de Kukuhiiale, Hawai (EUA), más o menos en el año 1,885; luego se establecieron plantaciones en pequeña escala en Sudáfrica Malawi, Kenia, Sur de California, Costa Rica, Brasil, Guatemala, Fiji y Zimbabwe. (De León, 1998)

El árbol de macadamia fue descubierto a mediados del siglo XVIII por el doctor Walter Hill primer director del jardín botánico de Brisbane (Australia) mientras conducía un estudio sobre la flora del estado de Queensland. El botánico Frederick Von Mueller la describió científicamente en 1,858 denominándola *Macadamia ternifolia*, en honor al doctor John Macadam presidente de la sociedad filosófica de Victoria, Australia. La primera plantación con fines comerciales fue establecida en Hawai (EUA) en 1,922 por una firma industrial que aún a la fecha controla la mayor parte de la producción de nuez de macadamia en Estados Unidos. (Velarde, 1965)

#### 1.2. Generalidades del cultivo

Por su excelente clima, varias regiones de Guatemala se dedican al cultivo y exportación de nuez de macadamia. El país posee una gran riqueza en climas y regiones favorables para su cultivo. (Salazar, 2006)

La nuez de macadamia es el nuevo cultivo para el desarrollo de Guatemala y de América Latina. Las primeras nueces fueron traídas desde Hawái y en Guatemala se ha ido experimentando con nuevas variedades propicias de la zona para buscar mayor rendimiento y calidad del fruto. (Salazar, 2006)

### 1.3.Taxonomía Macadamia

A continuación, se presenta la taxonomía del cultivo de *M. integrifolia*.

Cuadro 1 Clasificación taxonómica.

Clase	Equisetopsida C. Agardh
Subclase	Magnoliidae Novák ex Takht.
Superorden	Proteanae Tajt.
Orden	Proteales Juss. ex Bercht. y J. Presl
Familia	Proteaceae Juss.
Genero	<i>Macadamia</i> F. Muell.
Especie	<i>Macadamia integrifolia</i> Maiden & Betche

Fuente: Tropicos.org Missoari Botanical Garden (2022)

### 1.4.Descripción Botánica

La planta de la macadamia, pertenece al género *Macadamia* de la familia Proteaceae. Dos de sus especies producen nueces comestibles (*M. integrifolia* y *M. tetraphylla*). *M. integrifolia* es de cáscara lisa y suave, los árboles son siempre verdes, de porte mediano (20 m los adultos) y copas de 10 a 12 m; flores pequeñas de color crema, dispuestas por centenares en racimos de 15 – 30 cm de largo, madurando alrededor de 12 nueces. *M. tetraphylla* es de cáscara granulosa y dura, con hojas en verticilos de 4 hojas, las flores son rosadas de 20 – 40 cm de largo.

La macadamia es un árbol de follaje verde, que puede llegar a crecer hasta quince metros de altura y nueve metros de diámetro en su copa. El sistema radicular consta de una raíz principal con raíces secundarias, cuya función es la de anclaje; también aparecen grupos de raíces fibrosas llamadas remadoras, cuya función es la de aumentar el área de absorción. Las hojas son espatuladas, coriáceas y de un color verde intenso. Su floración es un racimo, que posee de cien a cuatrocientas flores y se encuentran de tres a cuatro racimos por axila. La flor es sostenida por un pedúnculo. No todas las flores se auto fecundan, por lo que únicamente se desarrollan veinte frutos por racimos aproximadamente.

El fruto de macadamia es simple, se deriva de un pistilo simple seco e indehiscente, tiene un pericarpio seco al madurar permanece cerrado reteniendo la semilla. Su germinación es hipogea

la semilla es latente por su cubierta dura y su propagación comercial requiere de un sistema rápido de reproducción, por lo que se utiliza el injerto (Cacho, 2017)

### **1.5. Condiciones edafoclimáticas**

La macadamia es originaria de los bosques lluviosos del litoral de Australia, por consiguiente, se adapta a regiones comprendidas entre las zonas de vida que Holdridge denomina Bosque Húmedo y muy húmedo Subtropical, húmedo subtropical y Bosque muy húmedo Pre montano tropical. (Cacho, 2017)

#### **1.5.1. Temperatura**

La temperatura es la variable climática más determinante en el crecimiento y la productividad de la macadamia. La temperatura óptima es de 16 a 25°C; períodos prolongados de exposición a altas temperaturas pueden producir un estrés en el árbol que se observará en la coloración amarilla de los nuevos brotes de las hojas.

Altas temperaturas mayores a 35°C en los períodos de floración pueden reducir la cosecha y causar un alto porcentaje de nueces inmaduras que se caerán durante las primeras etapas de desarrollo, la fotosíntesis se inhibe a temperaturas menores a 3°C o mayores a 33°C. Lo ideal es establecer las plantaciones en zonas libres de heladas. (Sol, 2011)

#### **1.5.2. Altitud**

El efecto de la altura varía de acuerdo a la latitud del lugar. Las regiones propicias para el cultivo de la macadamia en Guatemala están comprendidas entre los 500 y 1,500 msnm siempre que no exista nubosidad en el área, porque favorece el desarrollo de hongos y líquenes sobre la parte aérea del árbol de macadamia. La macadamia requiere de 3 a 8 horas luz por día. (Coto & Chacón, 1986)

#### **1.5.3. Precipitación**

La Macadamia es muy sensible a la sequía, por tanto, es más importante una buena distribución de las lluvias a lo largo del año, que la cantidad total de precipitación. No se deben presentar sequías de más de un mes. El rango apropiado de precipitación anual esta entre 1500 y 3000 mm, cuando está por debajo de 1200 mm se debe contar con riego. Para años secos, una reserva de 5000 Litros de agua para riego por hectárea es suficiente.

La precipitación mensual adecuada debe ser superior a 100 mm, cuando está por debajo se debe disponer de riego complementario, especialmente durante el periodo de floración y formación de nueces. Un déficit hídrico severo origina una considerable caída de frutos jóvenes. (TRANSCAFÉ S.A., 2022)

#### **1.5.4. Suelos**

La macadamia se adapta a un amplio rango de suelos; sin embargo, el requerimiento básico de los árboles de macadamia es un suelo profundo, en promedio de 80 cm de profundidad, y bien drenado. Se adapta a una variedad de suelos, tanto pesados (esto es, con alto contenido de arcillas) como ligeros y suelos pobres, siempre y cuando se les dé un manejo adecuado. (Sol , 2011)

La macadamia requiere de suelos porosos, bajos en fósforo, pero se adapta a suelos salinos o calcáreos con buen contenido de materia orgánica. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) deseada es de 10 a 15 meq/100 g de suelo y un pH entre 5.0 a 5.5, aunque puede adaptarse a pH de 4.5 a 6.5. La pendiente del terreno debe ser inferior al 30 %. Se puede cultivar macadamia en una gran variedad de suelos moderadamente ácidos, desde lavas tipo “a’ a” levemente meteorizadas hasta latosoles profundos. (De León, 1998)

#### **1.5.5. Vientos**

La macadamia es susceptible a vientos fuertes, lo que generalmente afecta la floración, reduciendo la producción por la caída de las flores, además que ocasiona quebradura a tallos, ramas y en casos extremos también el tronco. Por otro lado, los vientos inciden en la fuerte transpiración del árbol, manifestándose en la falta de hidratación de las hojas. (De León, 2011)

### **1.6. Requerimiento Nutricional**

La macadamia es un cultivo muy exigente en cuanto a elementos mayores como el Nitrógeno y Potasio; con relación al fósforo es medianamente exigente. Por ejemplo, un árbol de diez años de edad requiere 0.36 kg de Nitrógeno, 0.54 kg de Potasio y 0.23 kg de fósforo por año. En cuanto a elementos menores en el caso del Calcio (Ca), su deficiencia afecta el crecimiento de los brotes causando la muerte descendente y sus hojas jóvenes crecen deformadas, con una apariencia de gancho en el ápice. En el caso de Magnesio (Mg), que es un elemento que participa en los procesos de fotosíntesis y el metabolismo de los carbohidratos, su deficiencia causa

amarillamiento intervenal en las hojas nuevas y su desarrollo es pequeño y angosto. (Cacho, 2017)

El Azufre (S), afecta el crecimiento de la planta, su deficiencia hace que las hojas tomen un color verde claro que se inicia en la base y termina en el ápice, posteriormente se torna color café y cubre gran parte de la hoja. El Boro (Bo), favorece la floración y el cuaje del fruto; su deficiencia se presenta en las hojas jóvenes, retrasando su desarrollo y encartuchándose hacia el envés. El Zinc (Zn), incide en el aumento de la producción al favorecer el cuaje del fruto, su deficiencia retrasa el crecimiento y disminuye el tamaño de las hojas y la longitud de los entrenudos, además causa defoliación que se inicia en la parte superior e inferior avanzando hacia la zona media del árbol, su deficiencia causa amarillamiento en los ápices de las hojas. La deficiencia de Manganeseo (Mn), se caracteriza por la aparición de zonas cloróticas y necróticas en el borde de las hojas y luego toda el área foliar. Los niveles óptimos en el follaje del cultivo de la macadamia de elementos mayores son: Nitrógeno 1.50%; Fósforo 0.07% y Potasio 0.60%. (Cacho, 2017)

### **1.7. Características que se buscan en cultivares comerciales**

Según Anacafé, (2013) las características que se buscan en cultivares comerciales son las siguientes:

- Producción precoz y estándar
- Alta recuperación de semilla
- Desprendimiento total de la nuez a su madurez
- Estructura fuerte de las ramas
- Resistencia al ataque de insectos y enfermedades
- Semillas con alto contenido de aceites y larga durabilidad

### **1.8. Manejo agronómico**

#### **1.8.1. Fertilización**

Uno de los síntomas principales que presenta la macadamia al contar con una nutrición deficiente es la merma en la producción, declinación en la condición del árbol con menos cantidad de hojas y más distanciadas. Se hace necesario basarse en un análisis de suelos, que ayuden a establecer adecuados niveles de nutrición.

El nitrógeno y productos basados en potasio, son elementos necesarios para la fertilización de la macadamia. En fertilizaciones nitrogenadas se recomienda una aplicación de 25 a 50 gramos por

año por árbol. La fertilización con Potasio se recomienda en relación de 1:1 con nitrógeno hasta un quinto año y del sexto año en adelante la relación puede variar de 1.25 a 1.50:1.

En la nutrición se hace importante la aplicación de Boro, elemento que es responsable de división celular, germinación de polen, transporte de carbohidratos a través de la pared celular, así como el desplazamiento de hormonas en la planta. Con la deficiencia de boro las flores y frutos son sensibles. Para el aumento de la producción, recuperación y aumento de calidad de la nuez la aplicación de boro foliar es una buena alternativa

En la fertilidad de la parte femenina de la floración, el zinc juega un papel muy importante la cual debe de aplicarse de manera foliar. (Anacafé, 2013)

### **1.8.2. Podas**

La forma de los árboles incide directamente sobre su resistencia al viento, su precocidad de producción, su vigor, en el número de ramas productoras de flores que a su vez darán frutos y en su período de producción. Los años formativos del árbol de macadamia son los primeros 3 o 4 años.

Durante estos primeros años, es importante que el árbol construya una estructura fuerte tanto de la copa como en sus raíces, para que pueda dar y sostener su cosecha. A las primeras podas que debe recibir el árbol se les conoce como podas formativas. Este tipo de podas puede realizarse inmediatamente después de plantar, haciendo un corte a partir de los 70 u 80 cm de altura de la planta para estimular el crecimiento de ramas laterales. Todas las ramas que crezcan debajo de estos 70 u 80 cm deberán ser eliminadas para asegurar que las ramas que se desarrollarán sobre el injerto formen el primer nivel o piso de ramas. (Sol Quintas, 2011)

Tan pronto se desarrollen las nuevas ramas laterales después de la poda, se definirá una de las ramas como la rama central o líder y cada 30 cm aproximadamente se repetirá esta poda para dar los diferentes niveles de pisos en el árbol de macadamia. (Sol Quintas, 2011)

### **1.8.3. Control de Malezas**

Según Anacafé, (2013) se realiza el control de malezas para conservar el plato de cosecha limpio, asimismo para evitar la competencia entre las plantas jóvenes. Para el control de malezas se integran los siguientes métodos:

- Método manual: la maleza se elimina con machete, se realiza en épocas lluviosas para evitar la erosión hídrica, generalmente en plantaciones jóvenes.
- Método mecánico: se realizan en plantaciones adultas, con desbrozadoras, realizadas por personas especializadas, de manera que se pueda evitar daños en las raíces y al fuste del árbol.
- Método químico: se utilizan herbicidas sistémicos y quemantes, en plantaciones en crecimiento.

### **1.9. Enfermedades del cultivo de Macadamia**

Se identifican para la macadamia enfermedades importantes entre las que destacan las siguientes: pudrición de la raíz *Amillaria mellea*, pudrición negra de la raíz *Ceratocystis fimbriata*, llaga estrellada *Rosellinia pepo*, maya *Rosellinia bunodes*, pudrición del tallo *Botryodiplodia sp*, chancros del tallo *Phytophthora cinnamomi*, tizón de la hoja *Cylindrocladium scoparium*, quema de la hoja *Pestalotia spp*, tizón de la flor *Botrytis inerea*, mancha de levadura *Nematospora coryli* y pudrición de la nuez *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Colletotrichum*, *Rhizoctonia*. (Walforth & de los Ríos, 2005)

### **1.10. Phytophthora cinnamomi.**

#### **1.10.1. Sintomatología**

Puede atacar las plantas de *M. integrifolia* en todas sus etapas de crecimiento. Los ataques son más severos en suelos arcillosos o en suelos arenosos con un subsuelo rocoso o con capa de arcilla que interfieran con el drenaje del agua. Condiciones de alta humedad y de sequía pueden acelerar los síntomas. El síntoma más obvio es la muerte de la planta desde la parte superior de la copa y de los extremos de las ramas hacia abajo. A esto se debe el nombre de Muerte Descendente. (Téliz, 2000)

Los síntomas en la parte aérea son poco claros y pueden confundirse con los causados por una deficiencia nutricional o stress hídrico (puntas de las ramas secas, amarillamiento y caída prematura de hojas, aborto de frutos, etc.). Si las plantas están muy afectadas la pudrición puede alcanzar el cuello de la raíz agrietándose la corteza en la base del tronco y desprendiéndose con facilidad. (Arellano & da Costa, 2015)

### **1.10.2. Ciclo de vida**

El micelio puede permanecer saprófito en el suelo sobre materia orgánica y ser transportado con el mismo a otras zonas. Si las condiciones de humedad, sobre todo, le son favorables (*Phytophthora cinnamomi* necesita agua líquida en el suelo para desarrollarse) germina y produce esporangios que liberan zoosporas móviles con dos flagelos que son atraídas por quimio y electrotactismo hacia las raíces donde penetran directamente o por zonas lesionadas. (Arellano & da Costa, 2015)

El hongo produce oosporas (órganos de reproducción sexual) y clamidosporas (esporas de resistencia, terminales, intercalares o en racimos) cuando las condiciones del entorno son desfavorables para su crecimiento vegetativo. (Arellano & da Costa, 2015)

Las oosporas y clamidosporas junto con el micelio saprófito pueden ser transportados por el agua, en la tierra donde se encuentran, por el hombre en las labores agrícolas, animales, etc. dispersando la enfermedad hacia otras zonas. Cuando las condiciones de humedad y temperatura del suelo son favorables (15-30 °C) las oosporas y clamidosporas germinan, produciendo zoosporas que continúan el ciclo. (Arellano & da Costa, 2015).

A continuación en la figura uno se presenta el ciclo de vida del patógeno *P. cinnamomi*:

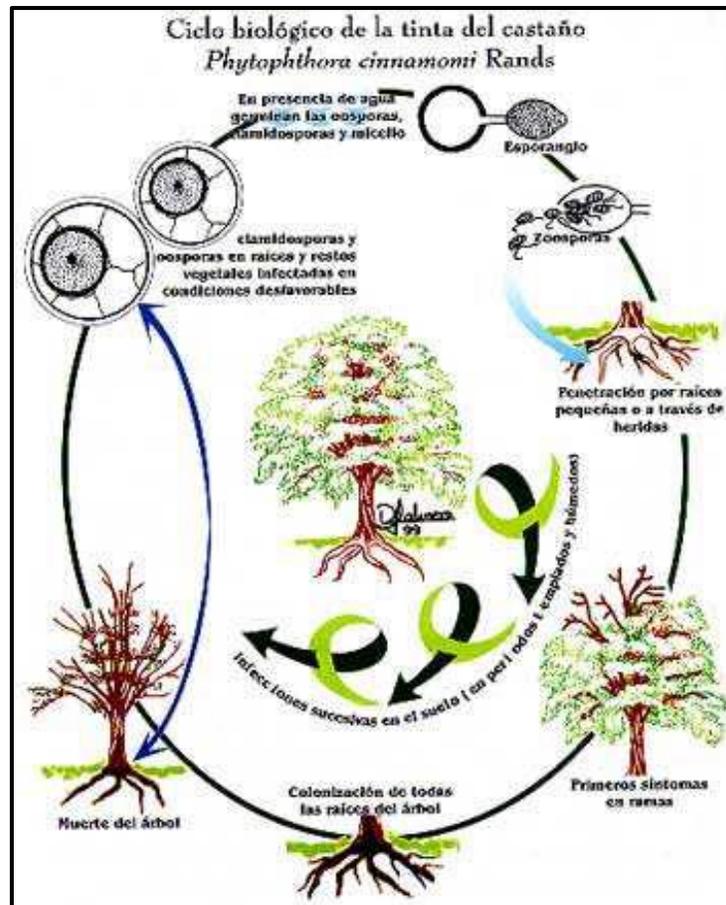


Figura 1 Ciclo biológico de *Phytophthora cinnamomi* en el árbol de castaño

Fuente: Arellano & da Costa, (2015)

### 1.10.3. Mecanismo de defensa

*Phytophthora* es un hongo que se desarrolla en ambientes húmedos, necesita de suelos húmedos para el correcto desarrollo de las esporas de propagación. Los esporangios que producen las clamidosporas, producen zoosporas móviles. Las zoosporas y clamidosporas son resistentes a condiciones desfavorables del suelo, obstaculizando el control de la enfermedad. El hongo demanda de agua para formar y liberar las esporas, de manera que germinen e infecten las raíces. Uno de los elementos indirectos de dispersión son los movimientos de tierra que se realizan para la formación de los viveros, principalmente los substratos, pues estos suelos no son analizados para el diagnóstico de la presencia de patógenos.

El patógeno infecta principalmente a las raíces en las épocas cálidas del año, ya que, este hongo forma sus esporas cuando existen temperaturas que oscilan entre 25 °C y 30°C. Esta producción de zoosporas incrementa la capacidad patogénica del hongo en períodos de tiempos muy cortos.

Cuando el hongo existe en el suelo y la cantidad de agua que contienen estos es alta se hace más fácil y rápido la dispersión e infestación en las raíces, efecto que está relacionado con las zoosporas que están rodeadas de flagelos que le permiten movilizarse y llegar a zonas libres de la enfermedad. Una forma principal de diseminadores de las zoosporas de *Phytophthora* spp es el riego por inundación. (Cuá, 2015)

## **1.11. Agroquímicos evaluados en la investigación**

### **1.11.1. Sulfato de Cobre Pentahidratado (Python 6.6 SL)**

#### **1.11.2. Descripción**

Es un fungicida y bactericida sistémico de doble acción: preventiva y curativa que controla un amplio espectro de enfermedades foliares, radicales, de flores y frutos causados por bacterias y hongos en una diversidad de cultivos.

Su fórmula está patentada a base de sulfato de cobre pentahidratado en combinación con un pool de ácidos orgánicos que permiten que la molécula de cobre pueda ser absorbida y transportada sistemáticamente vía floema y xilema hacia todos los tejidos de la planta.

Previene y controla de manera eficaz las enfermedades que atacan las raíces y el tronco de la planta. A continuación, se presenta la composición química:

Cuadro 2 Composición del fungicida Sulfato de cobre Pentahidratado (PHYTON 6.6 SL)

Nombre	Fórmula	Concentración %(p/v)
PHYTON 6.6 SL	Sulfato de cobre Pentahidratado	6.6
Ingredientes inertes	-----	93.40

Fuente: MAGUA, (2022)

#### **1.11.3. Modo y mecanismo de acción**

Phyton 6.6 SL es un producto de acción sistémica que es absorbido por la planta y transportado por la corriente de la savia. Ensayos realizados en la Universidad de Ohio-USA, determinaron que las plantas tratadas con Phyton 6.6 SL mantenían 122 ppm en el follaje después de 20 días de tratada versus 38 ppm las tratadas con otras fuentes de cobre.

El ingrediente activo interfiere en los procesos reproductivos de hongos y bacterias, especialmente a nivel de la pared celular, no afecta el núcleo del patógeno por lo cual no genera resistencia.

