

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Eficiencia del quitosano entrecruzado con ácido cítrico (QAC) y  
aceite esencial de canela (QC) como control fúngico del  
fitopatógeno Rhizoctonia Solani**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Yesica Lisbeth Juarez Morccolla  
Yanitza Yesenia Elescano Bautista

**Asesor:**

Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio

Lima, mayo de 2022

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Jackson Edgardo Pérez Carpio, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFICIENCIA DEL QUITOSANO ENTRECruzado con Ácido CÍTRICO (QAC) Y ACEITE ESENCIAL DE CANELA (QC) COMO CONTROL FÚNGICO DEL FITOPATÓGENO RHIZOCTONIA SOLANI”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Yesica Lisbeth Juarez Morccolla y Yanitza Yesenia Elescano Bautista para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 10 días del mes de mayo del año 2022



---

Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **10 días** día(s) del mes de **mayo** del año 2022 siendo **las 08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas y la Ing. Nancy Curasi Rafael** y el, y el asesor **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Eficiencia del quitosano entrecruzado con ácido cítrico (QAC) y aceite esencial de canela (QC) como control fúngico del fitopatógeno *Rhizoctonia Solani*"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **YESICA LISBETH JUAREZ MORCCOLLA**

..... b) **YANITZA YESENIA ELESCANO BAUTISTA**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **YESICA LISBETH JUAREZ MORCCOLLA** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>18</b>	<b>A-</b>	<b>MUY BUENO</b>	<b>SOBRESALIENTE</b>

Candidato (b): ..... **YANITZA YESENIA ELESCANO BAUTISTA** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>18</b>	<b>A-</b>	<b>MUY BUENO</b>	<b>SOBRESALIENTE</b>

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Iliana Del Carmen  
Gutierrez Rodriguez



\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. Orlando Alan  
Poma Porras

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Mg. Jackson Edgardo  
Pérez Carpio

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Ing. Joel Hugo  
Fernandez Rojas

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Ing. Nancy Curasi  
Rafael



\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Yesica



\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Yanitza

**Eficiencia del quitosano entrecruzado con ácido cítrico (QAC) y aceite esencial de canela (QC) como control fúngico del fitopatógeno *Rhizoctonia Solani***

**Efficiency of chitosan cross-linked with citric acid (QAC) and cinnamon essential oil (QC) as fungal control of the phyto-pathogen *Rhizoctonia Solani***

Elescano Bautista, Yanitza Yesenia<sup>1</sup>; Juarez Morccolla, Yesica Lisbeth<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica, Lima, Perú

<sup>2</sup> Universidad Peruana del Norte, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica, Lima, Perú

Autor de correspondencia: Elescano Bautista, Yanitza Yesenia

Correo electrónico: [elescanoyanitza@gmail.com](mailto:elescanoyanitza@gmail.com)

## RESUMEN

Las aplicaciones de fungicidas químicos para controlar plagas en el cultivo de la papa han producido riesgos negativos en la biodiversidad y en la salud humana, es por ello que nuestra investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de los biofungicidas para controlar el fitopatógeno *Rhizoctonia Solani* utilizando quitosano, ácido cítrico y aceite esencial de canela. Se utilizó como diseño experimental el DCA (diseño completamente aleatorio) teniendo como tratamientos T1: ácido cítrico al 1% con quitosano al 2%, T2: quitosano al 2%, T3: quitosano al 2.5%, T4: ácido cítrico al 2% y T5: aceite esencial de canela al 2%; realizándose 5 repeticiones por cada tratamiento, con un monitoreo durante 5 días, donde se comprobó que los tratamientos cumplieron la función de biofungicida ante *R. Solani*, utilizando la metodología de % de inhibición micelial por cada placa petri. Los resultados muestran que el tratamiento T1 fue más efectivo con un 96.4% de inhibición micelial, es preciso indicar que el tratamiento T2, tiene una efectividad muy dispersa, puesto que tiene mucha variabilidad en su rendimiento. Se concluye al evaluar la eficiencia de los tratamientos, que el más efectivo es el tratamiento T1 ya que registró óptimos resultados de inhibición ante el fitopatógeno.

Palabras clave: quitosano entrecruzado, control fúngico, *Rhizoctonia Solani*, ácido cítrico, aceite esencial de canela, fitopatógeno.

## ABSTRACT

The applications of chemical fungicides to control pests in potato crops have produced negative risks to biodiversity and human health, which is why our research aims to evaluate the efficiency of biofungicides to control the phytopathogen *Rhizoctonia Solani* using chitosan, citric acid and cinnamon essential oil. The DCA (completely randomized design) was used as experimental design, having as treatments T1: 1% citric acid with 2% chitosan, T2: 2% chitosan, T3: 2.5% chitosan, T4: 2% citric acid. % and T5: 2% cinnamon essential oil; performing 5 repetitions for each treatment, with monitoring for 5 days, where it was verified that the treatments fulfilled the function of biofungicide against *R. Solani*, using the methodology of % mycelial inhibition for each petri dish. The results show that the T1 treatment was more effective with 96.4% mycelial inhibition, it is necessary to indicate that the T2 treatment has a very disperse effectiveness, since it has a lot of variability in its performance.

Keywords: cross-linked chitosan; *Rhizoctonia Solani*; citric acid; cinnamon essential oil; phytopathogen.

