

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**FACULTAD DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR**  
**ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA**

**Evaluación de bioprotectores solares como agentes del manejo  
de la quema de sol en frutos de Aguacate (*Persea americana* Mill.) en el  
Pacífico Central de Costa Rica**

**Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de  
Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en  
Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura Alternativa**

**JAVIER FRANCISCO HERNÁNDEZ MURILLO**

**Heredia, Costa Rica**

**Febrero, 2023**

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.

### **MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR**

---

Dr. Manfred Murrell Blanco  
Representante del Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

---

Ing. Andrés Alpízar M. Sc.  
Director de la Escuela de Ciencias Agrarias

---

Ing. Alejandro Vargas Martínez M. Sc  
Tutor de tesis

---

Ing. Allan González Herrera M. Sc  
Lector

---

Dr. Oscar Rojas Carrillo  
Lector

---

Bach. Javier Francisco Hernández Murillo  
Postulante

## RESUMEN

Uno de los problemas que enfrenta la actividad de aguacate de bajura, la cual se da en la zona del pacífico, son las altas temperaturas y radiación ultravioleta, las cuales inducen alteraciones en las características morfológicas del aguacate en edad temprana y hace que se pierda la fruta. En el presente estudio se propuso el uso de bioprotectores como alternativas para mitigar esta problemática para ello se evaluaron tres formulaciones a base de quitosano, aceite de coco y caolín, y sus respectivas combinaciones en comparación con el producto comercial utilizado por el productor. Además, se analizó el efecto de las emulsiones sobre la población de trips en dos variedades de aguacate "Simmons" y "Gato". El estudio se realizó en una finca con cultivo de aguacate ubicada en Orotina, Alajuela y se estableció un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones para cada tratamiento, para un total de 16 unidades experimentales. Los factores evaluados fueron el grado de quema de sol y el daño provocado por trips en el fruto, además el conteo de trips en trampas pegajosas colocadas en la plantación para correlacionar el uso de emulsiones vegetales. No hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre las medias de los tratamientos para todas las variables evaluadas. Se determinó que en ambas variedades estudiadas el Tratamiento uno (la combinación de las tres formulaciones) y el dos (quitosano y caolín) presentaron menos afectación de quema solar de manera porcentual. Entre los trips plagas asociados al cultivo, solo se identificó la especie *Franklinella gardenie*, los cuales en general se lograron capturar en mayor cantidad en las trampas pegajosas azules en comparación a las amarillas. En cuanto a la severidad e incidencia por deformación del aguacate por trips, en ambas variedades hubo menor afectación cuando se aplicó Tratamiento dos pero en general todos los tratamientos tuvieron un efecto similar.

## ABSTRACT

One of the problems faced by the inshore avocado activity, which occurs in the Pacific area, the high temperatures and ultraviolet radiation, which induce alterations in the morphological characteristics of the avocado at an early age and causes the fruit to be lost. In the present study, the use of bioprotectors as alternatives to mitigate this problem, three formulations were evaluated based on chitosan, coconut oil and kaolin, and their respective combinations were evaluated in comparison with the commercial product used by the producer. In addition, the effect of emulsions on the thrips population in two varieties of avocado 'Simmons' and 'Gato' was analyzed. The study was conducted on a farm with avocado cultivation located in Orotina, Alajuela and a completely randomized design was established with four repetitions for each treatment, for a total of 16 experimental units. The factors evaluated were the degree of sunburn and the damage caused by thrips in the fruit, in addition to the count of thrips in sticky traps placed in the plantation to correlate the use of vegetable emulsions. There were no significant differences between the means of treatments for all variables assessed. It was determined that in both varieties studied, Treatment One (the combination of the three formulations) and Treatment Two (Chitosan and Kaolin) presented less involvement of solar burning in a percentage way. Among the pest thrips associated with the crop, only the species *Franklinella gardenie* was identified, which in general were captured in greater quantities in the blue sticky traps compared to the yellow ones. Regarding the severity and incidence due to deformation of avocado by thrips, in both varieties there was less affectation when Treatment Two was applied but in general all treatments had a similar effect.