### 1.12. Mancozeb, Metalaxyl (COLTAC 72 WP)

Este producto está constituido por la mezcla de dos ingredientes activos Mancozeb y Metalaxyl, que le confiere una acción sistémica y de contacto. De esta manera se combina la acción inicial de Mancozeb y el poder residual del Metalaxyl. Es un fungicida sistémico que está especialmente indicado al control de hongos de la familia de los Oomycetes.

**Acción del Mancozeb:** es un fungicida de contacto protectante de uso preventivo. Este actúa interrumpiendo el metabolismo de los lípidos, afectando a la respiración y la producción de ATP.

**Acción del Metalaxyl:** es un fungicida sistémico para el control de patógenos aéreos y del suelo, su movimiento dentro de la planta resulta ser basipetal y acropetal. Actúa sobre el crecimiento subcuticular de las hifas de los hongos inhibiendo la síntesis de proteínas como consecuencia de la interferencia con la síntesis del RNA en las células fungosas, por estas razones lo convierte en un fungicida eficiente para el control de *P. cinnamomi*. Se presenta la composición:

Cuadro 3 Composición del fungicida Metalaxyl + Mancozeb (COLTAC 72 WP).

Nombre	Formula	p/p
Metalaxyl	Methyl N-(methoxyacetyl)-N-(2.6-xylyl)-DL-alaninate	8
Mancozeb	manganese ethylenebis (dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt	64
Ingredientes inertes	----	28

Fuente: Serviagro (2022)

### 1.13. Cymoxanil, Mancozeb (TIZONEX 72 WP)

Tipo de producto: Fungicida agrícola

Formulación: Polvo Mojable (WP)

Ingrediente activo: Cymoxanil + Mancozeb

Grupo químico: Cyanoacetamide + Dithiocarbamato

La aplicación de estos productos es de choque o preventiva de las enfermedades. Se recomienda usarlos de manera preventiva y de forma calendarizada para prevenir y evitar el desarrollo de la enfermedad. La aplicación se hace por vía foliar o al suelo. Con la excepción de ácido fosforoso que solo es recomendado al suelo por ser un ácido. Cuá , (2015)

Es un fungicida de doble acción preventivo y post-infección cuando el hongo está en incubación. Además, posee acción sistémica local, lo cual mejora su efecto, en periodos de alta presión de las enfermedades.

**Mancozeb:** es un fungicida de contacto protectante de uso preventivo. Este actúa en forma multisitio interrumpiendo varios procesos metabólicos, afectando a la respiración y la producción de ATP.

**Cymoxanil:** es un fungicida sistémico de acción traslaminar que actúa sobre la síntesis del ARN e inhibe la enzima succinato hidrogenasa, que afecta la respiración de los hongos. A continuación, en el cuadro se presenta la composición química:

Cuadro 4 Composición química del fungicida Cymoxanil + Mancozeb.

Nombre	Formula	% m/m
Cymoxanil	1-(2-cyano-2-methoxyiminoacetyl)-3-ethylurea	8
Mancozeb	manganese ethylenebis (dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt	64
Ingredientes inertes	----	28

Fuente: Green Life (2022)

#### 1.14. Fosfito Potásico (KALEX Milagro)

El fertilizante es un abono líquido mineral, el fosforo constituye un macroelemento importante para el crecimiento de los tejidos vegetales, favorece el desarrollo del sistema radicular y es fundamental para los procesos fisiológicos ligados a la floración, cuaje y maduración de frutos. El potasio, en cambio regula la transpiración, interviene en la formación de sustancias azucaradas y en su translocación hacia los órganos de reserva de la planta.

El Fosfito potásico es una sal fertilizante caracterizada por una muy alta solubilidad en el agua y de estructura química de pequeñas dimensiones con elevado contenido de  $P_2O_5$ : en base a estas características, presenta una destacada actividad sistémica en la planta siendo

capaz de penetrar con facilidad en los tejidos vegetales y de trasladarse ya sea en sentido ascendente como descendente.

Además de su función nutricional brinda una función antimicótica, induciendo la síntesis de fitoalexinas endógenas, sustancias naturales que potencian la resistencia de las plantas respecto a patógenos y bacterias.

#### **1.14.2 Mecanismo de acción de los fosfitos**

Las aplicaciones de Fosfito de Potasio en los árboles enfermos tienen un efecto directo e indirecto para el control del patógeno. Como mecanismos de acción directa sobre el patógeno el ion fosfito entra en contacto con los organismos fitopatógenos, afectando su crecimiento y reproducción al influir en la expresión de genes que codifican la síntesis de compuestos indispensables en la estructura y fisiología celular. Como mecanismo de acción indirecto, al entrar en las células del tejido vegetal activa los mecanismos bioquímicos (SAR) como la producción de polisacáridos, proteínas relacionadas con la patogénesis, fitoalexinas y estructuras de defensa como la deposición de calosa que restringe la penetración y supervivencia de los patógenos en las plantas. R. & D., (2005)

## **2. Marco Referencial**

### **2.1. Ubicación Geográfica de la unidad de práctica.**

La evaluación se llevó a cabo en Finca Agropecuaria Las Elviras, perteneciente a la empresa TRANSCAFÉ S.A. ubicada en el municipio de San Francisco Zapotitlán, del departamento de Suchitepéquez. En las coordenadas geográficas Latitud norte 14°38'47.67", Longitud oeste 91°30'43.70". La investigación se ejecutará durante la época lluviosa comprendiendo los meses de mayo a octubre. El mapa de la finca puede visualizarse en la figura 13 de los anexos. (Morán, 2017)

### **2.2. Límites, extensión y vías de acceso**

La finca cuenta con una extensión de 152 ha de la cuales 121.06 Ha son cultivo de macadamia en asocio con café y 24.42 Ha de macadamia en monocultivo. La finca colinda al norte con Finca Altamira, Al este con Finca Las Nubes, al sur con Finca Santa Elena y al oeste con Finca Las Panchas y Finca San Pablo.

Para ingresar a Finca Las Elviras existen dos entradas. La primera es a través del municipio de San Francisco, departamento de Suchitepéquez y la segunda por el municipio del Nuevo Palmar Quetzaltenango, ambas entradas son carreteras asfaltadas. Las entradas convergen en una misma calle pavimentada que pasa por el caserío Las Rosas, posteriormente se debe de ingresar por la Finca Agrícola Paris y Joven Francia para poder llegar a Finca Las Elviras. Las calles con las que cuentan ambas fincas son empedradas. (Morán, 2017)

### **2.3. Clima**

El clima de finca Agropecuaria Las Elviras es templado, se encuentra a una altura de 1050 msnm. Las temperaturas oscilan entre los 18 °C y 28 °C, con una temperatura media anual de 21.6 °C, cuenta con una humedad relativa del 70%. (Morán, 2017)

### **2.4. Zona de vida**

Según el sistema de clasificación de Holdridgé, (1982), Finca Las Elviras se encuentra en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido (BMHsc)

### **2.5. Suelos**

Según Simmons , Tárano y Pinto, (1959), citado por Morán, (2017), la textura de los suelos dentro de la finca Agropecuaria Las Elviras se clasifica como arcillosos y franco arcillosos, son ricos en materia orgánica, ya que posee un 8% de esta, los suelos tienen una profundidad efectiva de 0.9 m. El pH de los suelos se encuentra en un promedio de 5.75 y una conductividad eléctrica de 0.05 dS/m<sup>2</sup>.

La demanda de agua en la finca es suplida por una toma de agua la cual es abastecida por el río Negro, dicha toma se encuentra ubicada en la parte baja de la sección “Barranco Toma” la cual recorre gran parte de la finca hasta terminar en la Finca Paris y Joven Francia. Además de esta toma, la finca cuenta con dos nacimientos de agua temporales los cuales solamente se presentan en la época lluviosa. (Morán, 2017)

## **2.6. Resumen de resultados de investigaciones relacionadas realizadas con anterioridad dentro o fuera del país.**

### **2.6.1. Uso del Metalaxyl**

- Akinsanmi y Drenth, (2013) “Aplicaciones al fuste de Metalaxyl y Fosfito de Potasio par el control de *P. cinnamomi* en el cultivo de *M. integrifolia*.”, concluyen que la

aplicación del Metalaxyl y fosfito resultan ser eficientes en el control de la enfermedad de *P. cinnamomi* en el cultivo de *M. integrifolia*.

- Justo Luz (2021) “Evaluación de fungicidas para el control de *P. cinnamomi* en el cultivo de *Persea americana M.*”, se demuestra que el tratamiento 2 aplicación de Metalaxyl + Mancozeb es el mejor tratamiento para el control de dicho patógeno.
- Andrade (1997) “Etiología y control de la tristeza del palto causada por *P. cinnamomi*” menciona que los tratamientos realizados con Alliete (Fosetyl de aluminio), Ridomil (Metalaxyl + Mancozeb), phyto-phos, M-5 (Acido fosforoso) y un testigo. Tuvo como resultado: que los productos más efectivos para el control de muerte regresiva fueron el Ridomil (Metalaxil + Mancozeb) y el M-5 (ácido fosforoso) logrando protección en la planta hasta 120 días a más.

### **2.6.2. Uso del sulfato de cobre pentahidratado**

- R. Gómez (2017) “Práctica profesional supervisada en el cultivo de *M. integrifolia* en finca La Suiza del Palmar Quetzaltenango”, Las aplicaciones al suelo aplicando 5 lt de solución por árbol, obtuvieron resultados satisfactorios en la recuperación de árboles enfermos por *P. cinnamomi*, se evidencia la desaparición del amarillamiento de los árboles y la recuperación del follaje a partir del tercer mes. Por ello se considera importante evaluar este producto en Finca Agropecuaria Las Elviras para contrarrestar la incidencia y severidad de árboles enfermos por *P. cinnamomi*.

### **2.6.3. Uso del fosfito**

- Velandia Monsalve, Viteri Rosero, Rubio Cárdenas, & Tovar Duarte, (2012), “Efecto del fosfito de potasio en Combinación con el fungicida Metalaxil + Mancozeb en el control del Mildew velloso *Peronospora destructor Berk* en Cebolla de Bulbo (*Allium cepa L.*)” La evaluación de aplicaciones de Fosfito de potasio más Metalaxyl + Mancozeb fueron efectivas en el control de la incidencia y severidad de *P. destructor* en el cultivo de cebolla *Allium cepa L.*
- Lobato, Olovieri, & Alvarez, (2007), “Efecto inhibitorio de compuestos fosfitos sobre *Phytophthora cinnamomi*”. Determina que la eficiencia del fosfito de potasio en el control de fitopatógenos de la clase Oomycetes es atribuida a un efecto directo e indirecto. Directamente la inoculación de fosfito en el medio de cultivo tuvo un efecto

fungicida al restringir el crecimiento e inhibir la esporulación de *Phythium* y la aplicación de fosfitos a la base de las plantas en lupino (*Lupinus angustifolius* L. “Unicrop”) las protegió del ataque de *Phytophthora cinnamomi* (Rands)

- Según Little & Hills (1991), “La evaluación de fosfito cálsico, potásico y magnésico en el control de *Phytophthora cinnamomi* en Paltos *Persea americana* Mill Cv. Hass plantados en contenedores”. Los resultados indican que los fosfitos estimularon la producción de hojas en alta tasa en las plantas, además se observó una mayor densidad de raíces que los testigos inoculados con *P. cinnamomi*.
- Thizy et al. (1997), “*El aguacate y su Manejo Integrado*”. Conociendo las ventajas del fósforo se evalúa el ácido fosforoso y los fosfitos como una fuente de fósforo en cítricos, descubriendo la eficiencia del fosfito de potasio para el control de *Phytophthora palmivora*, agente causal de la gomosis de los cítricos.

## V. OBJETIVOS

### 2. General

- Evaluar agroquímicos para control de *Phytophthora cinnamomi* en *Macadamia integrifolia* Proteacea L.A.S. Johnson, en finca Agropecuaria Las Elviras, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez.

### 3. Específicos

- 2.1. Determinar que tratamiento tiene mayor efecto sobre la reducción de la incidencia y severidad de *P. cinnamomi* en los árboles de macadamia.
- 2.2. Comprobar si existe desarrollo radicular como parte de la recuperación de los árboles mediante el Índice de enraizamiento.
- 2.3. Comprobar si existe interacción entre los niveles del factor A y niveles del factor B.
- 2.4. Realizar una estructuración de costos de aplicación para cada tratamiento.

## VI. HIPÓTESIS

### Ha:

- Ha.1 Al menos un nivel del factor A (Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio, Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de potasio y Sulfato de cobre pentahidratado) producirá un efecto diferente en las variables respuesta.
- Ha.2 Al menos un nivel del factor B (Dosis de aplicación en gr i.a./árbol equivalentes al 75%, 100% y 125% de la dosis) producirá un efecto diferente en las variables respuesta.
- Ha.3 Existirá alguna interacción entre los niveles del factor A (Agroquímicos) y niveles del factor B (Dosis) sobre las variables respuesta.

## **VII. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4. Materiales**

#### **1.1. Recursos Humanos**

- Jornales
- Estudiante EPS

#### **1.2. Recursos Físicos**

- PHYTON 6.6 SL (Cobre pentahidratado)
- COLTAC 72 WP (Metalaxyl + Mancozeb)
- Fosfito Potásico (Milagro Kalex)
- TIZONEX 72 WP (Cymoxanil + Mancozeb)
- Moto Bomba
- Tonel plástico (200 L)
- Nylon diferentes colores
- Probeta 50 ml
- Balanza digital
- Caneca
- Agua
- Libreta de campo
- Boleta
- Lápiz
- Computadora
- Celular (fotografías)
- Tractor (transporte agua)

#### **1.3. Recursos Financieros**

- Finca Agropecuaria las Elviras (Empresa TRANSCAFÉ S.A.)

## 2. Metodología

### 2.1. Objetivo 1 Determinar que tratamiento tuvo mayor efecto sobre la reducción de la incidencia y severidad de *P. cinnamomi* en árboles de macadamia.

#### 2.1.1. Procedimiento

##### 2.1.1.1. Descripción de la investigación

Se llevó a cabo en finca Las Elviras específicamente en la sección San Pablo, que cuenta con un área de 11.82 ha, el distanciamiento de siembra es de 7 x 3.5 m, los árboles en la sección tiene una edad de 27 años y las variedades con las que se cuenta en la sección son 344, 333, 508, 660, Clon 2 y Caro, el número de árboles que se tiene sembrados es de 3409.

Según los datos del monitoreo se tiene un total de 246 árboles afectadas por el patógeno *P. cinnamomi*, con respecto a la severidad según la escala que utiliza la empresa TRANSCAFÉ S.A. se tienen 160 (65%) árboles con un grado de severidad 1 equivalente a un 25% del daño, 49 (20%) árboles con un grado de severidad del 50% del daño y 37 (15%) con un grado de severidad del 75% del daño.

##### 2.1.1.2. Tratamientos a evaluar

En el experimento bifactorial los niveles del Factor A está compuesto por los siguientes agroquímicos: Sulfato de cobre pentahidratado, la mezcla de Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio y Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de potasio. Los niveles del factor B se componen de las dosis de aplicación expresadas en gramos de ingrediente activo por árbol, equivalentes al 75%, 100% y 125% de la dosis que se recomienda. En el siguiente cuadro se presentan los tratamientos a evaluar en la investigación:

Cuadro 5 Tratamientos a evaluar para la investigación.

Tratamientos	Factores		Color de Identificación	
	Factor A Dosis gr i.a./árbol	Factor B Fungicidas		
1	75% (A1)	1.237	Sulfato de cobre Pentahidratado (B1)	Amarillo
2		6.75 + 5.25	(Metalaxyl + Mancozeb) + Fosfito de Potasio (B2)	Verde
3		6.75 + 5.25	(Cymoxanil + Mancozeb) + Fosfito de Potasio (B3)	Rojo
4	100% (A2)	1.65	Sulfato de cobre Pentahidratado (B1)	Azul
5		9 + 7	(Metalaxyl + Mancozeb) + Fosfito de Potasio (B2)	Morado
6		9 + 7	(Cymoxanil + Mancozeb) + Fosfito de Potasio (B3)	Anaranjado
7	125% (A3)	2.06	Sulfato de cobre Pentahidratado (B1)	Blanco
8		11.25 + 8.75	(Metalaxyl + Mancozeb) + Fosfito de Potasio (B2)	Negro
9		11.25 + 8.75	(Cymoxanil + Mancozeb) + Fosfito de Potasio (B3)	Celeste

Fuente: Autor (2022)

### 2.1.1.3. Diseño estadístico

Se implementó un Experimento Bifactorial en un diseño Bloques al azar con un Arreglo en Franjas. El modelo estadístico se presenta a continuación.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + (\rho\beta)_{jk} + (\alpha\rho)_{ik} + (\alpha\beta\rho)_{ijk} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, r \\ k = 1, 2, \dots, b \end{array} \right.$$

Siendo:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta medida en la  $ijk$ -ésima unidad experimental.

$\mu$  = Media general.

$\beta_j$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$\alpha_i$  = efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor A (Agroquímicos).

$(\alpha\beta)_{ij}$  = efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor A con el  $j$ -ésimo bloque, que es utilizado como residuo de parcelas grandes y es representado por error (a).

$\rho_k$  = efecto del  $k$ -ésimo nivel del factor B (Dosis).

$(\rho\beta)_{jk}$  = Efecto de la interacción entre el  $k$ -ésimo nivel del factor A con el  $j$ -ésimo bloque, o sea, es el error experimental asociado al factor B, tal que  $(\rho\beta)_{jk} \sim N(0, \sigma_2^2)$  e independientes, es utilizado como error(b)

$(\alpha\rho)_{ik}$  = Efecto debido a la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor A con el  $k$ -ésimo nivel del factor B.

$(\alpha\beta\rho)_{ijk}$  = Error experimental asociado a  $Y_{ijk}$ , tal que  $(\alpha\beta\rho)_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$  e independientes, es utilizado como término de error o residuo.

Para determinar cuántas repeticiones se deben de realizar se implementó la siguiente fórmula.

$$GLEb = (a - 1)(b - 1)(r - 1)$$

Siendo

GLEb: Grados de libertad del error en b (12)

n: Número de repeticiones

A: Número de factores en A

B: Número de factores en B

$$12 = (3-1) (3-1) (4-1)$$

$$12 = (4) (3)$$

$$12 = 12$$

#### **2.1.1.4. Diseño experimental**

Los experimentos en parcelas divididas (Split-plot) son frecuentemente utilizados en la experimentación agronómica cuando, en un experimento bifactorial, el material experimental o la propia conducción del experimento no permite una completa aleatorización de todas las combinaciones de los niveles de los factores. (Kempthorne, 1952)

Una variación de los experimentos en parcelas divididas son las parcelas en franjas, ya que, por diversas razones, aunque se estructuren las parcelas pequeñas, no hay posibilidad de una aleatorización total de estas parcelas. En este caso, las parcelas relativas a cada factor se relacionan en franjas tanto en filas como en columnas. (Kempthorne, 1952)

Considerando 2 factores, A y B, con niveles  $a\#$  y  $b\#$ , respectivamente de forma en cada nivel de A se encuentren los niveles de B como subparcelas y viceversa, tanto los niveles de A como los de B son considerados parcelas (factores principales), en tanto que la interacción (AxB) en cada uno de los índices A y B constituyen las subparcelas (parcelas pequeñas). (Kempthorne, 1952)

Para el diseño experimental se escogió un diseño bifactorial bloque al azar con arreglo en franjas, debido a que es el que mejor se adapta a las condiciones del experimento debido a la dificultad de aleatorizar los tratamientos, y con esto se busca agrupar los tratamientos de mejor manera.

#### **2.1.1.5.Unidad experimental**

Cada árbol ocupa un área de  $35 \text{ m}^2$ , la unidad experimental cuenta con 4 árboles a evaluar y se tiene 14 árboles al contorno para reducir el efecto de borde, dando un área total de  $630 \text{ m}^2$ . En la figura se presenta el esquema de la unidad experimental

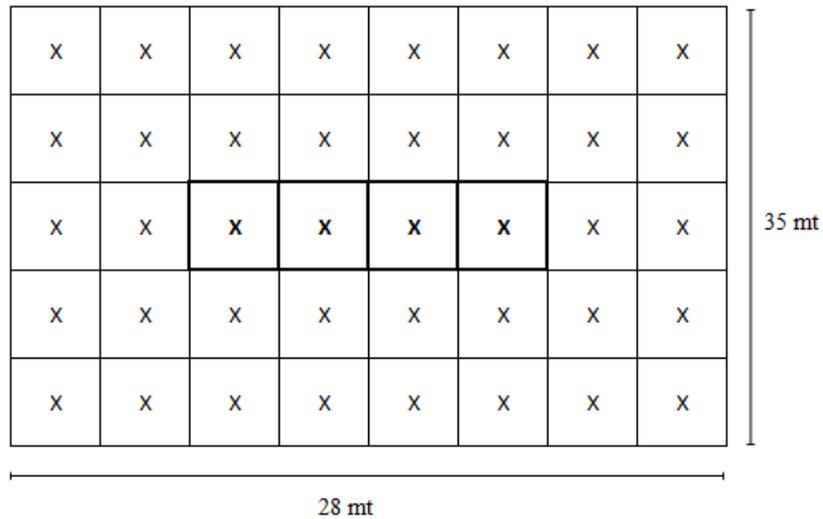


Figura 2 Unidad experimental.