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de agroquímicos para controlar plagas y enfermedades de forma irracional han ocasionado problemas de resistencia, rebrote, surgimiento de otras plagas, efectos en el cuerpo de agua, ser bioacumulables, tóxicos en reproducción; en abejas, suelo o sedimento, alta persistencia y su lenta degradación en el medio ambiente. (Pelosi et al., 2017; García et al., 2018; Cotrina et al., 2021;)

Asimismo, las presencias de estos fitopatógenos causan pérdidas económicas y de cultivos a nivel mundial (Martínez et al., 2019). La FAO (2016) reportó un incremento en su incidencia sobre las plantas, debido a la internacionalización y los cambios en la condición climática (SEF, 2020). Peng et al (2021) encontró pérdidas anuales en diversos cultivos por enfermedades a las plantas entre el 10% - 15%, lo que reflejó pérdidas equivalentes a cientos de miles de millones de dólares. A nivel mundial el 70 al 80% de enfermedades en las plantas, son causadas por la presencia de fitopatógenos, que produce efectos adversos en el rendimiento de cultivos(Li et al., 2017).

En ese contexto, el Perú, es una de las naciones que aplica indiscriminadamente agroquímicos en la agricultura, haciendo que muchos cultivos contengan ciertos químicos a elevadas concentraciones, lo que posiciona a los productos nacionales en una mala situación, reduciendo su credibilidad y la confianza por parte de los consumidores (Delgado et al., 2018). En el Perú Según el estudio de (Aguilar et al., 2017) en Piura, se tiene una pérdida de rendimiento en cultivos de arroz por la presencia de fitopatógenos como *R. oryzae*, *Nakataea*, *sigmoidea* y *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia Solani c-1*, *R. Solani c-2*. La *Rhizoctonia Solani* es un fitopatógeno conocido a nivel mundial por afectar un sinnúmero de plantas cultivadas. Chavarro et al (2021) reportó que las raíces, tallos, y tubérculos de la papa fueron afectados por el fitopatógeno *Rhizoctonia Solani*.

Para disminuir el desarrollo de dicho hongo, se utiliza la aplicación de fungicidas sintéticos en cultivos de papa, principalmente compuestos por Pirazol, Carboximida, Thiazole y Carboxanilida (Betancourth et al., 2021). Sin embargo, su aplicación representa un riesgo, que debe ser reducido, por su efecto negativo en la biodiversidad debido a sus componentes tóxicos y efecto residual, y en la salud humana por sus efectos carcinógenos (Trujillo, 2010; Mesa et al., 2019). En ese contexto, es imprescindible aplicar una secuencia de acciones que mejoren los diversos sistemas de prevención que se utilizan en el control de diferentes enfermedades, donde deben implementar prácticas relacionadas con la agricultura orgánica, y prohibir el uso

de productos con ingredientes altamente tóxicos o con efecto residual, para desarrollar nuevas técnicas o fórmulas biodegradables con un impacto beneficioso en la agricultura (Ramírez, 2018).

Uno de estos productos es el quitosano, que es un polisacárido natural, empleado en el desarrollo de diversos materiales, debido a sus excepcionales propiedades fisicoquímicas y biológicas (Caro et al., 2019). Compatible con tejidos de plantas y animales, su aplicación en la agricultura es importante debido al crecimiento de las plantas e inhibición de fitopatógenos (Paz et al., 2017). Asimismo, existen reactivos que permiten optimizar los efectos de los fungicidas biodegradables, como: el uso del ácido cítrico que posee la capacidad de degradarse y de las combinaciones con aceites esenciales (AE), que pueden aumentar la actividad antimicrobiana y superar la resistencia de la planta (Muñoz et al., 2014; Hassan et al., 2020).

La presente investigación tiene como propósito evaluar la eficiencia de los biofungicidas: Quitosano, ácido cítrico, aceite esencial de canela de manera independiente y su combinación ante el fitopatógeno *Rhizoctonia Solani* que afecta los cultivos de papa.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS:**

### **2.1. Área de estudio**

El procedimiento de aislamiento y evaluación antifúngica y la elaboración de los tratamientos T1: ácido cítrico al 1% con quitosano al 2%; T2: quitosano al 2%; T3: quitosano al 2.5%; T4: ácido cítrico al 2% y T5: aceite esencial de canela al 2%, se realizó en las instalaciones de la Universidad Agraria La Molina, ubicada en 288173.80 m E 8663987.82 m S.

### **2.2. Metodología**

El fitopatógeno fue aislado siguiendo la metodología descrita por (Gómez et al., 2013). Los tratamientos empleados fueron el T1: ácido cítrico al 1% con quitosano al 2%; T2: quitosano al 2%; T3: quitosano al 2.5% y T5: aceite esencial de canela al 2% que fueron obtenidos siguiendo la metodología descrita por (Huerta et al., 2018; Chávez et al., 2019) y T4: ácido cítrico al 2% obtenido del laboratorio. La evaluación antifúngica fue realizada por medio de un monitoreo constante utilizando un calibrador Vernier digital (UBERMANN®, RM813).

El DCA (Diseño Completamente Aleatorio), empleado por Morillo et al. quienes utilizaron el diseño experimental completamente al azar, en el estudio de la capacidad quelante del quitosano. Al estudiar variables y su influencia en el crecimiento o inhibición, como es caso de crecimiento del pakchoi aplicaron el método DCA (Martínez Macías et al., 2020; Morillo-Coronado et al., 2021). El diseño experimental fue completamente al azar (Agustiyani et al., 2021). Asimismo, para realizar el estudio de factores ambientales y físicos Torres, aplicó el método DCA (diseño completamente aleatorio) (Torres Rojo, 2021).