## **DEDICATORIA**

A Dios padre que me dio salud, me permitió cumplir mis metas y me cuidó en todo el trayecto de mi formación profesional. A mis padres Fanny Murillo Chávez y Francisco Javier Hernández Eduarte que gracias a ellos he logrado todo y he llegado donde estoy hoy día por los valores y principios que me han brindado desde mi niñez. Además, a mis hermanas por todo el apoyo en lo largo de mi carrera y superación profesional. A mi pareja Geisel Isabel Cabrera Lazo por darme aliento de superación en mi vida personal y profesional, también por el apoyo en mi proceso de finalización de mi licenciatura.

## AGRADECICMIENTOS

A mi tutor M.Sc Alejandro Vargas Martínez por su dirección, enseñanza y paciencia durante mi formación académica.

Al Sr. Freddy Castro por poner a disposición la finca y por su anuente atención en cada una de las prácticas impartidas en la plantación.

Al Dr. Oscar Rojas Carrillo por su apoyo y enseñanza incondicional en el área del Laboratorio POLIUNA de la Universidad Nacional

Al M.Sc Allan González Herrera por su apoyo en el proceso de formación, en sus consejos y apoyo incondicional en el proceso de graduación y al Laboratorio de Entomología Agrícola de la Escuela de Agrarias de la Universidad Nacional.

A mi pareja y mejor amiga Geisel Cabrera Lazo que me impulsaba terminar este proceso de la mejor manera y me apoyo en todo momento para concluir con mis estudios profesionales.

A Juan Campos un verdadero amigo que me brindo su ayuda y apoyo cuando más lo necesite desde los cursos de Licenciatura hasta la elaboración de la práctica de Tesis.

A todas las personas que estuvieron involucradas en mi proceso de formación profesional y me desearon la mejor de la suerte.

A FOCAES que me brindo la ayuda económica para finalizar mi trabajo de graduación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	16
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	16
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	16
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	17
2.1 ORIGEN.....	17
2.2 CULTIVO DEL AGUACATE.....	17
2.3 DESARROLLO DEL FRUTO.....	18
2.4 DAÑOS POR QUEMA DE SOL.....	19
2.4.1 <i>Uso de bloqueadores solares aplicados en la agricultura</i> .....	20
2.5 <i>Uso de productos vegetales o naturales para el manejo de trips</i> .....	22
2.6 EL QUITOSANO Y SU USO EN LA AGRICULTURA. ....	23
2.6.1 <i>Emulsiones a base de quitosano</i> .....	24
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	26
3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO .....	26
3.1.1 <i>Descripción de la finca</i> .....	26
3.1.2 <i>Fase de campo</i> .....	26
3.2 DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA DE BIOPROTECTORES.....	27
3.2.1 <i>Formulación y tratamiento de los bioprotectores a base de quitosano</i> .....	27
3.2.2 <i>Dosificación y frecuencia de aplicación de tratamientos</i> .....	28
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	29
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	30
3.6 VARIABLES A EVALUAR SOBRE LA POBLACIÓN Y AFECTACIÓN DE TRIPS EN FRUTOS .....	30