Fuente: Autor (2022)

El diseño experimental cuenta con un total de 9 tratamientos y 4 repeticiones, dando un área total de 42,336 m<sup>2</sup>. A continuación, se presenta el croquis del experimento:

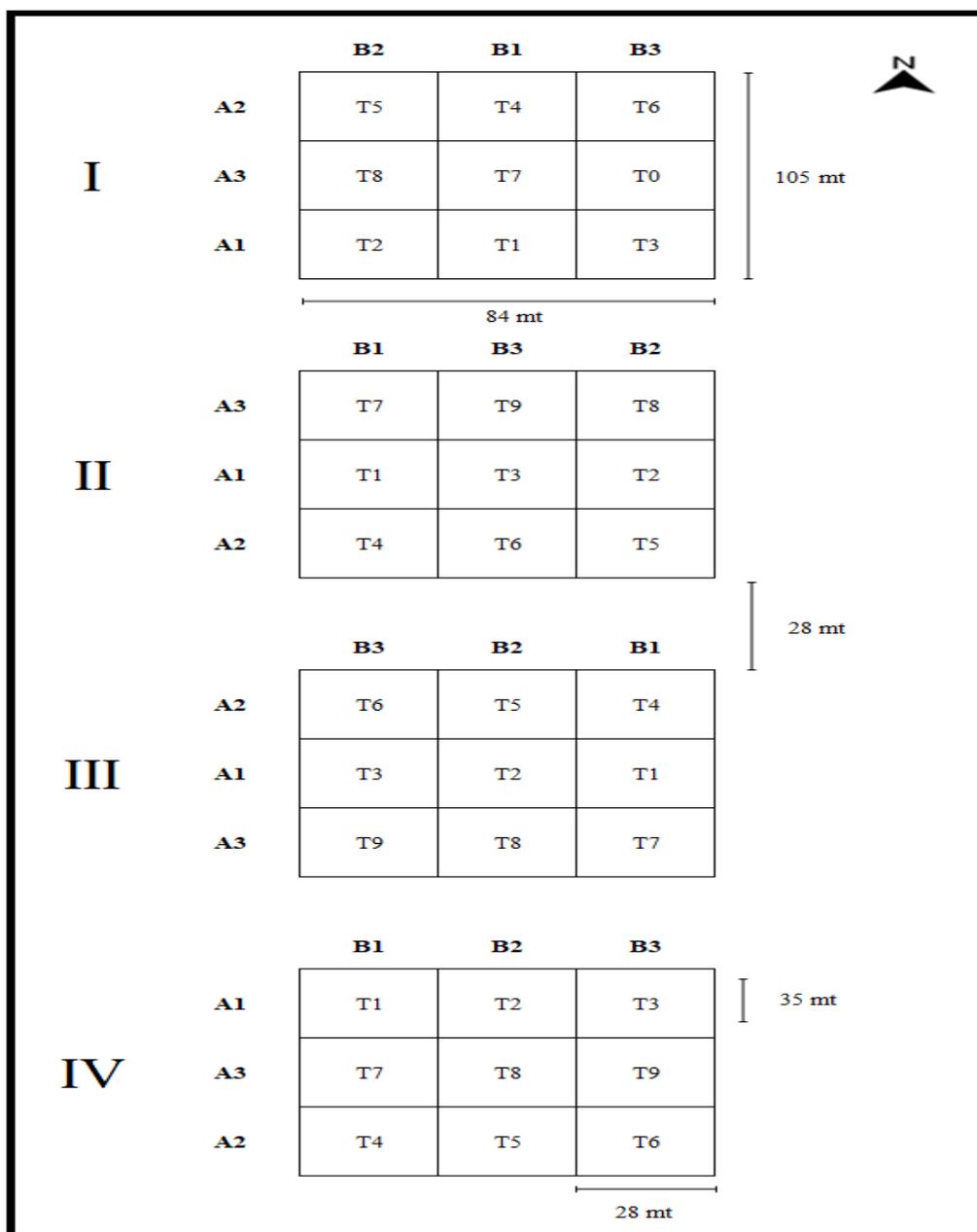


Figura 3 Croquis del experimento.

Fuente: Autor (2022)

#### 2.1.1.6. Aplicación de los productos

Para la aplicación de los tratamientos con Metalaxyl + Mancozeb (COLTAC 72 WP) + Fosfito de potasio y Cymoxanil + Mancozeb (TIZONEX 72 WP) + Fosfito de potasio fueron aplicados al fuste del árbol con la ayuda de una bomba de mochila motorizada, cubriendo todo el fuste del árbol desde la parte baja hasta la parte alta. Los tratamientos con el fungicida

Sulfato de cobre pentahidratado (PHYTON 6,6 SL) fueron aplicados al suelo con base a las recomendaciones que se presentan en la etiqueta del producto. Con la dosis de 1.237, 1.65 y 2.06 gr i.a./árbol en 5 L de la solución por árbol se utilizaron recipientes de 20 L debidamente marcados. En el contorno de la base del árbol se aplicaron los 5 L de solución.

Las fechas en la que se realizaron las aplicaciones fueron las siguientes según el cronograma: del 24 al 27 de mayo (primera aplicación), del 22 al 25 de junio (segunda aplicación), del 25 al 28 de julio (tercera aplicación), del 24 al 27 de agosto (cuarta aplicación) y del 21 al 24 de septiembre (quinta aplicación).

#### **2.1.1.7. Manejo agronómico del cultivo en el área de investigación.**

##### **a) Control de malezas**

El control de malezas en el área de investigación se realizó de forma mecanizada con moto desbrozadora, el cual se realiza una vez al mes.

##### **b) Control de *Xyleborus* (barrenador del fuste)**

Para el control de la plaga barrenador del fuste se tiene designados 2 jornales, el producto que se utilizó es CYPERMETHRIN, CHLORPYRIFOS (TREGUA 45 EC), la dosis que se utiliza es de 100 cc por bomba de 16 L, el producto se asperjó al fuste sobre el área afectada por el barrenador, seguidamente se deja marcado con una cinta de color naranja para ser revisado en la siguiente ronda de aplicación.

##### **c) Fertilización**

Se planificaron 6 fertilizaciones granuladas en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre. El fertilizante que se utilizó es FERTICROP (18-6-16 + 1MgO + 2S + 0.03B + 0.02Zn) la dosis por árbol productivo es de 1.5 lb/árbol.

También se realizó la fertilización foliar en los meses de julio y agosto los productos a utilizar se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 6 Fertilizantes para aplicación foliar.

<b>Producto</b>	<b>Dosis l/ha</b>	<b>Elementos</b>	<b>Concentración</b>
Boron-Zinc	1	Boro	2.46%
		Azufre	0.48%
		Zinc	4.20%
Algas Marinas	1	Alga	8%
Calcium	0.5	Nitrógeno	6%
		Calcio	8%
Magnesium	0.5	Magnesio	5%
		Azufre	0.36%
Phytogard Potásico	1.5	Fosforo	56%
		Potasio	20.20%

Fuente: Vásquez, (2022)

#### **d) Desbejudado**

La actividad consiste en la eliminación de la maleza o bejuco que crece sobre el follaje de los árboles, para ello se hace uso de un machete para retirar la maleza. Esta actividad se realizó una vez al mes.

#### **e) Deshije y deschuponado**

Esta práctica se realizó en los meses de junio y julio eliminando todos los brotes no deseados denominados chupones de manera manual utilizando un serrucho cola de zorro, para cubrir los cortes se elabora una mezcla de 9 gr de cobre más 1 cc de pegafol ambos diluidos en 1 L de agua.

#### **f) Cosecha**

Se realizó durante todo el año cada vuelta de cosecha toma aproximadamente 9 días, la actividad se realiza de forma manual recolectando las nueces del suelo y almacenándolas en costales, los cuales se llevan a la orilla de la calle para ser recolectadas por el tractor.

### **2.1.1.8. Monitoreo de Incidencia y Severidad**

#### **a) Monitoreo previo a la investigación para la determinación de incidencia y severidad de *P. cinnamomi*.**

En las fechas del 13 al 14 de abril del año 2022 se realizó el monitoreo para determinar la incidencia y severidad de los árboles enfermos por *P. cinnamomi*, estos datos se tomaron como referencia para determinar si los resultados obtenidos al finalizar la investigación, son positivos o negativos para disminuir la incidencia y severidad de la enfermedad.

#### **b) Monitoreos para la determinación de la incidencia y severidad durante la investigación**

Para la toma de datos se realizaron 5 monitoreos para registrar el progreso de la investigación, para ello se utilizó la boleta de campo diseñada, esta puede ser observada en anexos cuadro 21. Las fechas en las que se realizaron los monitoreos son los siguientes: del 13 al 17 de junio (primer monitoreo), 13 al 18 de julio (segundo monitoreo), 15 al 19 de agosto (tercer monitoreo), 13 al 17 de septiembre (cuarto monitoreo) y 13 al 18 de octubre (quinto monitoreo).

### **2.1.2. Variable**

#### **2.1.2.1. Incidencia**

##### **a) Porcentaje de incidencia**

La incidencia que se obtuvo al inicio de la investigación fue del 100%, ya que todas las unidades experimentales cuentan con árboles enfermos.

##### **b) Determinación de la incidencia durante la investigación**

Para determinar si la incidencia aumenta o disminuye durante en la unidad experimental se implementó la siguiente fórmula:

$$Incidencia = \frac{\text{Plantas infectadas por unidad experimental}}{\text{Total de planta por unidad experimental}} * 100$$

##### **c) Registro de la información**

La información recolectada de los monitoreos se registró en una boleta de campo, la cual puede observarse en la sección de anexos cuadro 22.

**d) Monitoreos**

Para llevar el registro del progreso de los tratamientos se realizaron 5 monitoreos, las fechas para la toma de datos son las siguientes: del 13 al 15 de junio (primer monitoreo), 13 al 15 de julio (segundo monitoreo), 15 al 17 de agosto (tercer monitoreo), 13 al 15 de septiembre (cuarto monitoreo) y 13 al 15 de octubre (quinto monitoreo).

## 2.1.2.2. Severidad

### a) Escala de severidad

Para la determinación del grado de severidad de enfermedades la Empresa TRANSCAFÉ S.A. ha creado su propia escala de grado de severidad y el porcentaje del daño, como se presenta:

Cuadro 7 Escala de severidad *P. cinnamomi*.

Descripción	Escala de severidad de <i>Phytophthora spp.</i>				
Escala de severidad	0	1	2	3	4
Grado de severidad	Sano	Ligeramente enfermo	Moderadamente enfermo	Altamente Enfermo	Muerto
Imagen					
Apariencia	Saludable (verde oscuro) Abundante cantidad de raíces y hojas	Color verde, pocas flores, poco crecimiento vegetativo, raíces débiles.	Árbol amarillo, presencia de <i>Phytophthora</i> en el tronco del árbol, raíces débiles, poca producción, pocas flores, no hay crecimiento vegetativo.	No hay flores, no hay hojas, la ramas están muertas, poca producción, raíces débiles.	Árbol muerto
Color de identificación	Ninguno	Amarillo	Azul	Rojo	Ninguno
Porcentaje	0%	1-25%	26-50%	51-75%	76-100%

Fuente: TRANSCAFÉ S.A. (2022).

### **b) Características para determinar la severidad**

Para implementar la escala de grado de severidad presentada por la empresa TRANSCAFÉ, fue necesario realizar un entrenamiento visual de carácter técnico, para detectar la sintomatología de las plantas enfermas por *P. cinnamomi* en el que los síntomas observados son el amarillamiento y quemaduras del follaje, y la defoliación progresiva en diferentes porcentajes, Estas son características que se tomarán en cuenta para la determinación de la severidad.

### **c) Monitoreos**

Para llevar el registro del progreso de los tratamientos se realizaron 5 monitoreos, las fechas para la toma de datos son las siguientes: del 13 al 15 de junio (primer monitoreo), 13 al 15 de julio (segundo monitoreo), 15 al 17 de agosto (tercer monitoreo), 13 al 15 de septiembre (cuarto monitoreo) y 13 al 15 de octubre (quinto monitoreo).

### **d) Registro de datos**

El registro de los datos obtenidos en campo se llevará en la boleta de campo diseñada, (observar en anexos cuadro 22).

## **2.1.3. Modo de análisis**

### **2.1.3.1. Análisis estadístico para incidencia y severidad**

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos de la incidencia y la severidad se realizó una transformación de los datos, ya que estos se expresan en porcentaje. Para transformarlos en una variable continua se utilizó la siguiente fórmula:

$$\sqrt{X + 1}$$

Al obtener los datos transformados de incidencia y severidad, se prosiguió a realizar el análisis estadístico (ANDEVA) y se implementó una prueba múltiple de medias de Tukey para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos. En el siguiente cuadro se presentan las fórmulas a utilizar.

Cuadro 8 ANDEVA Diseño Bifactorial Bloque al Azar con Arreglo En Franjas.

FV	GL	SC	CM	Valor de F
Bloques	$(r-1)$	$SC_{\text{Bloques}}$		
A	$(a-1)$	$SC_A$	$SC_A/GL_A$	$CM_A/CM_{\text{error}(a)}$
Error (a)	$(a-1)(r-1)$	$SC_{\text{error}(a)}$	$SC_{\text{error}(a)}/GL_{\text{error}(a)}$	
B	$(b-1)$	$SC_B$	$SC_B/GL_B$	$CM_B/CM_{\text{error}(b)}$
Error (b)	$(b-1)(r-1)$	$SC_{\text{error}(b)}$	$SC_{\text{error}(b)}/GL_{\text{error}(b)}$	
A x B	$(a-1)(b-1)$	$SC_{A \times B}$	$SC_{AB}/GL_{AB}$	$CM_{A \times B}/CM_{\text{residuo}}$
Residuo	$(a-1)(b-1)(r-1)$	$SC_{\text{residuo}}$	$SC_{\text{residuo}}/GL_{\text{residuo}}$	
Total	$abr-1$	$SC_{\text{Total}}$		

Fuente: Sosof (2018).

## 2.2. Objetivo 2 Comprobar si existió desarrollo radicular como parte de la recuperación de los árboles mediante el Índice de Enraizamiento.

### 2.2.1. Procedimiento

#### 2.2.1.1. Selección de los árboles y apertura de las calicatas

Para medir esta variable se seleccionó 1 árbol por cada unidad experimental dando un total de 36 árboles, a los que se le realizó una calicata a una distancia de 1.5 m del fuste, las medidas de la calicata son las siguientes  $1\text{m}^2$  área por 1 m de profundidad.

#### 2.2.1.2. Monitoreos para la determinación del índice radicular y mapeo radicular.

Para el monitoreo se hizo uso de una grilleta de madera de  $1\text{m}^2$  que cuenta con una cuadrícula de  $10\text{cm}^2$ . La grilleta se introdujo dentro de la calicata colocándola sobre el lateral en el que se encuentran las raíces que se monitorearon, en la siguiente figura se presenta un esquema de proceso:

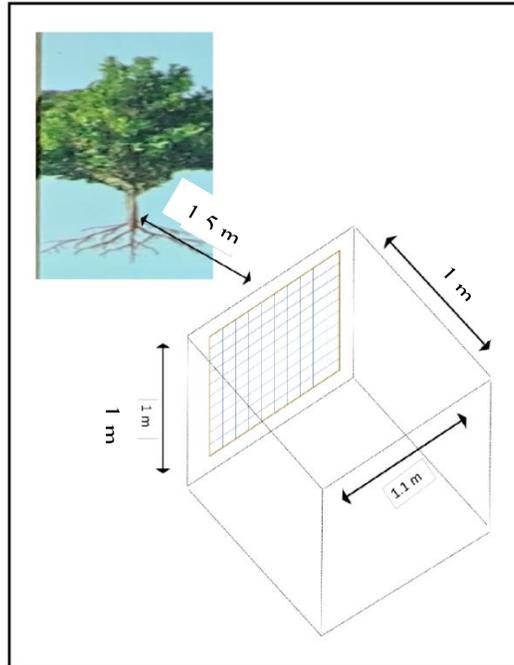


Figura 4 Introducción de la grilleta en la calicata.

Fuente: DISAGRO (2022).

Para el conteo de las raíces estas se clasificaron en 4 tipos: raíces finas se encargan de la absorción de nutrientes, las raíces delgadas se encargan de la absorción de agua, medianas y gruesas anclaje del árbol, el esquema se presenta a continuación:

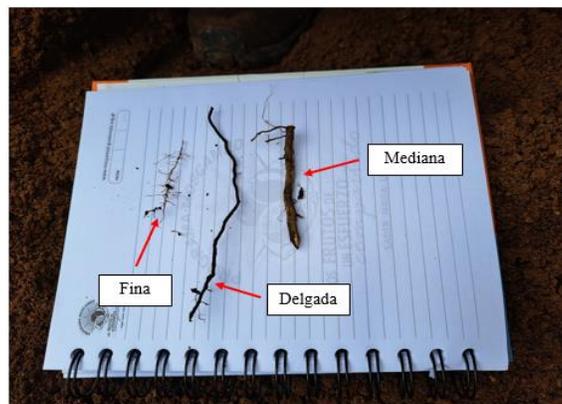


Figura 5 Clasificación de raíces.

Fuente: DISAGRO (2022)

La información obtenida de cada calicata se registró en una hoja de campo. El esquema de esta hoja se presenta:



(segundo monitoreo), 15 al 17 de agosto (tercer monitoreo), 13 al 15 de septiembre (cuarto monitoreo) y 13 al 15 de octubre (quinto monitoreo).

- Elaboración de mapas radiculares: Con los datos de número de raíces ya recolectados y tabulados se enviaron a la Ing. Agr. Angélica Pineda de la empresa DISAGRO, quien se encargó de la elaboración de los mapas en el programa de AutoCad.

## 2.2.2. Variable

### 2.2.2.1. Índice de Enraizamiento

Para determinar si existe desarrollo radicular como parte de la recuperación de los árboles enfermos se utilizó el Índice de Enraizamiento, este es un indicador que demuestra el número de raicillas (Finas y delgadas) por cada raíz de anclaje (Grandes o Medianas). Para calcular este indicador se utiliza la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{\text{Total de Raicillas (Finas y Delgadas)}}{\text{Total de Raíces de anclaje (Grandes y medianas)}}$$

## 2.2.3. Modo de análisis

### 2.2.3.1. Elaboración de mapas de desarrollo radicular

Después de pasar a digital los datos de los monitoreos, estos fueron enviados a la Inga. Angelica Pineda de la Empresa Disagro quién se encarga de la elaboración de los mapas mediante el programa de AutoCad. Se presenta el mapa del índice de enraizamiento que se utiliza para expresar de forma gráfica el desarrollo radicular de los árboles.

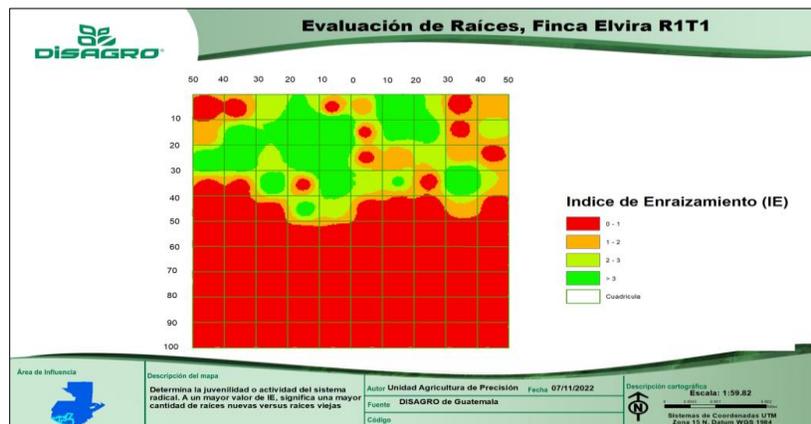


Figura 7 Mapeo radicular en árboles de macadamia variedad Clon 4.

Fuente: DISAGRO (2022).