Los procesos a realizar en la metodología, se resumen en la *Figura 1*.

### **2.2.1. Aislamiento del hongo *Rhizoctonia Solani***

Raíces de papa infectadas con *Rhizoctonia Solani* fueron proporcionadas por agricultores de la Región Junín. El fitopatógeno *R. Solani* fue aislado de las raíces infectadas de la papa (*Solanum tuberosum*), en condiciones estériles. Para esto, se realizaron cortes de 5 mm de la parte necrótica de la raíz, el cual fue introducido dentro del medio de cultivo Agar papa dextrosa (PDA), y adicionado un antibiótico (oxitetraciclina de 500 en una proporción de 0.5 mg por 200 ml de medio de cultivo para inhibir el crecimiento de bacterias). Esta mezcla fue colocada en la incubadora (Memmerth, República Federal de Alemania, DE 66812464) por espacio de tres días. Luego se hicieron hasta tres repiques hacia otras placas con medio de cultivo hasta obtener el micelio purificado en 15 días. Para obtener el micelio desde una placa pura el tiempo de crecimiento en las placas Petri inoculadas fue de 5 a 7 días aproximadamente (Gómez et al., 2013).

### **2.2.2. Obtención de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5)**

#### **T1: Obtención del ácido cítrico al 1% con quitosano al 2%(QAC)**

Se pesaron 2 gr de quitosano, luego se disolvió en una solución de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ , al 3% m/v) y se adicionaron 2 gr de ácido cítrico ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) a la disolución a  $90^\circ\text{C}$  en una cocinilla y agitación manual cada 30 minutos por una hora, para la formación de enlaces éster (entrecruzamiento) (Huerta et al., 2018).

#### **T2: Obtención del quitosano al 2% y T3: quitosano al 2.5%**

Las muestras de exoesqueleto de langostino blanco (*Penaeus vannamei*) se obtuvieron por parte de los residuos del terminal pesquero de Villa María del Triunfo, fueron transportados al



laboratorio, donde se lavaron, limpiaron, secaron (100 °C, 1 hora) y trituraron (4 mm). Primero se calentaron 257.60 gr de exoesqueleto triturado, en una solución de (NaOH, al 10%), por 1 hora a 85°C. A la solución obtenida se adiciona una solución de ácido clorhídrico (HCl, al 6 M) a temperatura ambiente durante 1 hora para desmineralizar. Luego se agregó etanol a la solución hasta lograr la despigmentación. Por último, se aumentó una solución acuosa de Hidróxido de Sodio (NaOH, al 30% m/V) a una temperatura entre 100 °C a 110 °C, por 4 horas, la muestra final se lavó, se filtró y secó a temperatura ambiente, en donde se obtuvo 50 gr de quitosano (Huerta et al., 2018; Chávez et al., 2019).

Para la obtención de las soluciones de quitosano al 2 y 2.5%, primero se prepararon las soluciones disolviendo 2 mL y 2.5 mL de solución de quitosano en 98 mL y 97.5 mL de medio de cultivo PDA respectivamente a punto de plaqueo, añadiendo 20 mL en cada placa, con un total de 5 placas por cada producto. El tratamiento control consistió en placas Petri con medio PDA sin tratamiento (Huerta et al., 2018).

#### **T4: Obtención del ácido cítrico al 2%**

Se preparó la solución disolviendo 2 mL ácido cítrico en 98 mL de medio de cultivo PDA a punto de plaqueo, añadiendo 20 mL en cada placa, con un total de 5 placas. El tratamiento control consistió en placas Petri con medio PDA sin tratamiento (Huerta et al., 2018).

#### **T5: Obtención del aceite de canela al 2%**

El aceite esencial fue adquirido en un centro naturista, de marca “Kadharani”. Se preparó las soluciones del cultivo, disolviendo 2 mL de aceite esencial de canela a un medio de 98 mL de PDA a punto de plaqueo, esperando previamente a que enfrié. Para la preparación de la placa control, se realizó con medios de PDA sin ningún tratamiento (Huerta et al., 2018).

### **2.2.3. Aplicación de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5) en contra de *Rhizoctonia Solani*.**

Se utilizó los medios de cultivo de PDA previamente realizados por tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5) y las placas control, en lo cual, ya solidificados se emplearon como medio de cultivo, inoculando el fitopatógeno *R. Solani* de la placa madre con crecimiento activo de 15 días y se colocó al medio de las placas petri. Asimismo, el tratamiento control consistirá en un medio de cultivo PDA, sin ningún tratamiento.