3.6.1	<i>Evaluación del efecto de los tratamientos sobre la población de trips y daños en frutos..</i>	31
3.6.2	<i>Análisis estadístico.....</i>	31
4.	<b>RESULTADOS .....</b>	32
4.1	FORMULACIONES Y TRATAMIENTO DE LOS BIOPROTECTORES A BASE DE QUITOSANO, ACEITE DE COCO Y CAOLÍN.....	32
4.2	ESTADO DE LA PLANTACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE LAS APLICACIONES .....	34
4.3	EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LA QUEMA SOLAR EN LOS AGUACATES DE LA VARIEDAD SIMMONS.....	38
5.	<b>DISCUSIÓN .....</b>	55
5.1	FORMULACIÓN Y TRATAMIENTOS DE LOS BIOPROTECTORES A BASE DE QUITOSANO.....	55
5.2	QUEMA SOLAR EN LA PARCELA DE AGUACATE EN LA ZONA DE OROTINA Y EL USO DE PROTECTORES SOLARES NATURALES PARA MINIMIZAR EL IMPACTO SOLAR EN CULTIVOS AGRÍCOLAS .....	57
5.3	EFFECTO BIOPROTECTOR A BASE DE ACEITES NATURALES Y QUITOSANO SOBRE LA INCIDENCIA DE TRIPS Y POSIBLES LESIONES SOBRE FRUTOS DE AGUACATE EN EDAD TEMPRANA .....	60
6.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	62
7.	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	63
8.	<b>REFERENCIAS.....</b>	64
9.	<b>ANEXOS.....</b>	73



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características cultivo del aguacate de la variedad Antillana. ....	18
<b>Tabla 2.</b> Productos utilizados en la agricultura para manejar la quema solar. ....	21
<b>Tabla 3.</b> Tratamientos y dosis utilizadas en las aplicaciones en la plantación de aguacate. ....	27
<b>Tabla 4.</b> Porcentaje de afectación en la cáscara de la fruta del aguacate .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fecha de floración de las variedades de aguacate en el año. ....	19
<b>Figura 2.</b> Estructura molecular del quitosano. ....	23
<b>Figura 3.</b> Vista aérea de la finca de Freddy Castro. ....	26
<b>Figura 4.</b> Diseño de distribución de los tratamientos aplicados con un árbol barrera. ....	28
<b>Figura 5.</b> Aleatorización de los tratamientos a las unidades experimentales. ....	29
<b>Figura 6.</b> Dispersiones de caolín en la sección A y con aceite de coco en la sección B con quitosano al 0.5% m en ácido acético al 0.5% m a pH 4. ....	32
<b>Figura 7.</b> Dispersiones de caolín en la sección A, con aceite de coco en la sección B y en la sección C la dispersión de los dos componentes. ....	33
<b>Figura 8.</b> Crecimiento de la plantación desde el estado de floración hasta cosecha del Aguacate. ....	34
<b>Figura 9.</b> Aplicación de los tratamientos en conjunto con la aplicación comercial. ....	34
<b>Figura 10.</b> Tratamiento uno, color blanco aplicado a base de quitosano 0.25% m, aceite de coco al 1% m y caolín al 2% m. ....	35
<b>Figura 11.</b> Tratamiento dos, color rojo elaborado de quitosano 0.5% m con caolín 2% m. ....	36
<b>Figura 12.</b> Tratamiento tres, color negro aplicado a base de quitosano 0.5% m y aceite de coco al 1% m. ....	36
<b>Figura 13.</b> Tratamiento cuatro, color rosado aplicado solamente con Surround WP (B- recién aplicado el producto y C- producto seco sobre el fruto). ....	37
<b>Figura 14.</b> Escala de severidad de la afectación de quema solar en fruto de Aguacate. ....	38
<b>Figura 15.</b> Distribución de frecuencias para la variable incidencia de quema de sol por categorías para cada tratamiento en la variedad Simmons. ....	39

**Figura 16.** Histograma para la variable severidad por afectaciones de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Simmons. ....40

**Figura 17.** Gráfico de cajas para la variable severidad por afectaciones de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Simmons. ....41

**Figura 18.** Distribución de frecuencias para la variable incidencia de quema de sol por categorías para cada tratamiento en la variedad Gato. ....42

**Figura 19.** Histograma para la variable severidad por afectaciones de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Gato .....43

**Figura 20.** Gráfico de cajas para la variable severidad por afectaciones de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Gato. ....44

**Figura 21.** Colocación de trampas pegajosas y recolección de las mismas. ....45

**Figura 22.** Datalogger marca Onset modelo UX100-003. ....45

**Figura 23.** Trampa pegajosa azules y principales trips asociados al cultivo de aguacate. ....46

**Figura 24.** Toma de muestras de las trampas pegajosas conteo e identificación de los trips asociados al aguacate en la finca de Orotina. ....46