A continuación, se presenta la escala de desarrollo radicular para interpretar los mapas de Índice de Enraizamiento:

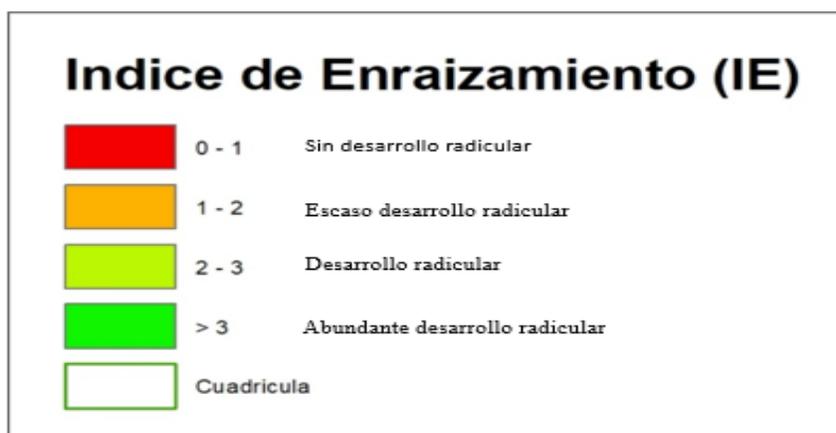


Figura 8 Escala de Índice de Enraizamiento (IE).

Fuente: Disagro (2022).

Para determinar que tratamiento presentan mayor desarrollo radicular, en las 36 unidades experimentales se implementó la siguiente fórmula:

$$IE \text{ 1ra lectura} - IE \text{ 6ta lectura}$$

### 2.2.3.2. Análisis estadístico

Una vez determinado el índice de enraizamiento para cada unidad experimental, se realizó el análisis estadístico al 5% de significancia y la respectiva prueba de Tukey.

## 2.3. Objetivo 3 Determinar los costos de aplicación de cada tratamiento.

### 2.3.1. Procedimiento

En una hoja de cálculo de Excel se llevó el registro de los insumos utilizados para la ampliación de cada tratamiento (agroquímicos, mano de obra y maquinaria). Al finalizar las aplicación se determinó el total de los costos de aplicación de cada tratamiento evaluado.

### 2.3.2. Variable

Para la determinación de los costos de aplicación se realizó una estructuración de costos por cada tratamiento. En el siguiente cuadro se presenta el esquema utilizado para la estructuración de costos de cada tratamiento:

Cuadro 9 Análisis económico de los tratamientos.

Insumos	Costo	Unidad de medida	unidades utilizadas	Total/Ha	Total/árbol
PHYTON 6.6 SL	Q 215.00	L		Q -	Q -
COLTAC 72 WP	Q 115.00	500 gr		Q -	Q -
TIZONEX 72 WP	Q 125.00	500 gr		Q -	Q -
Milagro Kalex	Q 95.00	L		Q -	Q -
Agua	Q -	Tonel		Q -	Q -
Moto Bomba	Q -	Herramienta		Q -	Q -
Gasolina compuesta	Q 73.90	Galón		Q -	Q -
Toneles	Q 10.00	Herramienta		Q -	Q -
Trabajadores	Q 45.00	Jornales		Q -	Q -
<b>Total</b>				Q -	Q -

Fuente: Autor (2022).

### 2.3.3. Modo de análisis

La estructuración de costos se utilizó para determinar los costos de aplicación de cada uno de los tratamientos que se implementaron. Los costos por tratamiento fueron calculados por Ha y por árbol.

Al determinar los costos de aplicación se realizó un cuadro en donde se comparan los costos por Ha y por árbol con la eficiencia que obtuvo cada tratamiento en la variable Incidencia y Severidad e Índice de enraizamiento. En el siguiente cuadro se presenta la comparativa de los costos de aplicación y la eficiencia obtenida para cada variable.

Cuadro 10 Comparación de los costos de aplicación y la eficiencia obtenida en la incidencia y severidad e índice de enraizamiento.

Tratamiento	Costo/ha	Costo/Árbol	Reducción o aumento de los costos	Incidencia A x B	Severidad A x B	Índice de Enraizamiento	
						Factor A	Factor B

Fuente: Autor (2022)

## VIII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 2.4. Determinación del tratamiento que tiene mayor efecto sobre la reducción de la incidencia y severidad de *P. cinnamomi*.

#### 1.1. Incidencia

En el apartado de anexos específicamente en el cuadro 23 se presentan las medias reales y en el cuadro 24 las medias transformadas para la variable incidencia.

A continuación, se presenta el ANDEVA de la variable incidencia.

Cuadro 11 ANDEVA de la variable incidencia.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
BLOQUE	21.44	3	7.15	5.41	0.0138
Factor A	50.39	2	25.19	2.47	0.1650
Error A	61.22	6	10.20	7.72	0.0014
Factor B	45.47	2	22.74	4.48	0.0646
Error B	30.47	6	5.08	3.84	0.0226
Interacción AxB	18.97	4	4.74	3.59	0.0380
Error C	15.85	12	1.32		
Total	243.81	35			

Fuente: Infostat (2022)

CV: 17.85 %

El análisis de varianza realizado sobre la variable porcentaje de incidencia de la enfermedad *P. cinnamomi*, dió a conocer que sí existieron diferencias significativas en la interacción de A x B, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, demostrando que estadísticamente existe diferencia significativa entre los tratamientos sobre el control de *P. cinnamomi*. El coeficiente de variación fue de 17.85%, demostrando que hubo un manejo adecuado del experimento, ya que se encuentra por debajo del 20% permisible. Debido a que la significancia se encuentra en la interacción se realizó una prueba múltiple de media de Tukey al 5% de significancia, con la finalidad de determinar qué tratamiento o tratamientos son los más eficientes para controlar la incidencia.

A continuación, se presenta la prueba múltiple de medias de Tukey de la interacción A x B.

Cuadro 12 Prueba de Tukey de la variable incidencia.

TRATAMIENTOS	Medias Transformadas	MEDIAS	SIGNIFICANCIA			
T5	4.59	25	A			
T7	4.59	25	A			
T4	5.10	31.35	A			
T2	5.61	31.25	A			
T8	5.61	31.25		AB		
T6	6.40	50		AB		
T9	7.42	56.25			BC	
T1	8.60	75			BC	
T3	10.05	100				C

Fuente: Infostat (2022).

Después de realizar la prueba múltiple de medias de Tukey, con una significancia del 5% se determinó que los siguientes tratamientos T5 (Metalaxyl + Mancozeb) + Fosfito de Potasio con las dosis de 9 + 7 gr ia/árbol, T2 (Metalaxyl + Mancozeb) + Fosfito de Potasio con las dosis de 6.75 + 5.25 gr ia/árbol, T7 Sulfato de cobre pentahidratado con dosis de 2.06 gr i.a./árbol y T4 Sulfato de cobre pentahidratado con dosis de 1.65 gr i.a./árbol fueron estadísticamente iguales, siendo así los más eficientes para controlar la incidencia.

Dentro de las investigaciones citadas se menciona el trabajo de Akinsanmi y Drenth (2013) de la Universidad de Queensland, Australia, quienes concluyen que las aplicaciones de Metalaxyl y Fosfito de Potasio son eficientes en el control del patógeno *P. cinnamomi*, lo que demuestra que sí existe concordancia entre los resultados obtenidos.

El fungicida sulfato de cobre pentahidratado en las dosis de 1.65 gr i.a./árbol (T4) de la dosis y 2.06 gr i.a./árbol (T7) contribuyen en el control y recuperación de los árboles enfermos, como se menciona en los resultados obtenidos por Gómez de León (2017), en donde los árboles tratados con Sulfato de cobre pentahidratado evidencian la reducción del amarillamiento y recuperación del follaje a los 3 meses después de la implementación del tratamiento.

Los tratamientos menos eficientes para el control de la incidencia son los tratamientos T9 Cymoxanil + Mancozeb + fosfito de potasio con dosis de 11.25 + 8.75 gr i.a./árbol, T1 Sulfato de cobre pentahidratado con dosis de 1.27 gr i.a./árbol y T3 Cymoxanil + Mancozeb + fosfito

de potasio con dosis de 6.75 + 5.25 gr i.a/árbol son los menos eficientes para controlar la incidencia.

## 1.2. Severidad

En el apartado de anexos específicamente en el cuadro 25 se presentan las medias reales y en el cuadro 26 las medias transformadas para la variable severidad.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado al 5% de significancia:

Cuadro 13 ANDEVA para la variable severidad.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
BLOQUE	3.42	3	1.14	1.20	0.3528
Factor A	11.17	2	5.58	6.63	0.0303
Error A	5.06	6	0.84	0.88	0.5360
Factor B	58.11	2	29.05	15.72	0.0041
Error B	11.09	6	1.85	1.94	0.1554
Interacción AxB	8.78	4	2.20	2.30	0.1185
Error C	11.45	12	0.95		
Total	109.08	35			

Fuente: Infostat (2022).

CV: 25.25%

Como se observa, existen diferencias significativas en los niveles del factor A, B y la interacción A x B, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, ya que uno o más tratamientos presentaron diferencias significativas. El coeficiente de variación que se obtuvo es del 25.25% este se encuentra arriba del 20% aceptable. Esto es causado por el tratamiento 3, debido a que es el único que presenta el mayor número de árboles con un grado de severidad del 75% provocado por su baja eficiencia para controlar la severidad de la enfermedad. Al presentarse diferencia significativa en la interacción se prosiguió a realizar la prueba de Tukey.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de dicha prueba de Tukey realizada al 5% de significancia:

Cuadro 14 Prueba de Tukey para la variable severidad.

Tratamientos	Medias transformadas	Medias reales	Significancia			
T2	2.51	6.25	A			
T5	2.51	6.25	A			
T7	2.51	6.25	A			
T4	2.76	7.81	A			
T8	2.94	7.81		AB		
T1	4.72	21.8			BC	
T9	4.85	23.44			BC	
T6	5.29	28.13			BC	
T3	6.73	45.31				C

Fuente: Infostat (2022).

El tratamiento menos eficiente para el control de la severidad es el tratamiento 3 Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de potasio con la dosis de 6.75 + 5.25 gr i.a./árbol como se puede observar su media de severidad es de 45.31% la cual se encuentra en el grado 3 de la escala de severidad que va del 26-50% de daño. La prueba determina que los mejores tratamientos para el control de la severidad son el tratamiento 2 Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio con dosis de 6.7 + 5.25 gr i.a./árbol, tratamiento 5 Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio con dosis de 9 + 7 gr i.a./árbol y Tratamiento 7 Sulfato de cobre pentahidratado 2.06 gr i.a./árbol. A continuación, se presenta la dinámica de la severidad de la enfermedad durante los meses de investigación:

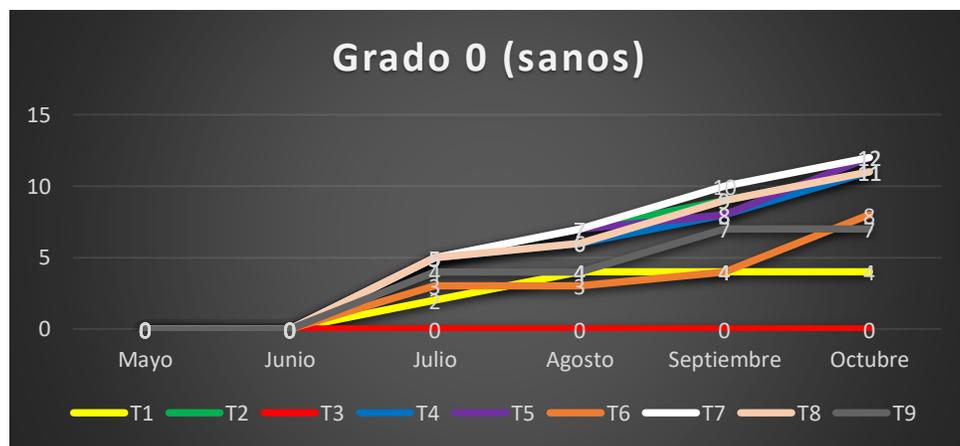


Figura 9 Grado de severidad 0 del patógeno *P. cinnamomi*.

Fuente: Autor (2022).

Con respecto a la severidad las gráficas reflejan el comportamiento de los tratamientos durante los meses de investigación. Se observa que todos los tratamientos exceptuando el T3 comienzan a tener efecto en la recuperación de los árboles a partir del tercer mes (julio). También se aprecia que los tratamientos con Metalaxyl + Fosfito de potasio y sulfato de cobre pentahidratado tienen mayor efecto en la reducción de la severidad, ya que los tratamientos con Cymoxanil + Fosfito de potasio (T3, T6 y T9) resultan ser más lentos y menos eficientes en la recuperación, siendo el tratamiento 3 el único que no presenta árboles recuperados. A continuación se presenta el grado de severidad 3 (75%).

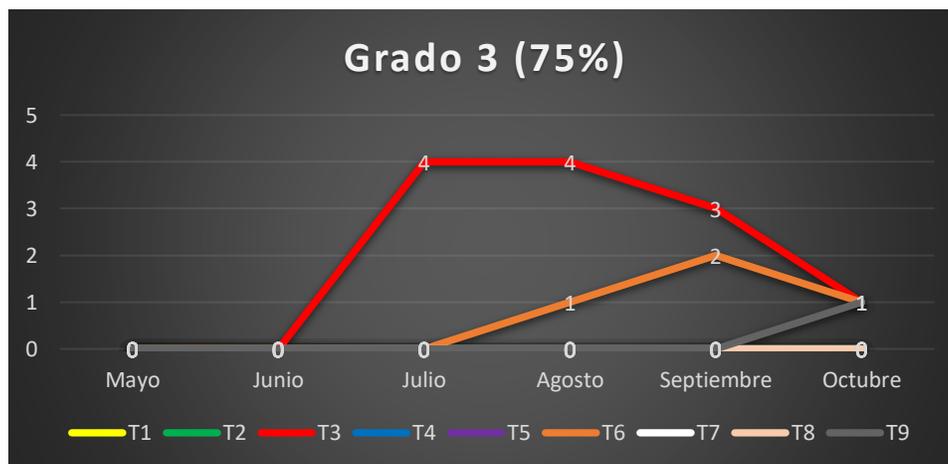


Figura 10 Grado de severidad 3 del patógeno *P. cinnamomi*.

Fuente: Autor (2022).

En la gráfica de grado de severidad 3 (75%) se observa la aparición de 3 tratamientos (T3, T6 y T9) esto evidencia que los tratamientos con el ingrediente activo Cymoxanil ofrecen menor control del patógeno, siendo el tratamiento 3 con dosis de 6.75 +5.25 gr i.a./árbol (75% de la dosis recomendada) la que obtuvo 4 árboles afectados con una severidad del 75%.

Las incidencia y severidad son 2 variables dependientes una de la otra y de gran importancia para los resultados. En la investigación se evaluó la eficiencia de 3 ingredientes activos (Metalaxyl, Cymoxanil y Sulfato de cobre pentahidratado) y la eficiencia del fosfito de potasio en combinación con 2 de los ingredientes activos (Metalaxyl y Cymoxanil), que en base a la evidencia bibliográfica presentada en el marco conceptual son recomendados para el control de *P. cinnamomi*. El fósforo en su forma de ion fosfito es un elemento que actúa directamente sobre el patógeno, afectando su crecimiento y reproducción, ya que inhibe la

expresión de los genes que codifican la síntesis de compuestos indispensables en la estructura y fisiología celular, el fosfito también actúa de forma indirecta estimulando la Resistencia Sistémica Adquirida (SAR), lo que consiste en mecanismos naturales de la planta para el control de patógenos como la producción de fitoalexinas. Por estas razones es que el fosfito de suma importancia en la investigación, además el fosfito puede ser combinado con el Metalaxyl o el Cymoxanil para el control de *P. cinnamomi*.

Con base a lo mencionado anteriormente y a los resultados obtenidos de la incidencia y severidad, se presenta a los tratamientos T3, T6 y T9 a base de Cymoxanil Mancozeb + Fosfito de potasio son los menos eficientes para el control de la enfermedad. Como se mencionó en la metodología el tratamiento 6 es el testigo de esta investigación, ya que se conforma de la aplicación de Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de potasio en la dosis de 9 + 7 gr i.a./árbol. Este tratamiento se utilizó alrededor de 10 años siendo eficiente para el control, sin embargo, en los últimos 2 a 3 años su eficiencia se redujo debido a que se utilizó el mismo tratamiento por un periodo largo. Esto ocasionó que el patógeno adquiriera resistencia a la molécula. En los resultados de la investigación se ve reflejado este comportamiento ya que en los 3 tratamientos que contienen Cymoxanil como ingrediente activo presentaron la eficiencia más baja en el control, debido a la resistencia que ha adquirido el patógeno a este ingrediente activo, por lo que es recomendable dejar de utilizarlo.

La empresa TRANSCAFÉ en el año 2022 inicia su control con un nuevo producto COLTAC 72 WP (Metalaxyl + Mancozeb), siendo el Metalaxyl su principal ingrediente activo para el control de *P. cinnamomi* el Metalaxyl, este producto es el remplazo del Cymoxanil.

El Metalaxyl sigue aplicándose en combinación con el fosfito de potasio para el control de la muerte descendente. Al ser un nuevo tratamiento los resultados de la investigación lo presentan como el mejor tratamiento para el control de esta enfermedad. Los tratamientos T2 equivalente al 75% de la dosis recomendada (6.75 + 5.25 gr i.a./árbol), T5 100% de la dosis (9 + 7 gr i.a./árbol), son estadísticamente iguales y presentan un control eficiente de la enfermedad. Con estos resultados se concluye que es recomendable utilizar el tratamiento dos 75% de la dosis para reducir o evitar la resistencia del patógeno al Metalaxyl, y cuando sea requerido puede aumentarse al 100% de la dosis (T5) para controlar la enfermedad.

El Sulfato de cobre pentahidratado (PHYTON 6.6 SL) es un producto que se propuso para evaluar como parte de la investigación, ya que también es recomendado para el control de hongos de la familia Oomycetes como *P. cinnamomi*. Este producto es eficaz controlando las enfermedades que atacan las raíces y fuste de los árboles. En los resultados obtenidos demostró ser altamente eficiente en el tratamientos 4 equivalente al 100% de la dosis (1.65 gr i.a./árbol) y T7 equivalente 125% de la dosis (2.06 gr i.a./árbol). En ambos tratamientos se observó la recuperación de los árboles, ya que se redujo el amarillamiento y se recuperó el follaje, sin embargo, económicamente se descartan debido a que incrementan los costos de aplicación. Este aspecto se explica más detalladamente en el análisis económico.

Por lo anterior, se descarta al Cymoxanil como ingrediente activo para el control de la enfermedad *P. cinnamomi*. Debido a que se ha utilizado por muchos años el mismo ingrediente activo, el patógeno adquirió resistencia al mecanismo de acción que se basa en el sistema respiratorio del hongo ya que afecta a la enzima succinato hidrogenasa, por consecuente afecta a las mitocondrias, orgánulos que se encargan de la producción de energía mediante el consumo de oxígeno. Tanto el Metalaxyl como el Sulfato de cobre pentahidratado, al ser productos nuevos presentan nuevas formas de acción sobre el hongo y han obtenido un control eficiente sobre el mismo.

En el caso del Metalaxyl, al actuar sobre la síntesis de ARN, afecta al núcleo celular del hongo disminuyendo su reproducción. Al no poder sintetizar el ARN el patógeno ya no puede seguir reproduciéndose. Al aplicarse el Metalaxyl, en combinación con el Fosfito de potasio, hace que este último actúa de forma directa afectando su crecimiento y reproducción al influir en la expresión de genes que codifican la síntesis de compuestos indispensables en la estructura y fisiología celular. Como mecanismo de acción indirecto entra en las células del tejido vegetal y activa los mecanismos bioquímicos como la producción de polisacáridos, proteínas relacionadas con la patogénesis, fitoalexinas y estructuras de defensa como la deposición de calosa que restringe la penetración y supervivencia de los patógenos en las plantas.

El sulfato de cobre también resulta ser eficiente. Pues además de ser un nutriente para la planta también tiene un efecto fungicida, ya que presenta una acción multisitio, esto se refiere a que actúa sobre diferentes estructuras y procesos de la célula del hongo. Entre las

estructuras que afecta el cobre se encuentran: el Núcleo, Ribosomas, Mitocondria, Retículo endoplasmático liso y rugoso, Membrana plasmática y Cromatina.

## 2.5. Determinación del desarrollo radicular mediante el Índice de Enraizamiento.

En el apartado de anexos específicamente en el cuadro 27 se presentan las medias reales para la variable Índice de Enraizamiento.

A continuación, se presenta el ANDEVA de la variable desarrollo radicular, la cual fue realizada con un nivel de significancia del 5%:

Cuadro 15 Análisis de varianza de la variable desarrollo radicular.

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
BLOQUE	6.71	3	2.24	7.07	0.0054
Factor A	66.41	2	33.20	94.62	<0.0001
Error A	2.11	6	0.35	1.11	0.4118
Factor B	44.18	2	22.09	68.16	0.0001
Error B	1.94	6	0.32	1.02	0.4550
Interacción AxB	1.87	4	0.47	1.47	0.2703
Error C	3.80	12	0.32		
Total	127.01	35			

Fuente: Autor (2022).