### **2.2.4. Evaluación de la actividad antifúngica de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5)**

## Efectos de los tratamientos en la inhibición del crecimiento micelial del *R. Solani*

Se incubaron a  $25 \pm 1$  °C las placas Petri con la muestra control. Posteriormente se midió el crecimiento micelial (mm) utilizando un vernier digital (UBERMANN®, RM813), cada 24 horas durante 05 días. Cuando el micelio alcanzó los bordes de las placas testigo, el diámetro medio de crecimiento de hongos en presencia de T1: ácido cítrico al 1% con quitosano al 2%; T2: quitosano al 2%; T3: quitosano al 2.5%; T4: ácido cítrico al 2% y T5: aceite esencial de canela al 2%, se compararon con la muestra control. El experimento contó con cinco repeticiones por cada tratamiento mencionado. Con el fin de determinar el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, se utilizó la siguiente ecuación (Patiño et al., 2019; Pelosi et al., 2017):

$$\% \text{ Inhibición} = \left\{ \left[ 1 - \left( \frac{\text{diámetro de la colonia tratada}}{\text{diámetro de la colonia control}} \right) \right] \times 100 \right\}$$

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Efecto de los tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5) sobre el crecimiento *in vitro* de *R. Solani*

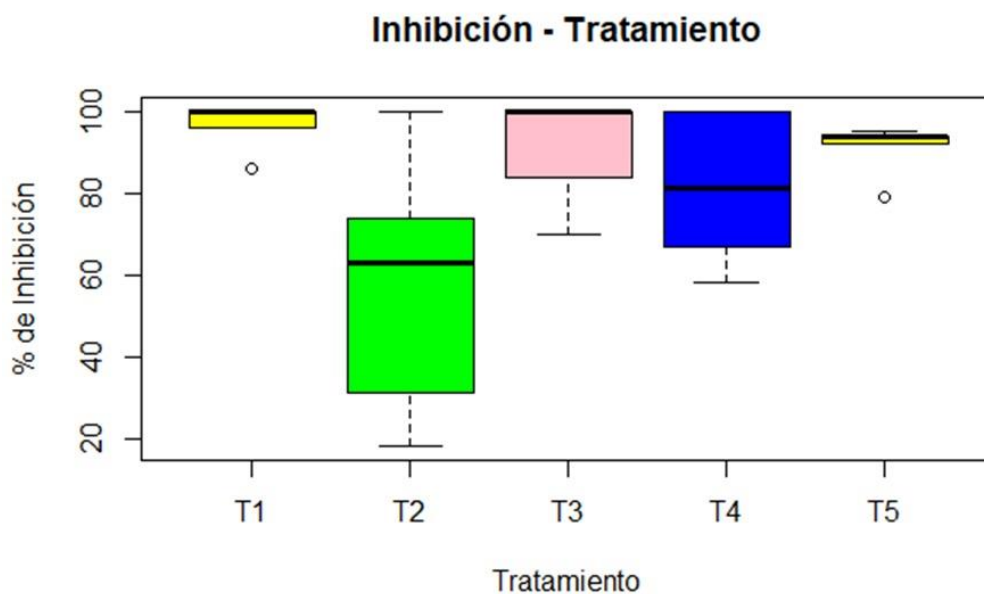
*Tabla 1* Porcentajes de inhibición de los tratamientos ante *R. Solani*.

TRATAMIENTOS	DÍAS				
	1	2	3	4	5
T1: AC 1% Q 2%	100	100	100	96	86
T2: Q 2%	100	74	63	31	18
T3: Q 2.5%	100	100	100	84	70
T4: AC 2%	100	100	81	67	58
T5: AEC 2%	79	92	95	94	94
Testigo	0	0	0	0	0

*Fuente:* Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla 1, el T1: ácido cítrico al 1% con quitosano al 2%, observamos que en el primer, segundo y tercer día tuvieron una eficiencia del 100%, que luego fue disminuyendo hasta llegar a un 96% y 86% durante el cuarto y quinto día. Para el T2: quitosano al 2%, hubo un mayor descenso de la eficiencia, iniciando con un 100%, y decayendo a un 18% el quinto día, reflejando un descenso marcado. Con el T3: quitosano al 2.5% se mantuvo la eficiencia durante los tres primeros días, existiendo un leve descenso durante los últimos dos días, llegando a un 70%. El T4: ácido cítrico al 2% tuvo una eficiencia del 100% durante los dos primeros días, hubo un descenso los tres días posteriores, llegando a un 58% en el quinto día. Para el T5: aceite esencial de canela al 2%, sucede el fenómeno de un crecimiento paulatino a partir del 79%, posteriormente manteniéndose en 95% y 94%, durante

los siguientes días, esto debido a que la canela tiene un efecto ralentizado pero permanente, es decir incrementa su efectividad al paso de los días, requiriendo mayor tiempo para su acción fungicida.



**Figura 1** Diagrama de cajas del porcentaje de inhibición micelial de los tratamientos T1: Quitosano al 2% y ácido cítrico al 1%; T2: Quitosano al 2%, T3: Quitosano al 2,5%, T4: Ácido cítrico al 2% y T5: Aceite esencial de canela al 2%.  
Fuente: Elaboración propia Soft. R Studio.