CV: 12.62%

Se observa que el análisis de varianza realizado para la variable índice de enraizamiento el cual se realizó con un nivel de significancia del 5%, indica que existen diferencias significativas en los niveles del factor A y factor B. Debido a que se presenta diferencias significativas en los factores A y B, a ambos factores se les realizó una prueba múltiple de medias de Tukey al 5% para determinar que tratamiento o tratamientos son los más eficientes. Con base a este resultado se acepta la hipótesis alternativa, ya que uno o más tratamientos presentan significancia en el desarrollo radicular. El coeficiente de variación (CV) que se obtuvo fue del 12,62% lo que indica que hubo un manejo adecuado del experimento. A continuación, se presentan los resultados de la prueba múltiple de Tukey para la variable índice de desarrollo radicular.

Cuadro 16 Prueba de Tukey del factor A para la variable Índice de desarrollo radicular.

Dosis	Medias reales	Significancia	
125%	5.66	A	
100%	5.15	A	
75%	2.56		B

Fuente: Infostat (2022).

Como se observa la prueba de Tukey determina que las dosis del 125% y 100% de la dosis recomendada expresadas en gr i.a./árbol son estadísticamente iguales y presentan un mayor Índice de Enraizamiento. A continuación, se presenta la prueba de Tukey del factor B para la variable Índice de Enraizamiento.

Cuadro 17 Prueba de Tukey del factor B para la variable Índice de Enraizamiento.

Agroquímicos	Medias reales	Significancia	
Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio	5.41	A	
Sulfato de cobre pentahidratado	5.05	A	
Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de potasio	2.90		B

Fuente: Infostat (2022).

La prueba de Tukey realizada al factor B determina que los agroquímicos Sulfato de cobre pentahidratado y la combinación de Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio son los más eficientes, para promover el desarrollo radicular como parte de la recuperación de los árboles, ya que estadísticamente son iguales al no presentar diferencias significativas.

*P. cinnamomi* es un hongo del suelo que ataca el sistema radicular de los árboles de macadamia, por lo que los árboles afectados presentan un sistema radicular precario, principalmente de raíces finas y delgadas que son las que absorben los nutrientes, por ello en el área foliar de los árboles se presenta el amarillamiento y defoliación de manera descendente. Con base a esta información se planteó al Índice de Enraizamiento como una variable respuesta que permita evidenciar si el tratamiento evaluado promueve el desarrollo radicular como parte de la recuperación del árbol. En el apartado de anexos cuadro 28 se presentan los mapas del índice de enraizamiento elaborados por la empresa DISAGRO, que forma parte fundamental en la discusión de los resultados.

El Metalaxyl + Mancozeb más el fosfito de potasio es uno de los tratamientos más eficientes en el control de *P. cinnamomi*. El Metalaxyl afecta directamente sobre el patógeno, actúa inhibiendo la síntesis de proteínas como consecuencia de la interferencia con la síntesis del

ARN en las células fungosas de esta manera impide su reproducción, permitiendo así la recuperación de los árboles. Por otro lado, el fosfito actúa directa e indirectamente para control de *P. cinnamomi*, como lo evidencia en su investigación los autores Lobato, Olovieri & Alvarez (2007). Otro de los efectos del fosfito de potasio es la estimulación del desarrollo radicular, este aspecto se confirma en la investigación de Little & Hills (1991) en donde evalúan 3 fuentes de fosfito para el control de *P. cinnamomi*, dentro de los resultados obtenidos se observó una mayor densidad de raíces en los árboles tratados con fosfito de potasio, esto se debe a que el potasio es un elemento que promueve la elongación celular. Es el principal elemento requerido por la vacuola para la elongación celular, debido a que aumenta el potencial osmótico favoreciendo el ingreso de agua. Por lo tanto, es un nutriente fundamental para la elongación celular principalmente para el crecimiento de las raíces. Este mismo comportamiento se refleja en los resultados de la prueba de Tukey, en donde los árboles tratados con Metalaxyl + Mancozeb y fosfito (T5 y T8) de potasio evidencia un mayor Índice de Enraizamiento juntos a los tratamientos con sulfato de cobre pentahidratado (T4 y T7).

Respecto a los tratamientos con Cymoxanil + Mancozeb y fosfito de potasio (T3, T6 y T9) se esperaría un comportamiento en el Índice de enraizamiento similar a los tratamientos con Metalaxyl + Mancozeb, ya que ambos fungicidas se combinan con Fosfito de potasio. Sin embargo, los resultados obtenidos denotan un bajo Índice de Enraizamiento (IE).

Para que el desarrollo radicular se presente debe existir una relación directa entre el fungicida y el fosfito, en este caso no existe, ya que el Cymoxanil como ingrediente activo principal no es eficiente para el control de la enfermedad y el fosfito por sí solo no controla en su totalidad al patógeno. Es por ello que se logra ver un desarrollo radicular, sin embargo, no es significativo para los resultados de la investigación.

Como conclusión a los resultados de las pruebas de Tukey del factor A y B se determina que los tratamientos que contienen Sulfatos de cobre pentahidratado y (Metalaxyl + Mancozeb) + Fosfito de potasio en combinación con las dosis de 100% y 125% (gr i.a./árbol) promueven el desarrollo radicular, el cual se puede corroborar con las medias de Índice de Enraizamiento.

## 2.6. Realizar una estructuración de costos de aplicación para cada tratamiento evaluado.

### 3.1. Costos de aplicación de los tratamientos con sulfato de cobre pentahidratado.

A continuación, se presentan los costos de aplicación para los tratamientos con Sulfato de cobre pentahidratado.

Cuadro 18 Costos de aplicación por hectárea (ha) de los tratamientos con Sulfato de cobre pentahidratado.

<b>Tratamiento 1</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Sulfato de Cobre Pentahidratado	L	7.65	Q620.00	Q4,743.00
Toneles de Agua	200 L	10.2	Q0.00	Q0.00
Trabajador	JORNAL	5	Q45.00	Q225.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q4,968.00</b>
<b>Tratamiento 4</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Sulfato de Cobre Pentahidratado	L	10.2	Q620.00	Q6,324.00
Toneles de Agua	200 L	10.2	Q0.00	Q0.00
Trabajador	JORNAL	5	Q45.00	Q225.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q6,549.00</b>
<b>Tratamiento 7</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Sulfato de Cobre Pentahidratado	L	12.75	Q620.00	Q7,905.00
Toneles de Agua	200 L	10.2	Q0.00	Q0.00
Trabajador	JORNAL	5	Q45.00	Q225.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q8,130.00</b>

Fuente: Autor (2022).

Los tratamientos con el fungicida sulfato de cobre pentahidratado han demostrado ser eficiente en la recuperación de los árboles. Sin embargo, presentan los costos de aplicación más altos. Tomando en cuenta que la tarea de aplicación son 2 toneles/jornal y se aplican 5 L de solución por árbol los costos de aplicación por árbol son los siguientes: T1 Q 12.19, T4 Q 16.06 y T7 Q 19.94.

### 3.2. Costos de aplicación de tratamientos con Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de Potásico.

A continuación, se presentan los costos de aplicación para los tratamientos con Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio.

Cuadro 19 Costos de aplicación por hectárea (ha) para los tratamientos con Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio.

<b>Tratamiento 2</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Metalaxyl + Mancozeb	500 gr	3	Q115.00	Q351.90
Fosfito de Potasio	L	3	Q91.00	Q278.46
Moto Bomba	Equipo	1	Q0.00	Q0.00
Gasolina compuesta	Galón	3	Q45.00	Q114.75
Trabajador	Jornal	2	Q45.00	Q91.80
Toneles de Agua	200 L	4	Q0.00	Q0.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q836.91</b>
<b>Tratamiento 5</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Metalaxyl + Mancozeb	500 gr	4	Q115.00	Q469.20
Fosfito de Potasio	L	4	Q91.00	Q371.28
Moto Bomba	Equipo	1	Q0.00	Q0.00
Gasolina compuesta	Galón	3	Q45.00	Q114.75
Trabajador	Jornal	2	Q45.00	Q91.80
Toneles de Agua	200 L	4	Q0.00	Q0.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q1,047.03</b>
<b>Tratamiento 8</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Metalaxyl + Mancozeb	500 gr	5	Q115.00	Q586.50
Fosfito de Potasio	L	5	Q91.00	Q464.10
Moto Bomba	Equipo	1	Q0.00	Q0.00
Gasolina compuesta	Galón	3	Q45.00	Q114.75
Trabajador	Jornal	2	Q45.00	Q91.80
Toneles de Agua	200 L	4	Q0.00	Q0.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q1,257.15</b>

Fuente: Autor (2022).

Según los resultados obtenidos presentan los mejores resultados en la recuperación de los árboles afectados, los costos de aplicación más bajos, y se alcanza un mayor número de árboles aplicados, ya que se aplican 2 L de solución por árbol. Los costos de aplicación por árbol son los siguientes: T2 Q 1.82, T5 Q 2.11 y T8 Q 2.40.

### 3.3. Costos de aplicación de los tratamientos con Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de Potasio.

A continuación, se presentan los costos de aplicación para los tratamientos a base de Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de Potasio.

Cuadro 20 Costos de aplicación por hectárea (ha) para los tratamientos con Cymoxanil + Mancozeb + Fosfito de potasio.

<b>Tratamiento 3</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Cymoxanil + Mancozeb	500 gr	3	Q125.00	Q382.50
Fosfito de Potasio	L	3	Q91.00	Q278.46
Moto Bomba	Equipo	1	Q0.00	Q0.00
Gasolina compuesta	Galón	3	Q45.00	Q114.75
Trabajador	Jornal	2	Q45.00	Q91.80
Toneles de Agua	200 L	4	Q0.00	Q0.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q867.51</b>
<b>Tratamiento 6</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Cymoxanil + Mancozeb	500 gr	4	Q125.00	Q510.00
Fosfito de Potasio	L	4	Q91.00	Q371.28
Moto Bomba	Equipo	1	Q0.00	Q0.00
Gasolina compuesta	Galón	3	Q45.00	Q114.75
Trabajador	Jornal	2	Q45.00	Q91.80
Toneles de Agua	200 L	4	Q0.00	Q0.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q1,087.83</b>
<b>Tratamiento 9</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Cymoxanil + Mancozeb	500 gr	5	Q125.00	Q637.50
Fosfito de Potasio	L	5	Q91.00	Q464.10
Moto Bomba	Equipo	1	Q0.00	Q0.00
Gasolina compuesta	Galón	3	Q45.00	Q114.75
Trabajador	Jornal	2	Q45.00	Q91.80
Toneles de Agua	200 L	4	Q0.00	Q0.00
<b>TOTAL</b>				<b>1308.15</b>

Fuente: Autor (2022)

Las aplicaciones de Cymoxanil + Mancozeb + Fosfitos de potasio (T6 Testigo regional) eran el tratamiento que se implementaba para el control de la enfermedad muerte descendente causada por el patógeno *P. cinnamomi*. En los resultados obtenidos por los análisis estadísticos los tratamientos T3, T6 y T9 resultan ser ineficientes en el control, además sus costos de aplicación son ligeramente superiores a los de Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de

Potasio. Los costos de aplicación por árbol son los siguientes: T3 Q 1.90, T6 Q 2.21 y T9 Q 2.52.

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de los costos de aplicación de los tratamientos por ha y por árbol comparándolos con los resultados de las pruebas de Tukey de las variables respuestas.

Cuadro 21 Resumen de los costos de aplicación por ha y por árbol.

Tratamiento	Costo/ha	Costo/árbol	Reducción o aumento de los costos	Incidencia A x B	Severidad A x B	Índice de Enraizamiento	
						Factor A	Factor B
T2	Q836.91	Q2.05	23.22%	A	A	B	B
T3	Q867.51	Q2.13	20.22%	C	C	B	B
T5	Q1,047.03	Q2.57	3.75%	A	A	A	A
T6	Q1,087.83	Q2.67	testigo	AB	BC	B	B
T8	Q1,257.15	Q3.08	15.36%	AB	AB	A	A
T9	Q1,308.15	Q3.21	20.22%	BC	BC	B	B
T1	Q4,968.00	Q12.18	356.18%	BC	BC	B	B
T4	Q6,549.00	Q16.05	501.12%	A	A	A	A
T7	Q8,130.00	Q19.93	646.44%	A	A	A	A

Fuente: Autor (2022)

Al comparar los costos de aplicación con los resultados obtenidos en las pruebas de Tukey para cada variable se determina que el tratamiento más económico es el tratamiento 2 (Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio en dosis de 6.75 +5.25 gr i.a./árbol), ya que reduce los costos de aplicación en un 23.22% y presenta una eficiencia alta para el control de incidencia y severidad, aunque obtenga un Índice de enraizamiento medianamente eficiente. una eficiencia media en el índice de enraizamiento. el tratamiento más equilibrado es el 5 el cual tiene un costo de Q 2.57 por árbol, reduciendo los costos en u 3.75% y obtiene resultados altamente satisfactorios en las 3 variables para el control de *P. cinnamomi*.

El sulfato de cobre pentahidratado en las dosis de 1.65 gr i.a./árbol (T4) y 2.06 gr i.a./árbol (T7) presentó una eficiencia igual a la del tratamiento 5, sin embargo, por los elevados costos de aplicación se descartan para el control de *P. cinnamomi*.

## IX. CONCLUSIONES

1. Con base a los resultados del análisis estadístico y la prueba de Tukey se determinó que los mejores tratamientos para el control de la incidencia y severidad son el tratamiento, T5 Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio con dosis de 9 +7 gr i.a./árbol, T2 Metalaxyl + Mancozeb + fosfito de potasio con dosis de 6.75 + 2.25 gr i.a./árbol, T4 Sulfato de cobre pentahidratado con dosis de 1.65 gr i.a./árbol y T7 Sulfato de cobre pentahidratado con dosis de 2.06 gr i.a./árbol.
2. Respecto al Índice de Enraizamiento (IE), los tratamientos Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito con dosis de 9 + 7 (T5) y 11.25 + 8.75 (T8) gr i.a./árbol junto a los tratamientos de Sulfato de cobre pentahidratado con dosis de 1.65 (T4) y 2.06 (T7), son los que mayor desarrollo radicular evidencian.
3. Los resultados obtenidos de los análisis estadísticos afirman que existen interacción entre los niveles del factor A y B, siendo los agroquímicos Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio y Sulfato de cobre pentahidratado los que mejor interacción tiene con las dosis de 100% y 125% de la dosis (gr i.a./árbol).
4. Respecto a los costos de aplicación el tratamiento más económico es el tratamiento 2 con un costo de aplicación por árbol de Q 2.05/árbol, lo que ofrece una disminución del 23.22% de los costos de ampliación. Los tratamientos con sulfato de cobre pentahidratado T4 (1.65 gr i.a./árbol) y T7 (2.06 gr i.a./árbol) estadísticamente demostraron ser altamente eficientes para el control de *P. cinnamomi*, sin embargo, son descartables para el control por sus elevados costos de aplicación, incrementando en un 501.12% (T4) y 646.44% (T7) los costos de aplicación.

## X. RECOMENDACIONES

1. Con base a los resultados obtenidos de la investigación se debe implementar el tratamiento T2 Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de potasio con dosis de 6.75 + 5.25 gr i.a./árbol ya que presentó resultados satisfactorios para el control de *P. cinnamomi* y un costo de aplicación por Ha de Q 836.91 reduciendo los costos en un 23.22% en comparación con al testigo T6 que presenta resultados insatisfactorios y tiene un costo de Q 1087.03 por Ha.
2. Como se menciona en el planteamiento del problema la finca no cuenta con un estricto monitoreo de las enfermedades que afectan el cultivo de macadamia, ya que se determinó un tratamiento para el control de *P. cinnamomi*, siendo conveniente designar a un personal específico para mantener actualizada la dinámica de la incidencia y severidad de la enfermedad muerte descendente y realizar las respectivas aplicaciones.
3. Es importante seguir utilizando el Fosfito como parte del programa sanitario, debido a que aparte de tener efectos directos e indirectos sobre el patógeno *P. cinnamomi*, también tiene un efecto positivo en el aumento de Índice de Enraizamiento (IE).

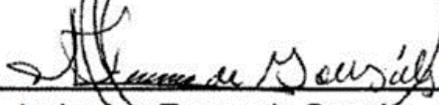
## XI. REFERENCIAS

- Anacafé. (06 de 2013). *Nuez de Macadamia* . [www.sica.gov.ec/agronegocios](http://www.sica.gov.ec/agronegocios)
- Archila Samayoa, S. M. (11 de 2003). *Guía del proceso de exportación de nuez de macadamia a Estados Unidos*. [Tesis Agronomía Universida Rafael Landívar]. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2003/01/04/Archila-Samayoa-Sergia-Maria.pdf>
- Akinsanmi, O. & Drenth, A. (11 de 2013). *El fosfito y el metalaxil rejuvenecen los árboles de macadamia en declive causados por Phytophthora cinnamomi*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219413001543?via%3Dihub>
- Arellano, S., y da Costa, S. (2015). *Enfermedades de raíces*. <http://esilanes.webs.uvigo.es/enfer6.pdf>
- Cacho Carranza , Y. (2017). *Conoce las propiedades de la nuez de macadamia*. <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/economia/17441-conoce-los-potenciales-de-la-nuez-de-macadamia>. s. p.
- Coto, D., y Chacón, R. (1986). Macadamia técnicas para su producción. *Revista MIP*. (45),50-60: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/86507>
- Cuá, N. V. (2015). *Evaluación de tres dosis de Fosfito Potásico (I.A.) en el control de Phytophthora spp. en plantación de macadamia (Macadamia integrifolia), en Finca Plantaciones Altamira, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez*. [Informe Final de EPS Agronomía USAC. CUNOC]. <https://www.cytconoc.gt/wp-content/uploads/2017/10/Cua-Navi-Violeta-2015.pdf>
- De Andraca Hurtado, F. (05 de 1997). *Etiología y Control de la Tristeza del Palto causada por Phytophthora cinnamomi*. Trabajo de graduación: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.avocadosource.com/papers/Chile\\_Papers\\_A-Z/A-B-C/AndracaFernando1997.pdf](https://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/A-B-C/AndracaFernando1997.pdf)

- De León Miranda, J. (08 de 2011). *Estudio de los Thrips (Frankliniella occidentalis Pergande) Asociados a la nuez de macadamia (Macadamia integrifolia Mueller), en Finca Monte de Oro Santiago Atitlán, Sololá, Guatemala.* [Informe Final de EPS Agronomía Tropical] USAC. CUNSUROC.
- De León, D. (1998). *Influencia de los trips en la floración y fructificación de la macadamia en Finca Patzulín en el Palmar. Quetzaltenango.* [Tesis Agronomía Tropical] USAC. CUNSUROC.
- Holdridgé, L. (1982). *Clasificación de Zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento.* Editorial, José de Pineda Ibarra.
- Kemphorne . (1952). *Diseño y Análisis de Experimentos factoriales.* chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM\_Fernandez\_Bao\_Sheila.pdf?sequence=1
- Lobato, M. C., Olovieri, G. D., y Álvarez, A. (2007). *Efecto inhibitorio de compuestos fosfitos sobre Phytophthora cinnamomi.* Memorias XI Congreso Argentino de Microbiología. Asociación Argentina de Microbiología.: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n1/v65n1a03.pdf
- Maeso, D. C. (2005). *Evaluación de Fungicidas para el control de mildiú de la cebolla (Peronospora destructor) aplicados según el sistema de pronóstico downcast. Jornada técnica de investigación en ajo y cebolla.* Programa Nacional de Horticultura.: <https://1library.co/document/qv9vedgy-jornada-tecnica-investigacion-en-ajo-y-cebolla.html>
- MAGUA. (2022). *Phyton 6.6 SL.*: <https://magua.com.gt/productos/phyton-6-6-sl/>
- Morán Velásquez, L. R. (11 de 2017). *Descripción de las actividades realizadas en el cultivo de macadamia (Macadamia integrifolia Maiden et Betche.) En Empresa Transcafé y Agroatitlán.* [Informe Técnico] Escuela Nacional Central de Agricultura.

- Reynal, D., y Denish, G. (2005). *Defence responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora* challenged *Arabidopsis thaliana**. *Physiological and Molecular Plant Pathology*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0885576506000075>
- Salazar Rodríguez, L. (2006). *Propuesta para el diseño de un modelo lineal de producción de derivados de la nuez de macadamia, de la finca Valhalla Experimental Station, en el municipio San Miguel Dueñas, departamento de Sacatepéquez*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1670\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1670_IN.pdf).
- Simmons, C. S., Tárano T., J. M., y Pinto Z., J. H. (1959). *Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala*. Trad. Por Pedro Tirado-Sulsana. Editorial, José de Pineda Ibarra.
- Sol Quintas, G. (2011). *Manual técnico para productores de nuez de macadamia*. Guía de siembra, manejo y procesamiento: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://macadamiamexico.com/wp-content/uploads/2016/06/Manualmacadamia.pdf>
- Téliz, D. (2000). *El aguacate y su Manejo Integrado*. Mundi Prensa. <https://proain.com/products/el-aguacate-y-su-manejo-integrado-7105#:~:text=El%20aguacate%20es%20una%20fruta,y%20pr%C3%B3stata%20y%20trastornos%20oculares>.
- Velandia Monsalve, J., Viteri Rosero, S. E., Rubio Cárdenas, N. J., y Tovar Duarte, F. (2012). Efecto del fosfito de potasio en Combinación con el fungicida Metalaxil + Mancozeb en el control del Mildeo veloso (*Peronospora destructor* Berk) en Cebolla de Bulbo (*Allium cepa* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* (7), 8-9: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179924340003>
- Velarde, C. J. (1965). La Macadamia. *Revista cafetalera* (14), 1-16: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.anacafe.org/uploads/file/0b54f759cc014975ad2621c8a865c9e5/El-Cafetal-04.pdf>
- Walforth , S., y de los Ríos. (2005). *El cultivo de macadamia* . Del Alba S.A.: [Ihttp://www.delalba.com.co/assets/applets/EI\\_Cultivo\\_de\\_la\\_Macadamia](http://www.delalba.com.co/assets/applets/EI_Cultivo_de_la_Macadamia).

Yáñez Juárez, M. G., López Orona, C. A., Ayala Tafoya, F., Partida Ruvalcaba, L., Velázquez Alcaraz, T., y Medina López, R. (22 de 12 de 2017). *Los fosfitos como alternativa para el manejo de problemas fitopatológicos*. <https://www.smf.org.mx/rmf/ojs/index.php/RMF/article/view/99/96>

Vo. Bo.   
Lcda. Ana Teresa de González.  
Bibliotecaria CUNSUROC.



## XII. ANEXOS

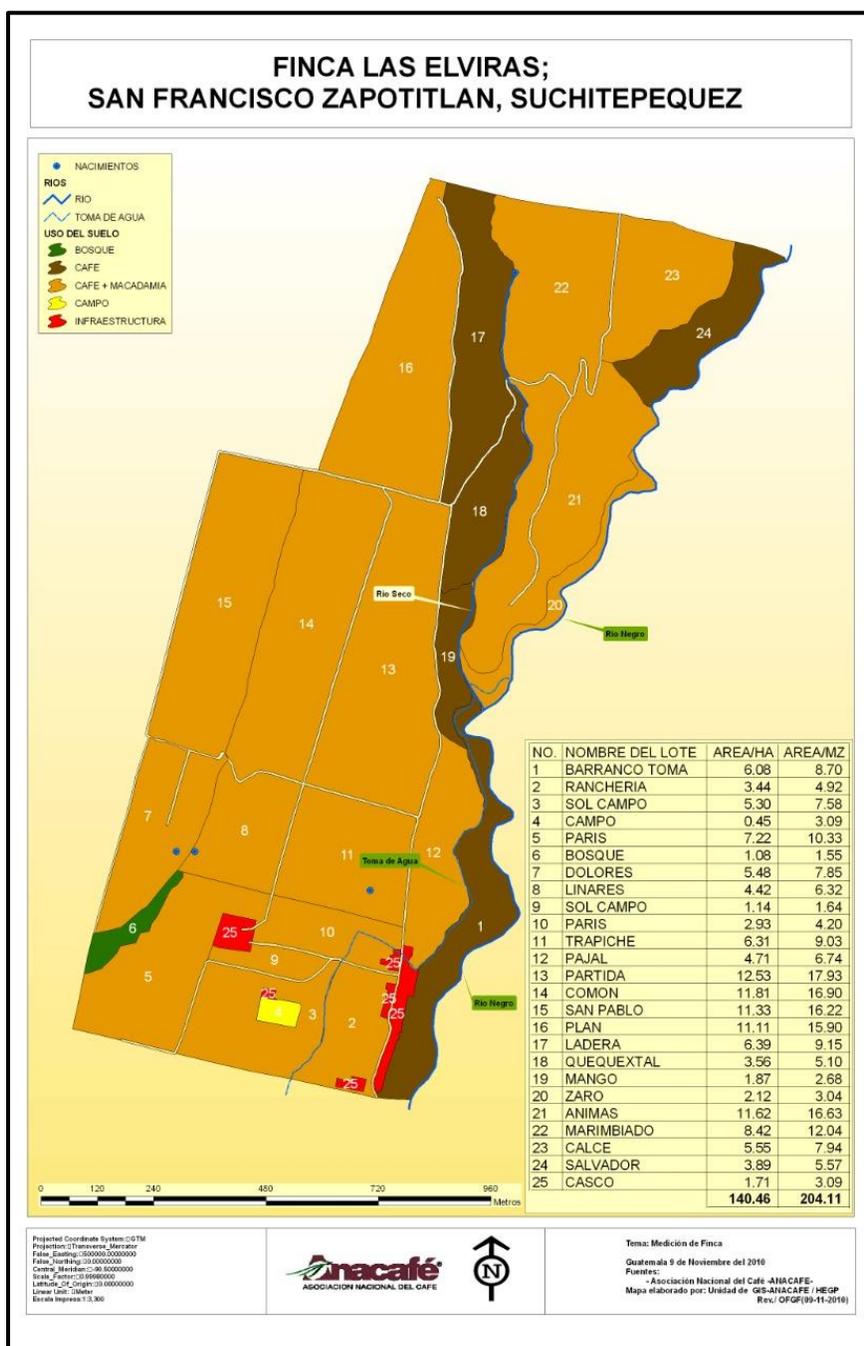


Figura 11 Croquis Finca Agropecuaria Las Elviras.

Fuente: TRANSCAFÉ S.A., (2022).

Cuadro 22 Hoja de campo para la toda de datos de incidencia y severidad.

Finca: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_  
 No. Muestreo: \_\_\_\_\_

Tratamiento	Repetición	Incidencia (enfermos)	Severidad
1	1		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
1	2		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
1	3		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
1	4		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Fuente: Autor (2022).

Cuadro 23 Medias reales para la variable Incidencia.

Tratamientos	BLOQUES			
	I	II	III	IV
T1	100	100	50	50
T2	25	25	25	50
T3	100	100	100	100
T4	50	50	25	0
T5	25	25	50	0
T6	75	50	75	75
T7	25	25	0	50
T8	25	25	25	50
T9	75	50	75	50

Fuente: Autor (2022).

Cuadro 24 Medias transformadas para la variable Incidencia.

Tratamientos	BLOQUES			
	I	II	III	IV
T1	10.05	10.05	7.14	7.14
T2	5.10	5.10	5.10	7.14
T3	10.05	10.05	10.05	10.05
T4	7.14	7.14	5.10	1.00
T5	5.10	5.10	7.14	1.00
T6	8.72	7.14	8.72	8.72
T7	5.10	5.10	1.00	7.14
T8	5.10	5.10	5.10	7.14
T9	8.72	7.14	8.72	7.14

Fuente: Autor (2022).

Cuadro 25 Medias reales para la variable Severidad.

Tratamientos	BLOQUES			
	I	II	III	IV
T1	31.25	25.00	18.75	12.50
T2	6.25	0.00	6.25	12.50
T3	31.25	43.75	68.75	37.50
T4	12.50	12.50	6.25	0.00
T5	6.25	6.25	12.50	0.00
T6	31.25	12.50	43.75	25.00
T7	6.25	6.25	0.00	12.50
T8	6.25	6.25	6.25	12.50
T9	25.00	18.75	37.50	12.50

Fuente: Autor (2022).

Cuadro 26 Medias transformadas para la variable Severidad.

Tratamientos	BLOQUES			
	I	II	III	IV
T1	5.68	5.10	4.44	3.67
T2	2.69	1.00	2.69	3.67
T3	5.68	6.69	8.35	6.20
T4	3.67	3.67	2.69	1.00
T5	2.69	2.69	3.67	1.00
T6	5.68	3.67	6.69	5.10
T7	2.69	2.69	1.00	3.67
T8	2.69	2.69	2.69	3.67
T9	5.10	4.44	6.20	3.67

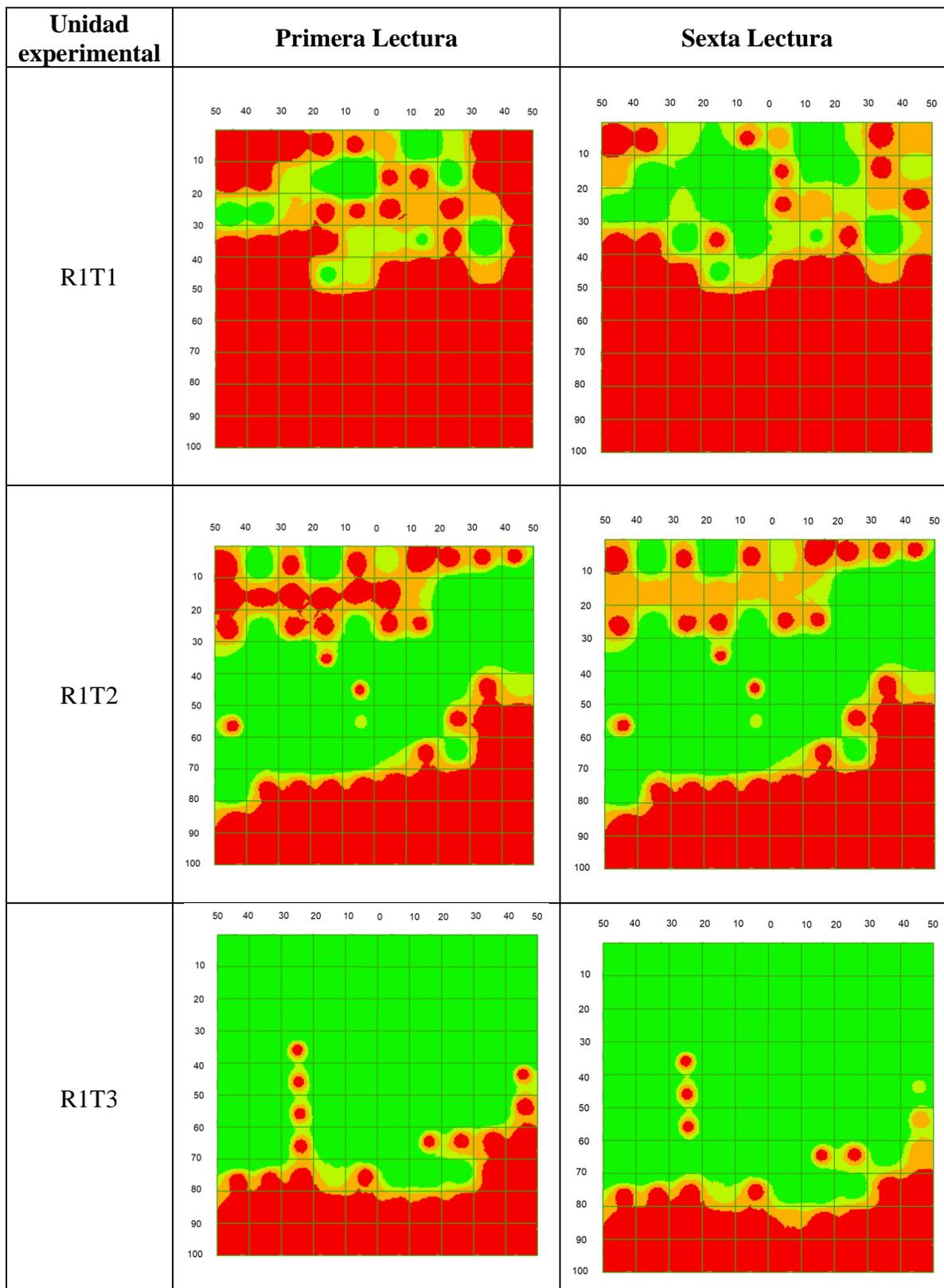
Fuente: Autor (2022).

Cuadro 27 Medias reales para la variable Índice de Enraizamiento.

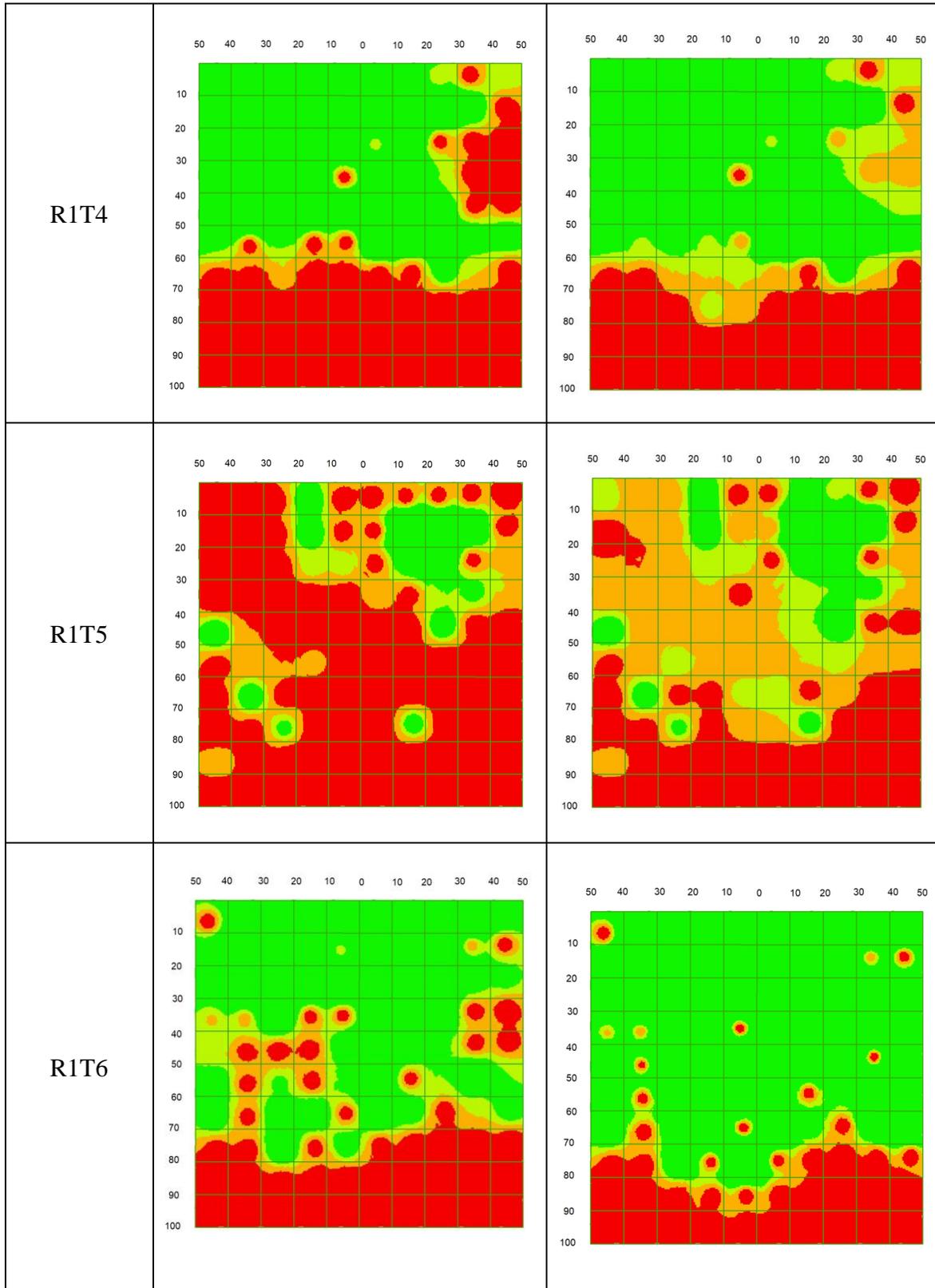
Tratamientos	BLOQUES			
	I	II	III	IV
T1	2.25	3.82	3.46	3.19
T2	2.44	3.88	2.63	3.53
T3	0.84	1.35	1.63	1.68
T4	4.20	6.86	6.08	7.30
T5	5.37	6.05	6.23	5.91
T6	3.54	3.19	4.00	3.03
T7	6.72	6.96	6.56	7.57
T8	5.35	6.07	5.82	7.32
T9	3.19	3.39	3.99	5.01

Fuente: Autor (2022).

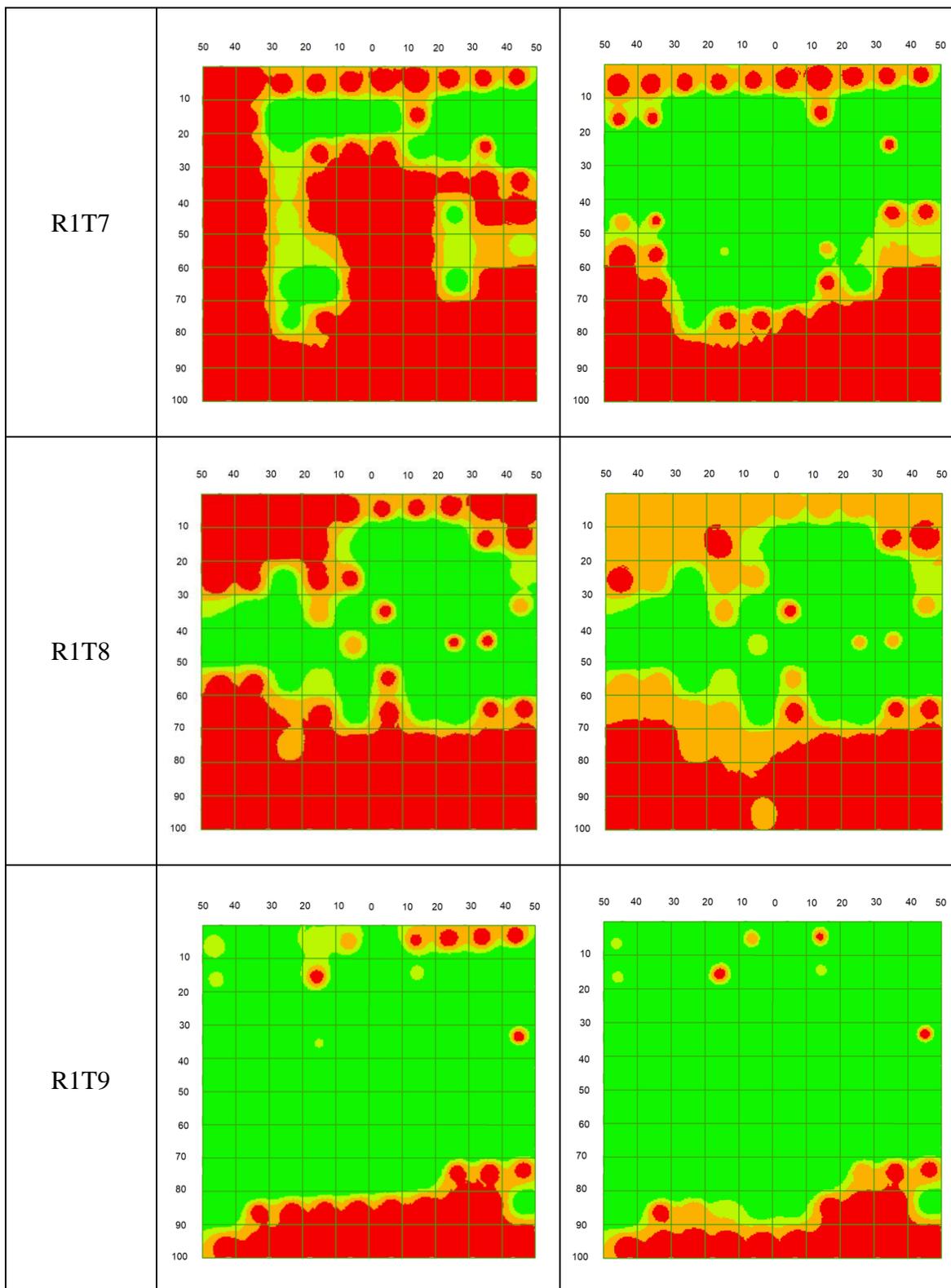
Cuadro 28 Mapas del índice de enraizamiento de los tratamientos evaluados.