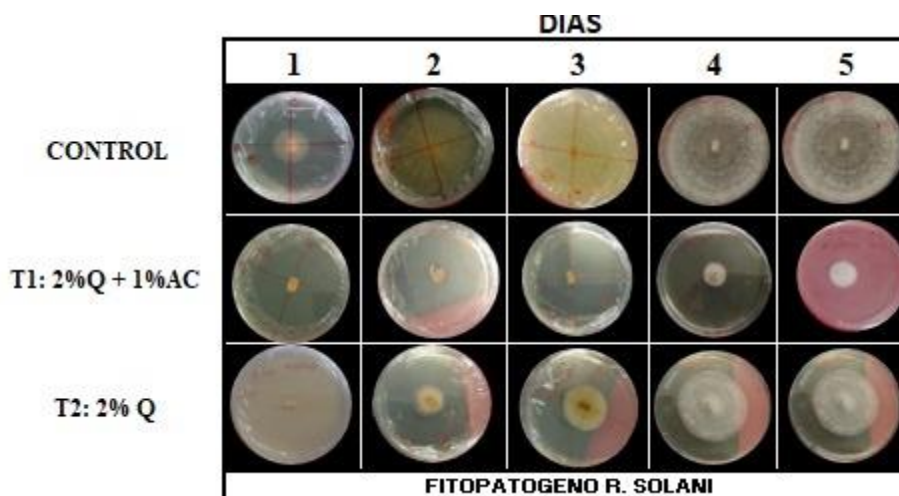
Los resultados del crecimiento micelial del fitopatógeno *R. Solani* se muestran en la Tabla 1 y Figura 02 Empleando T2: quitosano al 2% y T3: quitosano al 2.5%, se observa una disminución del crecimiento micelial con respecto al control de un 18% y 70% de inhibición para *R. Solani* respectivamente durante el quinto día. La inhibición del crecimiento micelial se puede atribuir en primera instancia al ablandamiento de la pared celular, como producto de la interacción de la membrana plasmática con el biopolímero de carácter catiónico, el cual ocasiona una variación en la permeabilidad generado por los grupos aminos libres, cargados de manera positiva en medio ácido, donde interaccionan con los residuos negativos provenientes de las macromoléculas expuestas en la pared celular del hongo, el cual afecta la entrada de nutrientes, y por lo tanto su desarrollo micelial (Romanazzi et al., 2017; Serrano et al., 2021).

**Tabla 2** Método estadístico ANOVA, utilizando el test de Fisher's

One-Way ANOVA (Fisher's)					
	Df	Sum	Sq Mean	Sq F value	Pr(>F)
Treatment	4	4849	1212.2	5.590	0.00519 **
Days	4	3407	851.7	3.927	0.02086 *
Residuals	16	3470	216.9		

**Fuente:** Elaboración propia Soft. R Studio.

Al utilizar el método estadístico ANOVA, se observa que el modelo DCA (diseño experimental aleatorizado) es significativo, ya que el valor-p es igual a 0.00519\*\* y 0.02086\*. Por ser menor al nivel de significancia (0.05), indican que el modelo utilizado es confiable, por lo cual los tratamientos tienen significancia y relación con el porcentaje de inhibición de los tratamientos.



**Figura 3** Crecimiento micelial de hongos tratados con quitosano, ácido cítrico y aceite esencial de canela incubado a 25°C durante 05 días. Control: cajas Petri sin tratamientos, Q: quitosano, AC: aceite esencial de canela

Los resultados del crecimiento micelial del *R. Solani* son presentados en la Figura 3. El porcentaje de inhibición del fitopatógeno mencionado con respecto al control, y los tratamientos T2: quitosano al 2% donde se obtuvo un mínimo de 18% de inhibición micelial para *R. Solani*, mientras que al usar el T1: ácido cítrico al 1% con quitosano al 2%, se llegó a un mínimo de 86% de inhibición micelial en la placa Petri. Debido a que este ácido orgánico posee una propiedad antimicrobiana, relacionada a mantener el equilibrio Acido-Base, intercambio catiónico y generación de energía por las células, donde el proceso de homeostasis de la célula microbiana, busca equilibrar los diferentes cambios en su medio y trata de mantener neutralidad, pero al tener elevados cambios de pH, produce una alteración y posteriormente la

destrucción de dichas células microbianas, a causa del cambio estructural que ocasiona el cambio de pH en las proteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos (Rodríguez, 2011).

Zhuang et al., (2020) elaboró películas de quitosano, glicerina y ácido cítrico realizando el secado a temperatura ambiente, y calentando al vacío (80 °C - 12 h). Se obtuvieron reacciones de amidación, enlaces iónicos sin esterificación, lo cual logró óptimos resultados en las propiedades de elasticidad y antibacteriana contra el *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, resultando así posible el material en elaboración de membranas y envasados de alimentos.

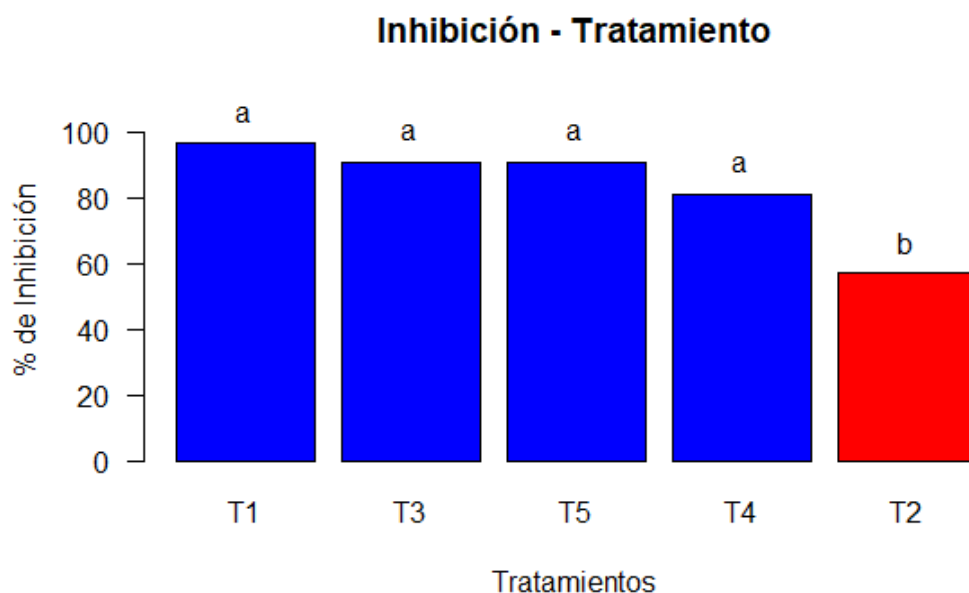
Ukuku et al., (2005) reporta que al emplear ácido cítrico al 0.5% como soluto con el peróxido de hidrógeno (1 %) en combinación con nisina (25 µg/ml) y lactato de sodio (1 %) obtuvieron como respuesta una reducción significativa de *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes* en melones enteros, es decir de colonias 5,27 y 4,07 log<sup>10</sup> CFU/cm<sup>2</sup> pasaron a disminuir un 3 a 4 log<sup>10</sup> CFU/cm<sup>2</sup> y del mismo modo en transferencia a dicho fruto recién cortada.

Quispe et al., (2021) demuestra que el cuarto tratamiento (0,75% quitosano + 3% ácido cítrico) presentó la menor actividad de la polifenoloxidasa (70,80 unidades de PPO/min x g de muestra) y ralentizó la oxidación del contenido de polifenoles totales (28 mg de ácido gálico/100 g en peso de pulpa fresca) durante la evaluación. La proyección de vida útil en la pulpa se obtuvo empleando la ecuación de Arrhenius y la variación de color, presentando el cuarto tratamiento el mayor tiempo (254 días), evidencia de un efecto sinérgico que contribuye a retrasar el pardeamiento enzimático en la pulpa de la chirimoya.

Espinoza et al., (2018) reportó que los resultados al evaluar la calidad de los frutos mexicanos de chayote cortados-empacados durante 15 días a 5°C a distintos tratamientos. Evidencia que recubrimientos comestibles de quitosano, proteína *Jatropha curcas* y ácido cítrico (1%) preservan un grado mayor en las características organolépticas de los frutos, enfocados en la apariencia y sabor del fruto.

Además, el ácido cítrico como el ácido acético tienen un pH de 3, lo cual altera el medio de las membranas celulares de las plantas y permiten que no se sequen, por lo que es recomendable usarlo en plantas jóvenes, al ser considerada como herbicida de origen natural (Norroña, 2018). En ese sentido se registraron % de inhibición que oscilaron de 100% a 58%, durante el primer y quinto día de aplicación para el T4: ácido cítrico al 2%.

Los tratamientos usados en la Figura 04 indican la porcentajes de las medias, lo cual los resultados son: Tratamiento (T3): quitosano al 2.5% y Tratamiento (T5): aceite esencial de canela al 2% obtuvieron un 90.8% de inhibición micelial, Tratamiento (T4): ácido cítrico al 2% que presentó un 81.2% de inhibición, Tratamiento (T1) quitosano 2% con ácido cítrico 1%, que fue la más resaltante y efectiva para evitar el crecimiento micelial, obteniendo un 96% de inhibición del fitopatógeno *Rhizoctonia Solani*. A comparación del Tratamiento (T2): Que solo obtuvo un 57.2% de inhibición frente al fitopatógeno. Por lo cual, se observó diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos.



**Figura 4** Efecto de los tratamientos en el crecimiento micelial de *R. Solani* incubado a 25 °C durante 5 días. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ). **Fuente:** Elaboración propia Soft. R Studio.

Gomez & López, (2009) señala que el aceite esencial de canela está constituido en un 65 al 75% de cinemaldehido y en un 5 al 10 % de eugenol. Donde ambos compuestos evitan la acción de las enzimas aminoácidos descarboxilasas e inhiben la elaboración de amilasas y proteasas, ocasionando la ruptura de la pared celular de la célula microbiana. Es por ello que en este estudio utilizando el diagrama de barras se evidenció que también el T5: aceite esencial de canela al 2%, es un tratamiento efectivo ante la *R. Solani*.

Como se observa en la Figura 4, las medias de los tratamientos usados durante 05 días indican que no existe una variación significativa en los porcentajes de inhibición micelial para los tratamientos T1: ácido cítrico al 1% con quitosano al 2%; T3: quitosano al 2.5%; T4: ácido cítrico al 2% y T5: aceite esencial de canela al 2%, de aceite esencial de canela. Sin embargo,

si existe una variación significativa los demás tratamientos y el T2: quitosano al 2%, debido a la diferencia de medias obtenidas en la presente investigación.

Utilizando una concentración de 20000 ppm (2.0%) de aceite esencial de canela sobre *R. Solani*, se obtuvo un 79% en el primer día, pero con el paso del tiempo, se observa que existe una relación directa con el aumento de la eficiencia, como se expresa en el quinto día llegando a tener un 94% de reducción del fitopatógeno *R. Solani* en la placa Petri. Lo cual difiere con Juárez, (2015), que reportó resultados hasta un 66.74% de inhibición micelial sobre *R. Solani*, para su mayor dosis en los tratamientos de 100, 200 y 400 ppm (0.01, 0.02 y 0.04%) de aceite esencial de canela. Esto señala que existe una diferencia significativa entre el porcentaje de inhibición micelial, el aceite esencial de canela empleado en la presente investigación se adquirió en el centro de productos naturistas “Kadharani”, a comparación de Juárez, (2015) que adquirió la corteza seca de *C. zeylanicum* en un mercado de Trujillo, donde extrajo el aceite esencial de canela por método de arrastre de vapor.