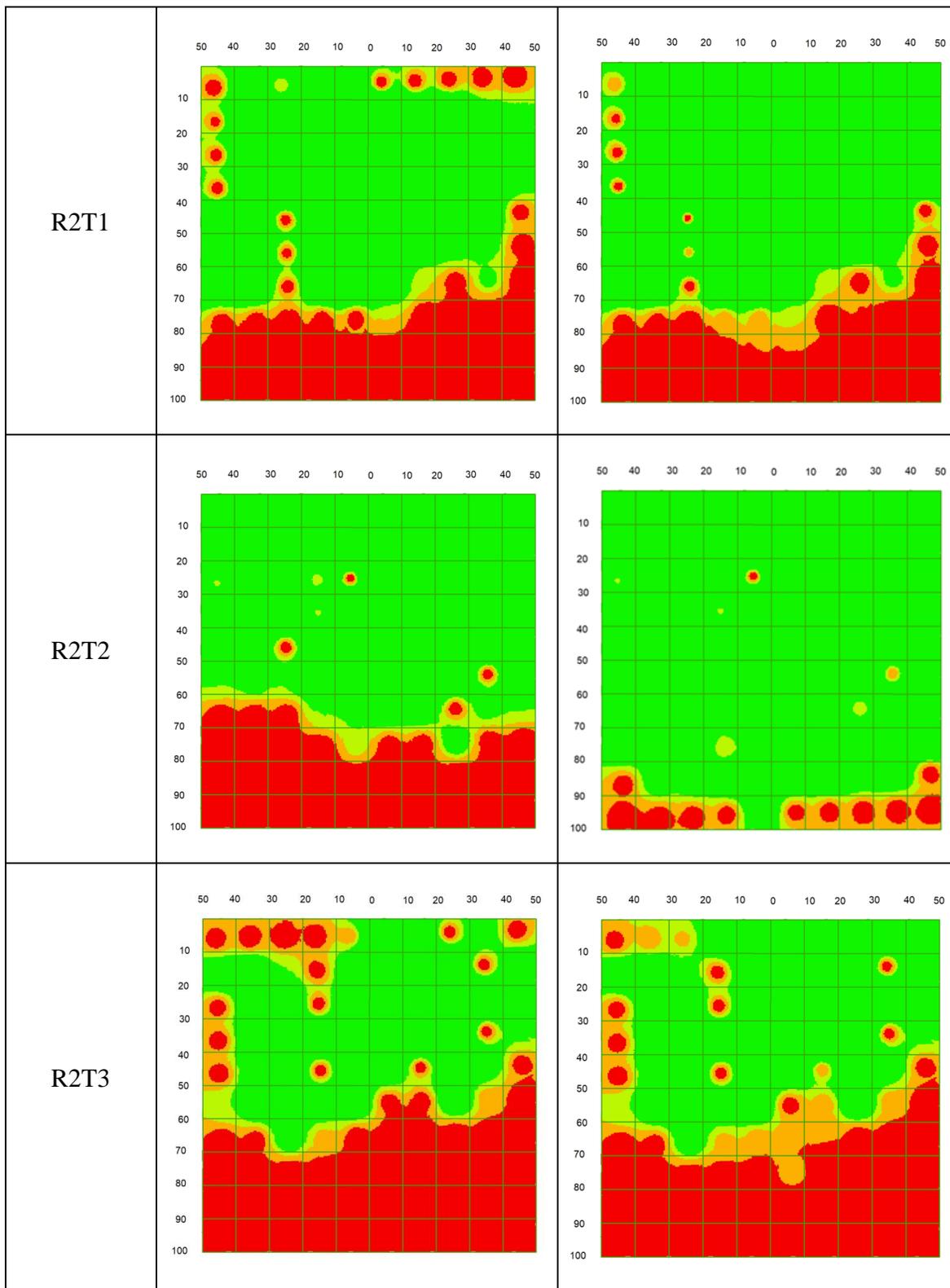
.... Continuación del cuadro 28



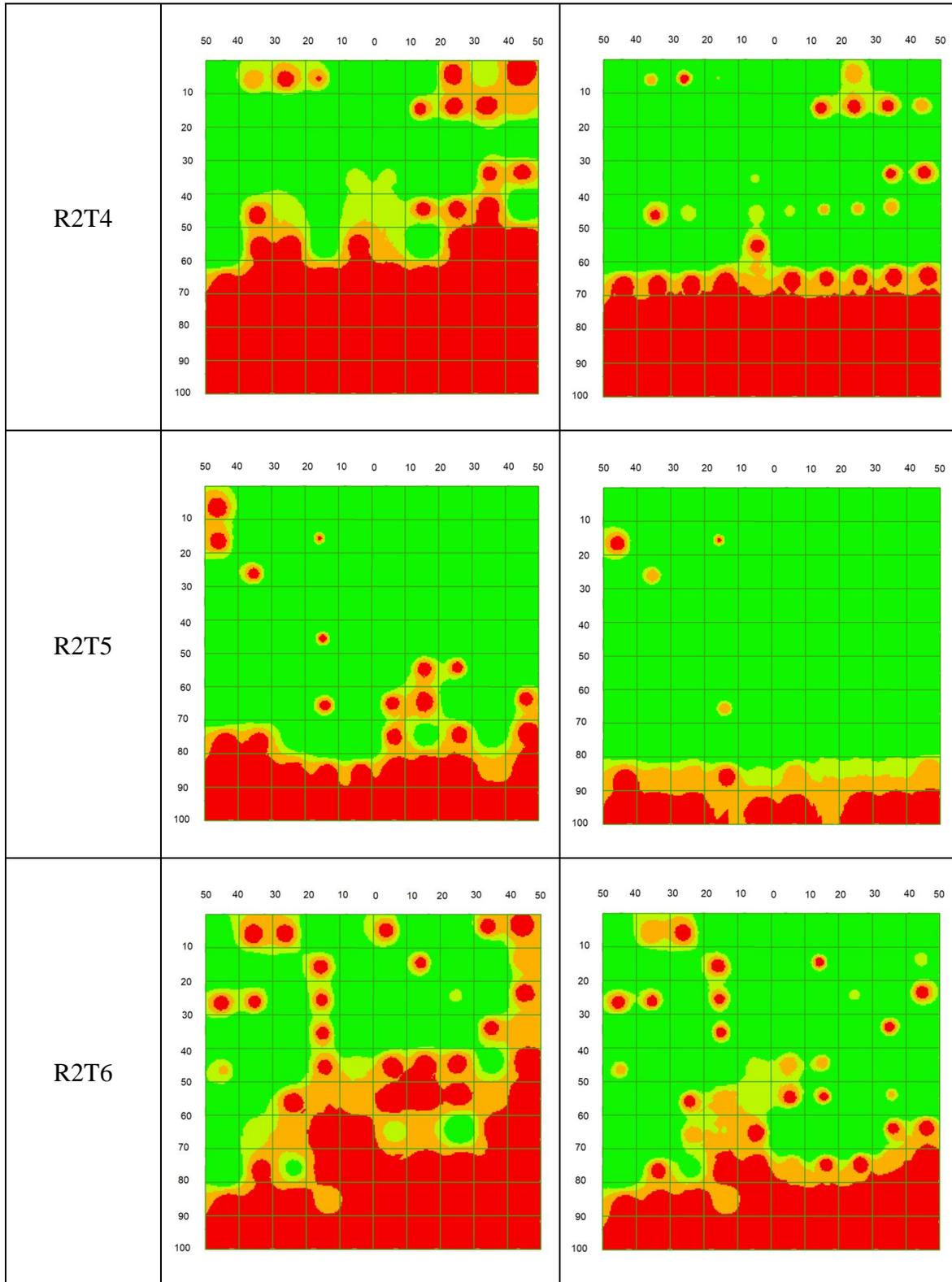
.... Continuación del cuadro 28



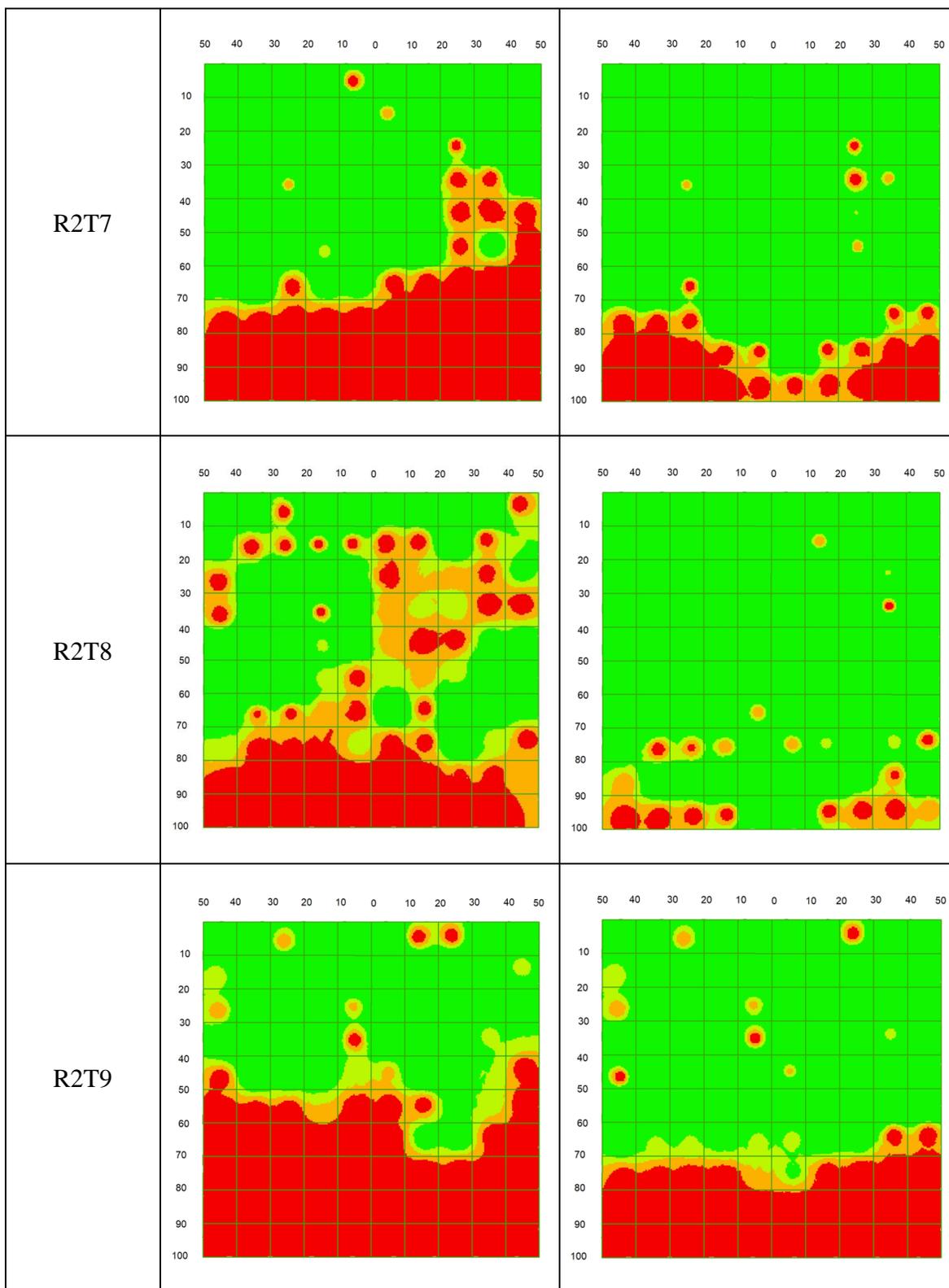
.... Continuación del cuadro 28



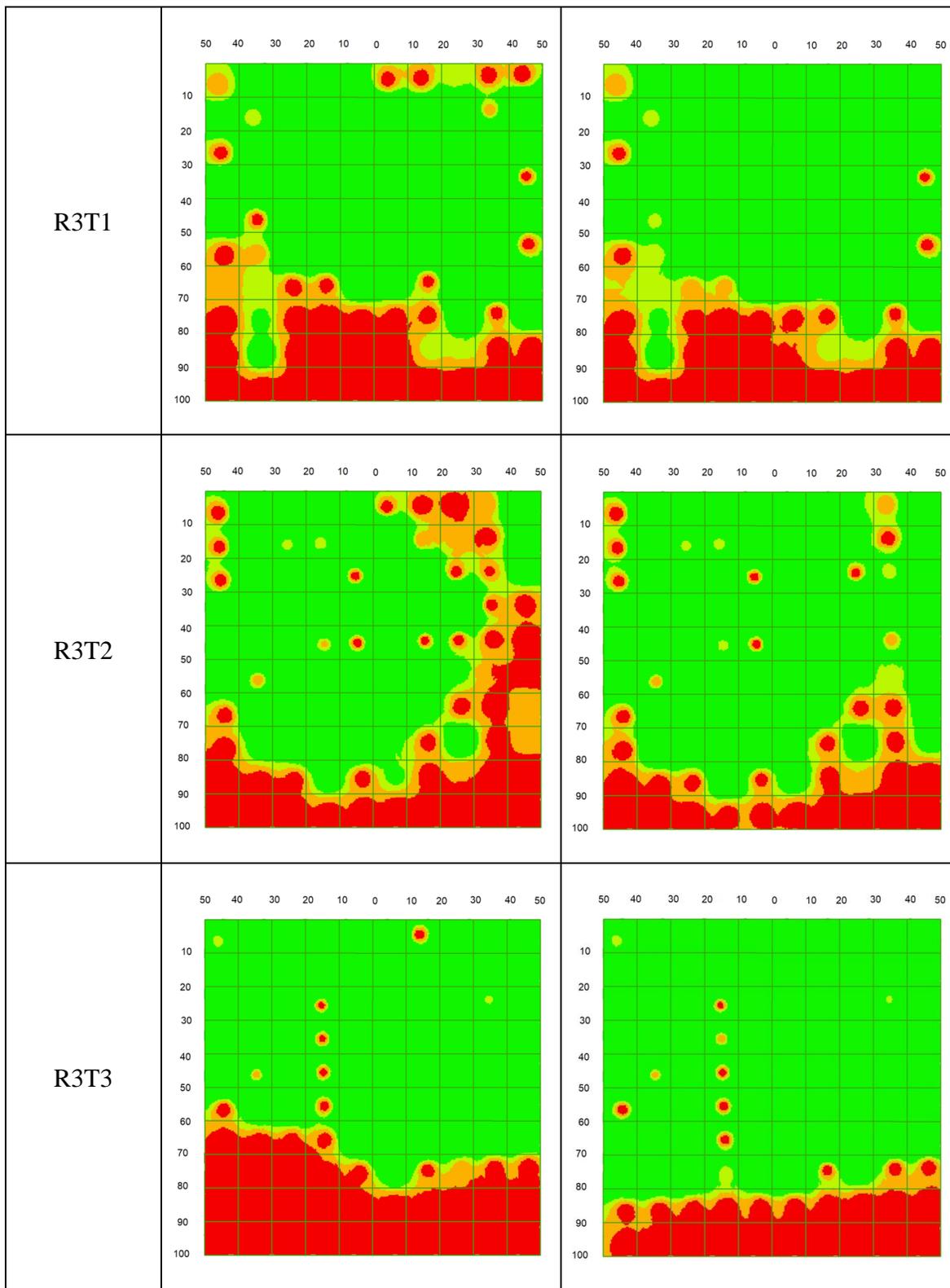
.... Continuación del cuadro 28



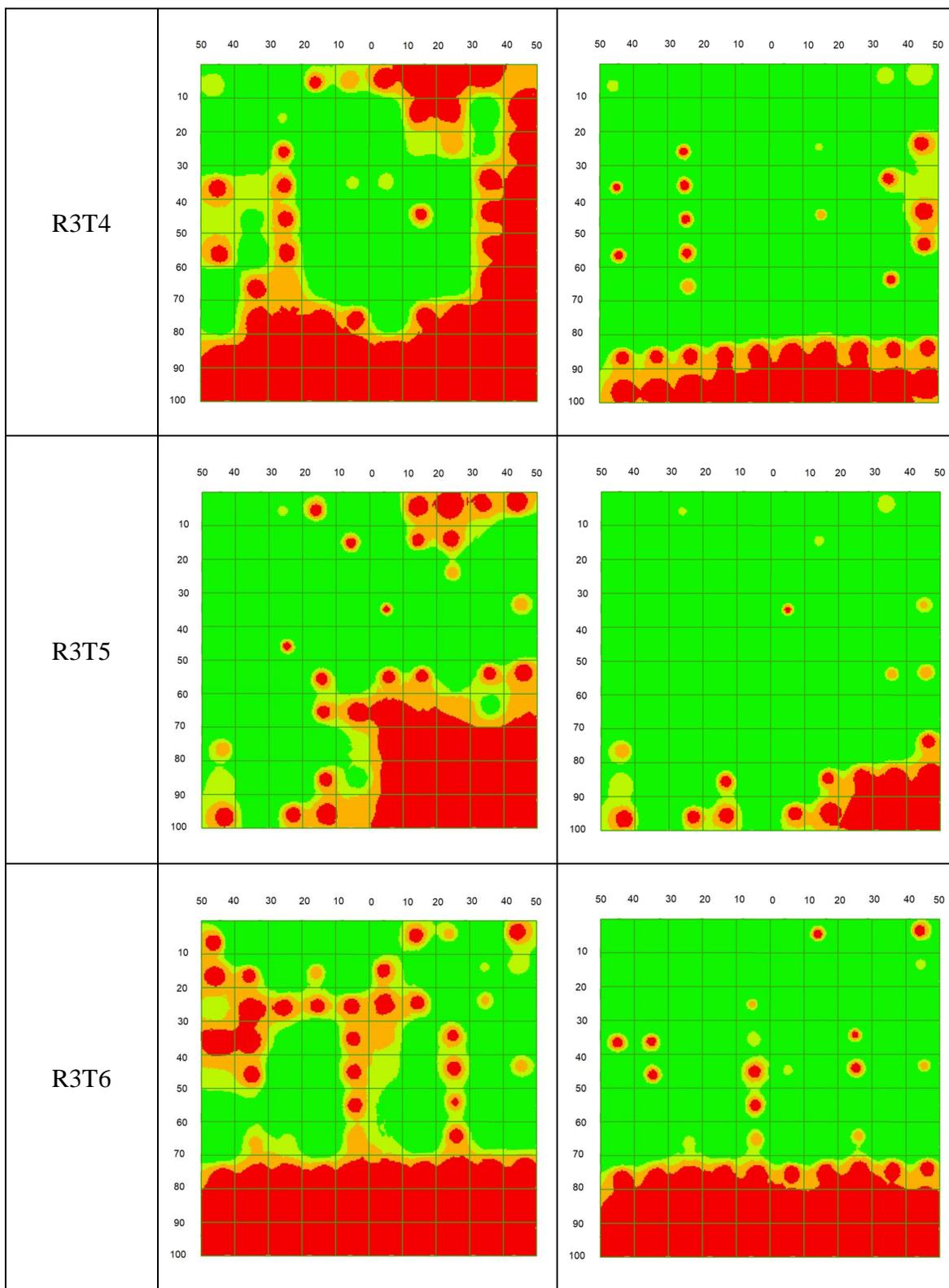
.... Continuación del cuadro 28



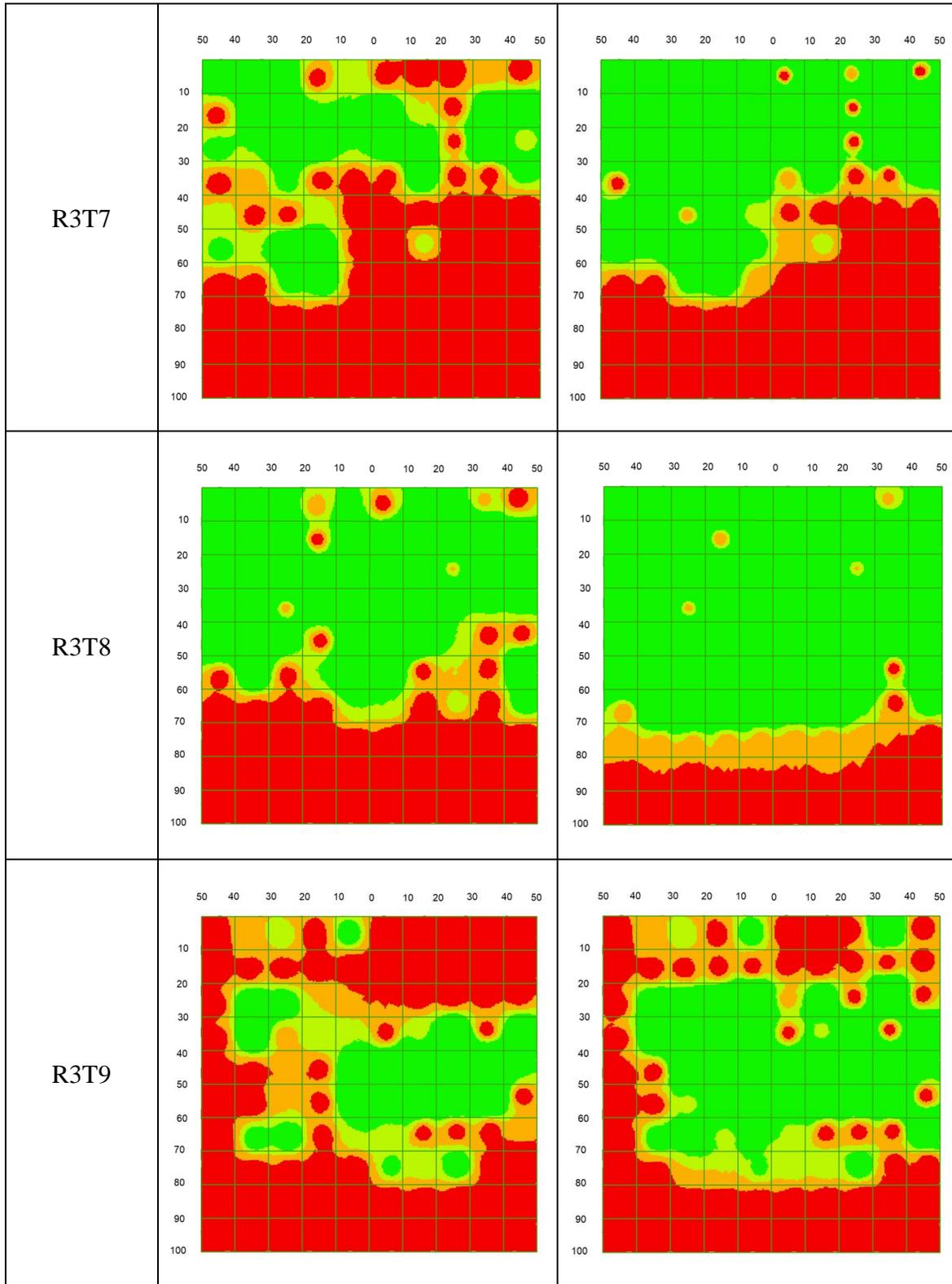
.... Continuación del cuatro 28



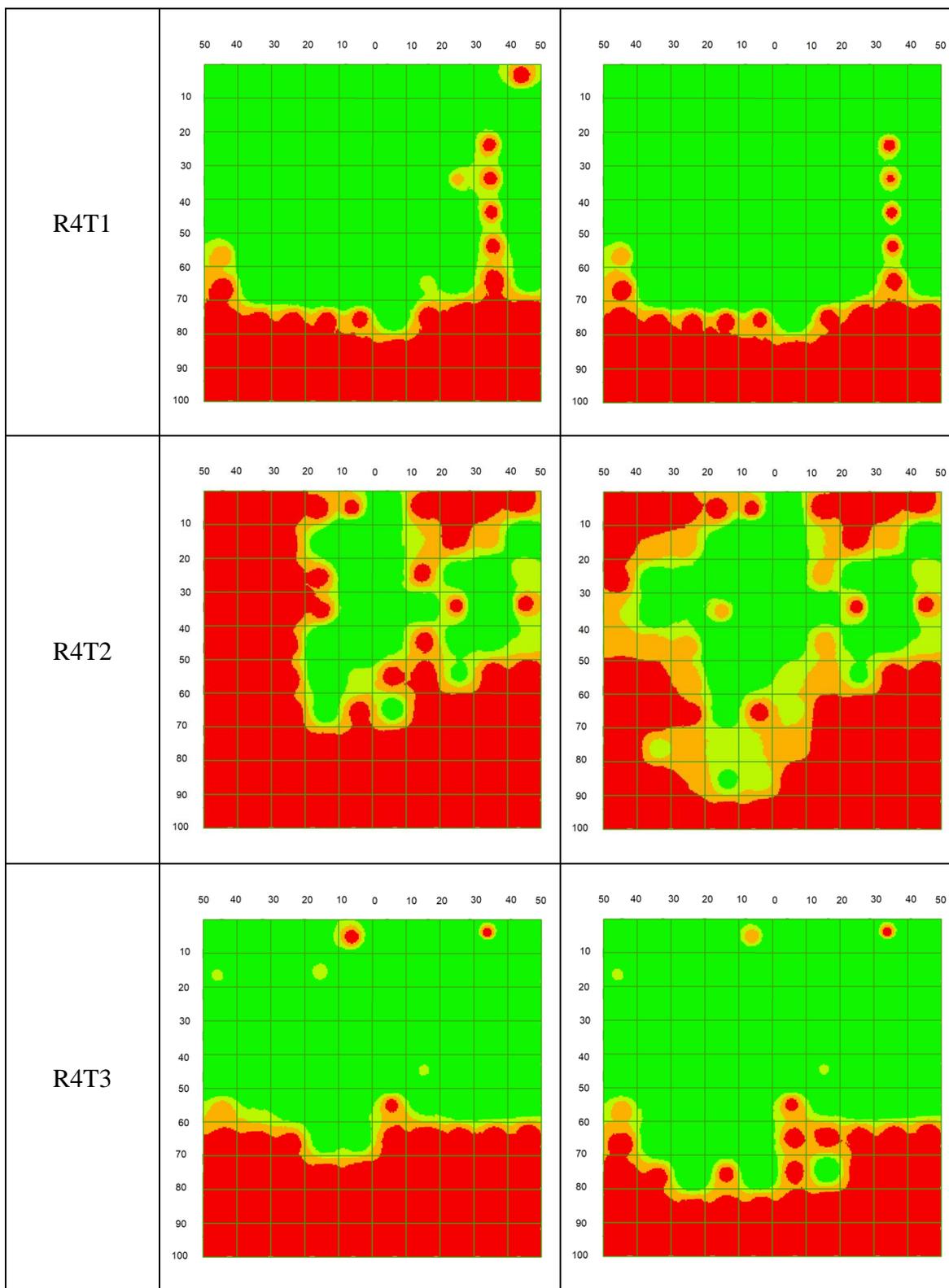
.... Continuación del cuadro 28



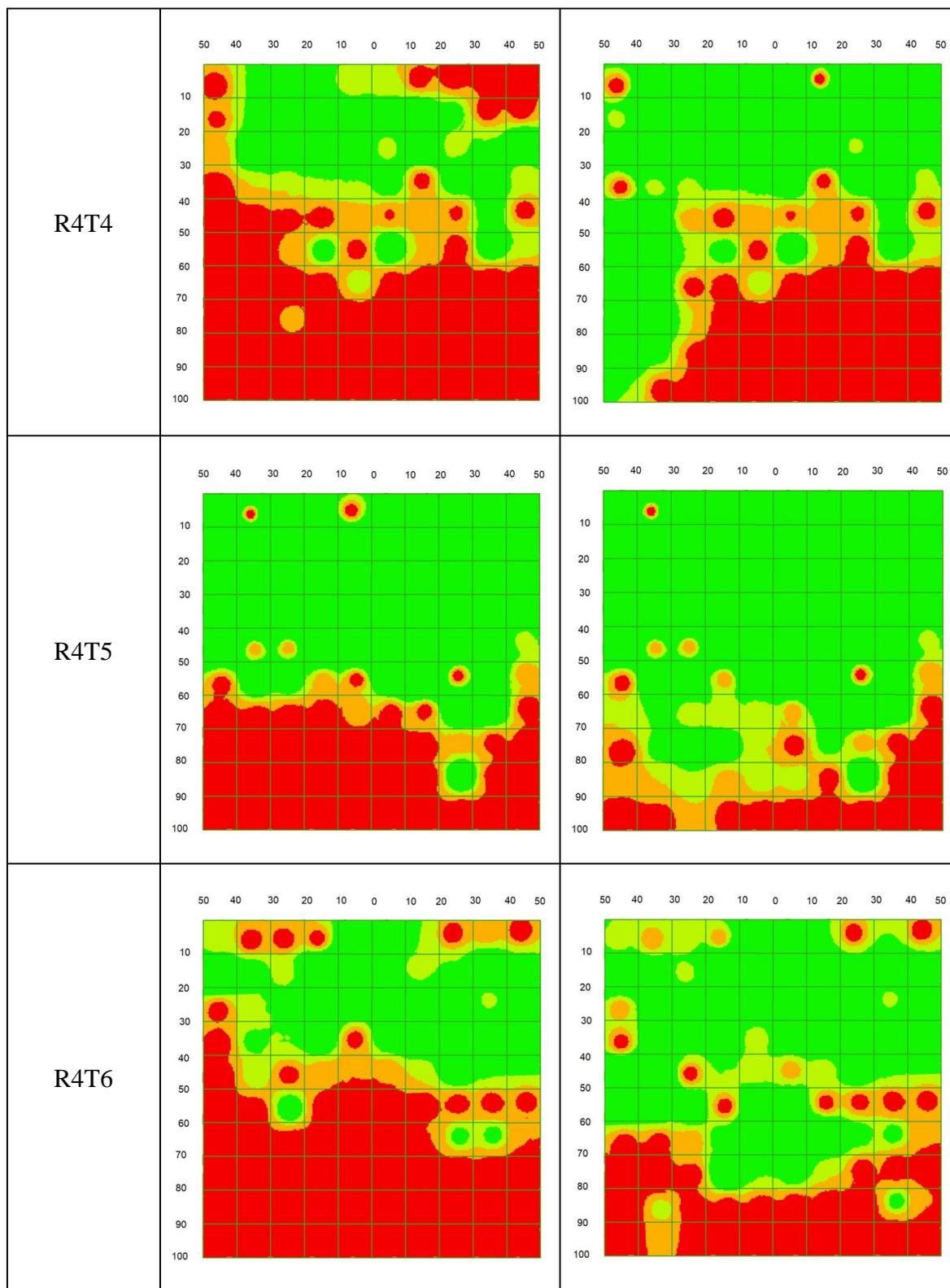
.... Continuación del cuadro 28



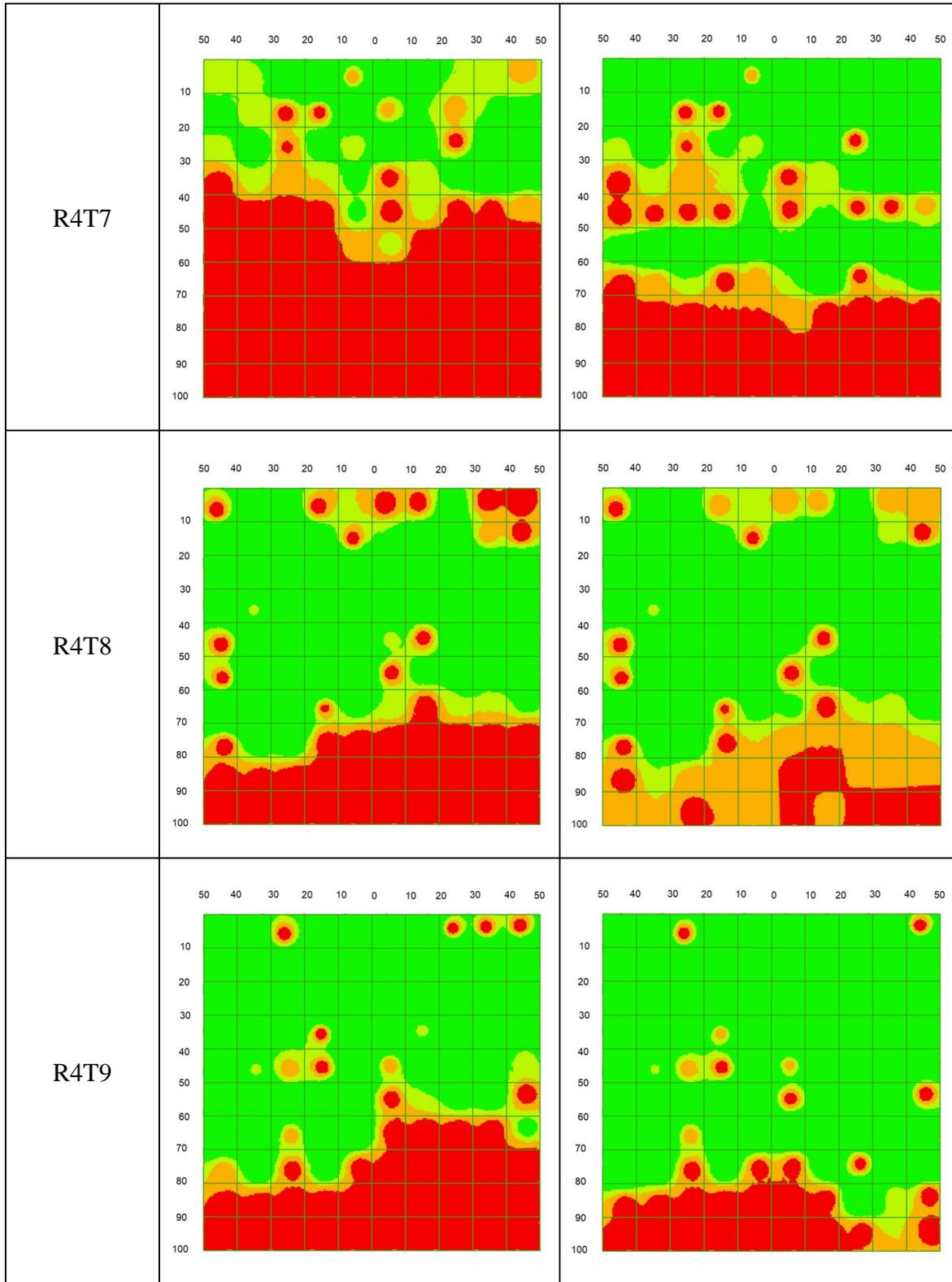
.... Continuación del cuadro 28



.... Continuación del cuadro 28



.... Continuación del cuadro 28



Fuente: DISAGRO ® (2022).

Cuadro 29 Evidencias fotográficas de los resultados obtenidos por los tratamientos.

Tratamientos	Primera lectura	Segunda lectura
Tratamiento 1	 A photograph of a tree in Treatment 1 at the first reading. The tree has a dense canopy of green leaves. A small white label with the text 'R1T1' is visible at the bottom center of the image.	 A photograph of a tree in Treatment 1 at the second reading. The tree shows a similar growth pattern to the first reading, with a full canopy of green leaves.
Tratamiento 2	 A photograph of a tree in Treatment 2 at the first reading. The tree has a well-developed canopy. A small white label with the text 'R2T2' is visible at the bottom center of the image.	 A photograph of a tree in Treatment 2 at the second reading. The tree's canopy appears slightly more dense than in the first reading.
Tratamiento 3	 A photograph of a tree in Treatment 3 at the first reading. The tree has a dense canopy. A small white label with the text 'R3T3' is visible at the bottom center of the image.	 A photograph of a tree in Treatment 3 at the second reading. The tree shows continued growth with a full canopy of green leaves.

.... Continuación del 29

<p>Tratamiento 4</p>	 <p>R4T4</p>	
<p>Tratamiento 5</p>	 <p>R4T5</p>	
<p>Tratamiento 6</p>	 <p>R2T6</p>	 <p>R2T6</p>

.... Continuación del cuadro 29

Tratamiento 7	 A photograph of a tree with a dense canopy of green leaves, viewed from a low angle. The label 'R4T7' is visible in the bottom right corner of the image.	 A photograph of a tree with a dense canopy of green leaves, viewed from a low angle. The label 'R4T7' is visible in the bottom right corner of the image.
Tratamiento 8	 A photograph of a tree with a dense canopy of green leaves, viewed from a low angle. The label 'R4T8' is visible in the bottom right corner of the image.	 A photograph of a tree with a dense canopy of green leaves, viewed from a low angle. The label 'R4T8' is visible in the bottom right corner of the image.
Tratamiento 9	 A photograph of a tree with a dense canopy of green leaves, viewed from a low angle. The label 'R2T9' is visible in the bottom right corner of the image.	 A photograph of a tree with a dense canopy of green leaves, viewed from a low angle. The label 'R2T9' is visible in the bottom right corner of the image.

Fuente: Autor (2022).

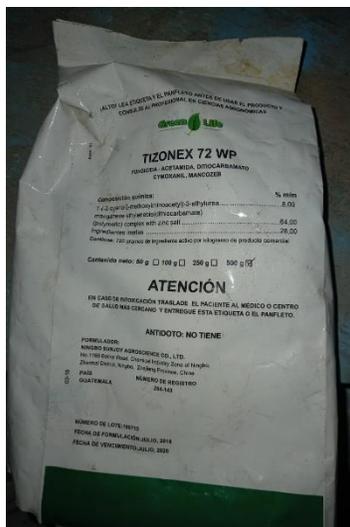


Figura 12 Fungicida TIZONEX 72 WP.

Fuente: Autor (2022).



Figura 13 Fungicida Metalxyl + Mancozeb (COLTAC 72 WP).

Fuente: Autor (2022).





Figura 15 Medición para apertura de calicatas.

Fuente: Autor (2022)



Figura 16 Apertura de la calicata para evaluar desarrollo radicular.

Fuente: Autor (202).