García et al., (2006), reportaron que el aceite esencial de canela tuvo una actividad fungicida in vitro contra *A. flavus* utilizando 100 ppm (0.01%) con una inhibición del 83%, y una inhibición del 100% a una concentración de 250 ppm (0.025%). Evidenciando la diferencia porcentual de inhibición micelial conforme a las características del fitopatógeno en estudio y procedencia del aceite esencial de canela empleado, adquirido en la Compañía Aceites y Esencias S.A. Estudio.

#### **4. Conclusiones**

En este estudio se demostró que los tratamientos T1, T3, T5 y T4 cumplen la función de un Biofungicida para inhibir el crecimiento de este fitopatógeno *Rhizoctonia Solani* que afecta cultivos de papa, los resultados muestran que: el tratamiento 1 es el más efectivo con un 96.4% inhibición en el tratamiento, es preciso indicar que el tratamiento T2, tiene una efectividad muy dispersa puesto que tiene mucha variabilidad en su rendimiento mientras que los otros son más homogéneos en su rendimiento.

#### **5. Recomendaciones**

- En el tratamiento de Quitosano y Ácido Cítrico utilizar dosis entre 2 y 2.45 % para hallar el punto fúngico.
- En el tratamiento de Quitosano y Ácido Cítrico utilizar dosis entre 2 y 2.45 % para hallar el punto fúngico.

- En el caso de Ácido Cítrico repetir el tratamiento al 2 % y aumentar la dosis entre 2 y 2.45 %.
- En el caso de tratamientos con Quitosano utilizar dosis del 2 al 3%.

## 6. Referencias

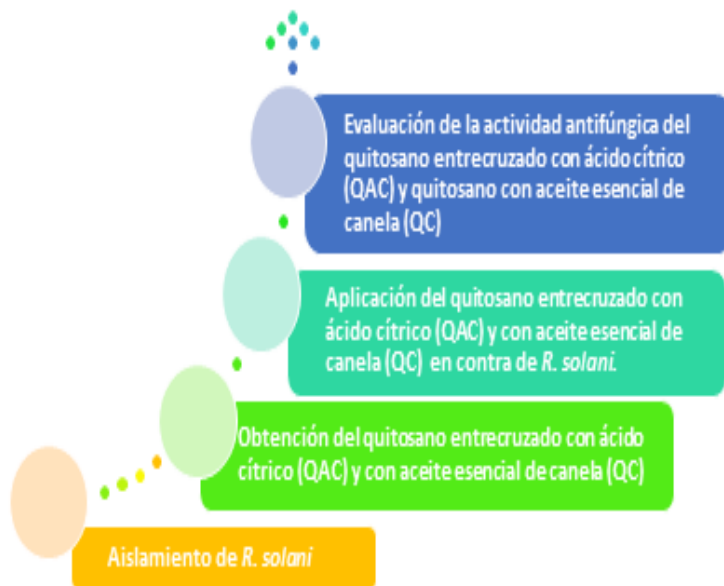
- Aguilar, R., Maldonado, A., Zapata, Y., More, M., Galecio, M. & Namó, P. (2017). Etiología de la enfermedad de pudrición de vaina y tallo en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) var. Nir. 1, fundo Mambré, valle del Chira, Piura-Perú Etiology. *Revista de Investigación Científica- Manglar*, 14(1), 31–38. <https://doi.org/10.17268/manglar.2017.005>
- Agustiyani, D., Agandi, R., Arinafril, Nugroho, A. A. & Antonius, S. (2021). The effect of application of compost and frass from Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) on growth of Pakchoi (*Brassica rapa* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 762(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/762/1/012036>
- Betancourth, C. A., Sañudo, B. A., Flórez, C. A. & Salazar, C. E. (2021). Management of the black scurf (*Rhizoctonia solani*) in potato by using green manure. *Informacion Tecnologica*, 32(2), 165–174. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200165>
- Caro-León, F. J., López-Martínez, L. M., Lizardi-Mendoza, J., Argüelles-Monal, W., Goycoolea-Valencia, F. M., Carvajal-Millán, E., López-Franco, Y. L. & para correspondencia, A. (2019). Preparation methods of chitosan nanoparticles: a review. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, XXI, 13–25.
- Chavarro-Mesa, E., Herrera-Blanco, N. A., Beltrán-Acosta, C. R., Cotes-Prado, A. M. & Ángel-Díaz, J. E. (2021). Diversidad genética de *Rhizoctonia solani* GA-3PT, causa etiológica del chancro del tallo y la sarna de la papa en Colombia. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e1888. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num3\\_art:1888](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:1888)
- Chávez-Magdaleno, M. E., Gutiérrez-Martínez, P., Montaña-Leyva, B. & González-Estrada, R. R. (2019). Evaluación in vitro del quitosano y aceites esenciales para el control de dos especies patógenas de *Colletotrichum* aisladas de aguacate (*Persea americana* Mill). *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22, 1–8. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.189>
- Cotrina Cabello, G. G., Esteban Nolberto, E. D., Huanhuayo Huachos, K. M., Palomino Chávez, M. & Melgar Ávila, L. Y. (2021, March). “Uso de Plaguicidas Químicos en el cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L), su relación con Medio Ambiente y la Salud.” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. [https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i2.366](https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i2.366)
- Delgado-Zegarra, J., Alvarez-Risco, A., Yáñez, J. A., de citar Delgado-Zegarra, F. J. & Uso, Y. J. (2018). Uso indiscriminado de pesticidas y ausencia de control sanitario para el mercado interno en Perú Comunicación breve. *Rev Panam Salud Publica*, 42. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.3>
- FAO. (2016). Estado mundial del Recurso Suelo : resumen técnico. *Organización de Las*



- García, J., Leyva, J. B., Martínez, I. E., Hernández, M. I., Aldana, M. L., Rojas, A. E., Betancourt, M., Perez, N. E. & Perera, J. H. (2018). Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(Special Issue 1), 29–60. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.esp01.03>
- Gómez, H., Soberanis, W., Tenorio, M. & Torres, E. (2013). *Manual de Producción y Uso de Hongos Antagonistas*. SENASA.
- Hassan, H. A., Genaidy, M. M., Kamel, M. S. & Abdelwahab, S. F. (2020). Synergistic antifungal activity of mixtures of clove, cumin and caraway essential oils and their major active components. *Journal of Herbal Medicine*, 24, 100399. <https://doi.org/10.1016/J.HERMED.2020.100399>
- Huerta, A., Acevedo, S., Luzardo, E., Valbuena, A. C. & Colina, M. (2018). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE QUITOSANO ENTRECruzADO CON ÁCIDO CÍTRICO Chitosan applications View project Modification of chitosan View project. *Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales*, 19(5), 227–235.
- Li, J., Gu, F., Wu, R., Yang, J. K. & Zhang, K. Q. (2017). Phylogenomic evolutionary surveys of subtilase superfamily genes in fungi. *Scientific Reports*, 7(February), 1–15. <https://doi.org/10.1038/srep45456>
- Martínez, F. E., Bustamante, G., Aispuro, E., Hernández, L. G., Holguín, R. J. & Rueda, E. O. (2019). Antisuero vs hongos fitopatógenos en el cultivo de tomate en Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 873–884. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1706>
- Martínez Macías, K. J., Segura Castruita, M. Á., Orozco Vidal, J. A., Hernández Ordaz, G. & Frías Ramírez, J. E. (2020). Capacidad quelatante del quitosano sobre el arsénico soluble en dos fluvisoles de una zona árida de México. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 277–283. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.472>
- Mesa, V. A. , Marín, P., Ocampo, O., Calle, J. & Monsalve, Z. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45, 23–30.
- Morillo-Coronado, A. C., Hernández, E. H. M. & Forero-Mancipe, L. (2021). Phenotypic diversity of morphological characteristics of pitahaya (*Selenicereus megalanthus* haw.) germplasm in Colombia. *Plants*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/plants10112255>
- Muñoz-Villa, A., Sáenz-Galindo, A., López-López, L., Cantú-Sifuentes, L. & Barajas-Bermúdez, L. (2014). Ácido Cítrico: Compuesto Interesante. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 6(12).
- Patiño, M., Nieto Ramirez, I. J., Chegwin Angarita, C. & Torres Rojas, E. (2019). ACTIVIDAD BIOCONTROLADORA IN VITRO DE MACROHONGOS CONTRA DIFERENTES HONGOS FITOPATÓGENOS In vitro biocontrol activity of macrofungi against different plant pathogenic fungi. *Acta Biológica Colombia*, 25(2), 265–279. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n2.75303>

- Paz Martínez, I., Gonzales Gómez, L. G. & Martínez Arévalo, B. (2017). Respuesta agronómica del cultivo del tomate (*solanum lycopersicum*, l) var. ha 3019 (esen) a la aplicación de quitomax. *Revista Granmense de Desarrollo Local*, 1(3).
- Pelosi, C., Barriuso, E., Bedos, C., Benoit, P., Mamy, L. & Mougin, C. (2017). Fate and impact of pesticides: new directions to explore. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(8), 6841–6843. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8383-0>
- Peng, Y., Li, S. J., Yan, J., Tang, Y., Cheng, J. P., Gao, A. J., Yao, X., Ruan, J. J. & Xu, B. L. (2021). Research Progress on Phytopathogenic Fungi and Their Role as Biocontrol Agents. *Frontiers in Microbiology*, 0, 1209. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2021.670135>
- Ramírez Campos, M. A. (2018). El uso de pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. *Rev. Enferm. Vanguard*, 6(2), 40–47.
- SEF. (2020). CONTROL DE ENFERMEDADES DE PLANTAS. In *FITOPATOLOGÍA* (Vol. 5).
- Torres Rojo, J. M. (2021). Factores ambientales y físicos que afectan la supervivencia de siete especies forestales en el Estado de México Environmental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(64), 66–91.
- Trujillo Negrellos, E. (2010). Biocontrol de hongos fitopatógenos en cítricos. *CienciaUAT*, 4, 20–23.

## 7. Anexos



**Figura 2** Flujograma del proceso de metodología. **Fuente:** Elaboración propia.