Figura 17 Grilleta de 1 m<sup>2</sup> utilizada para las lecturas de desarrollo radicular.

Fuente: Autor (2022).

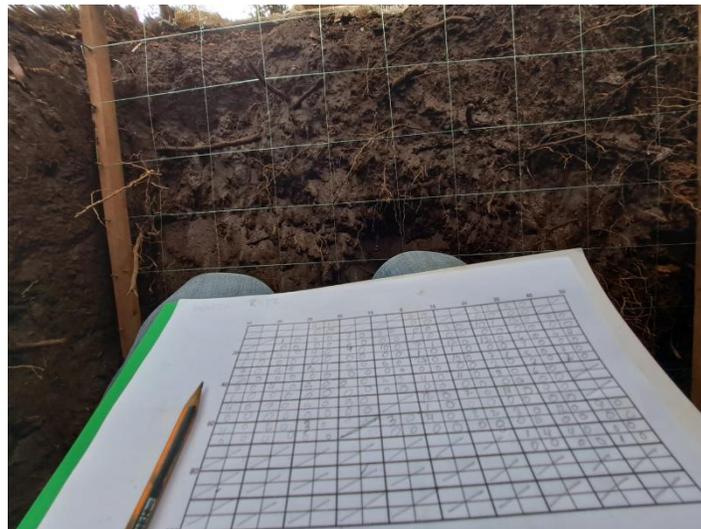


Figura 18 Lectura de desarrollo radicular para determinación del índice de enraizamiento.

Fuente: Autor (2022).



Figura 19 Exudaciones de savia en el tronco por efecto de patógeno *P. Cinnamomi*.

Fuente: Autor (2022).



Figura 20 Aplicación de los tratamiento con Sulfato de cobre pentahidratado.

Fuente: Autor (2022).



Figura 21 Aplicación de los tratamientos a base de Metalaxyl + Mancozeb + Fosfito de Potasio.

Fuente: Autor (2022).

Mazatenango, Suchitepéquez marzo de 2023

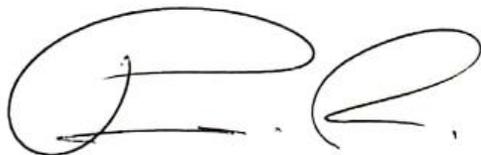
Lic. Luis Carlos Muñoz López  
Director Centro Universitario del Suroccidente  
Universidad San Carlos de Guatemala  
A su despacho

Señor director:

De manera atenta, me dirijo a usted para informar que el estudiante Nelson Israel Méndez Arévalo, quien se identifica con el número de carné: 201743454 de la carrera de Agronomía Tropical, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **"Evaluación de agroquímicos para el control de *Phytophthora cinnamomi* en *Macadamia integrifolia* Proteacea L.A.S. Johnson, en finca Agropecuaria Las Elviras, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez"**; el cual fue asesorado y revisado con dictamen favorable.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo a sus respetables órdenes.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



---

Ing. Agr. Héctor Rubén Posadas Ruíz.

Asesor/Supervisor

Mazatenango, Suchitepéquez marzo de 2023

Lic. Luis Carlos Muñoz López  
Director Centro Universitario del Suroccidente  
Universidad San Carlos de Guatemala  
A su despacho

Señor director:

De manera atenta, me dirijo a usted para informar que el estudiante Nelson Israel Méndez Arévalo, quien se identifica con el número de carné: 201743454 de la carrera de Ingeniería en Agronomía Tropical, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **"Evaluación de agroquímicos para el control de *Phytophthora cinnamomi* en *Macadamia integrifolia* Proteacea L.A.S. Johnson, en finca Agropecuaria Las Elviras, San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez"**; el cual fue revisado con dictamen favorable por la terna evaluadora.

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante Nelson Israel Méndez Arévalo, ha cumplido con el normativo de Trabajo de Graduación, razón por la cual autorizo al estudiantes para continuar con el proceso de graduación de la carrera de **Ingeniería en Agronomía Tropical**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo a sus respetables órdenes.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



Dr. Mynor Raúl Otzoy Rosales

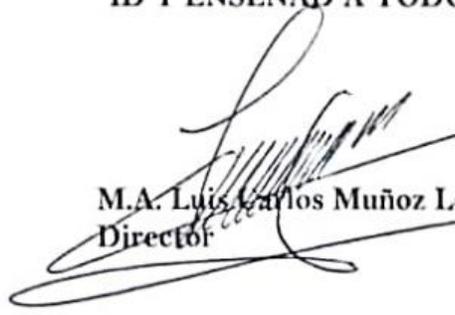
Coordinador Carrera en Ingeniería en Agronomía Tropical

**CUNSUROC/USAC-I-38-2023**

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,  
Mazatenango, Suchitepéquez, tres de mayo de dos mil veintitrés\_\_\_\_\_

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "EVALUACIÓN DE AGROQUÍMICOS PARA CONTROL DE *Phytophthora cinnamomi* en *Macadamia integrifolia* Proteacea L.A.S. JOHNSON, EN FINCA AGROPECUARIA LAS ELVIRAS, SAN FRANCISCO ZAPOTITLÁN, SUCHITEPÉQUEZ", del estudiante: TPA. Nelson Israel Méndez Arévalo. Carné: 201743454. CUI: 3389 25147 1001 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
M.A. Luis Carlos Muñoz López  
Director



/gris