**Figura 25.** Conteo general de trips general por semana en total de las trampas pegajosas amarillas y azules. ....47

**Figura 26.** Conteo de trips de trampa azul y amarilla/mes. ....48

**Figura 27.** Relación de la temperatura y humedad con la población de trips. ....49

**Figura 28.** Escala de severidad de la afectación de trips en el aguacate. ....50

**Figura 29.** Distribución de frecuencias para la variable incidencia de trips por categorías para cada tratamiento en la variedad Simmons. ....50

**Figura 30.** Histograma para la variable severidad por afectaciones de trips para cada tratamiento para la variedad Simmons. ....51

<b>Figura 31.</b> Gráfico de cajas para la variable severidad por afectaciones de trips para cada tratamiento para la variedad Simmons. ....	52
<b>Figura 35.</b> Interacción de solución y dispersión a pH 4. ....	55
<b>Figura 36.</b> Comportamiento del quitosano en la disolución y dispersión a pH 5. ....	56
<b>Figura 37.</b> Propuesta esquemática de la emulsión a base de quitosano, aceite de coco y caolín. ....	57

## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Distribución de frecuencias para el grado del estado de la quema solar de los aguacates según su tratamiento para la variedad Simmons. ....	73
<b>Anexo 2.</b> Medidas de resumen para la severidad de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Simmons. ....	73
<b>Anexo 3.</b> Análisis de varianza para la severidad de la quema de sol para la variedad Simmons. ....	74
<b>Anexo 4.</b> Distribución de frecuencias para la incidencia de quema de sol según escala para cada tratamiento en la variedad Gato .....	74
<b>Anexo 5.</b> Medidas de resumen para la severidad de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Gato .....	75
<b>Anexo 6.</b> Análisis de varianza para la severidad de la quema de sol para la variedad Gato. ....	75
<b>Anexo 7.</b> Distribución de frecuencias para la incidencia de trips según escala de afectación para cada tratamiento en la variedad Simmons. ....	76
<b>Anexo 8.</b> Medidas de resumen para la severidad de trips para cada tratamiento para la variedad Simmons.....	76
<b>Anexo 9.</b> Análisis de varianza para la severidad de afectación de trips para la variedad Simmons...76	
<b>Anexo 10.</b> Distribución de frecuencias para la incidencia de trips según escala de afectación para cada tratamiento en la variedad Gato .....	77
<b>Anexo 11.</b> Medidas de resumen para la severidad de trips para cada tratamiento para la variedad Gato .....	77
<b>Anexo 12.</b> Análisis de varianza para la severidad de afectación de trips para la variedad Simmons.78	

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) es originario de América Tropical (Garbanzo, 2011). Durante los últimos años la producción de aguacate ha aumentado significativamente a nivel mundial, alcanzando en el 2018 unos 6,3 millones de toneladas, el cual se debe al incremento de las áreas productivas de los principales países productores de esta fruta en América Latina y América Central. Cabe mencionar que en esta región se concentran más de la mitad de la producción mundial, destacando los principales consumidores de aguacate los cuales son México y Estados Unidos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2020).

Costa Rica no cuenta con datos actualizados sobre la producción del cultivo de aguacate, sin embargo, existen alrededor de 800 productores dedicados a esta práctica agrícola que cuentan con aproximadamente 1800 hectáreas. Actualmente, el consumo de aguacate nacional ronda las 12 mil toneladas por año, alcanzando su producción más alta durante los años 2012 al 2014. El aguacate costarricense permite abastecer el 40% del mercado local, mientras que el otro porcentaje es dirigido al mercado internacional (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2019).

De acuerdo con los datos publicados por el Consejo Nacional de Producción (CNP) basándose en datos del Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA) publicados por la Nación (2015), sugieren que el producto es más abundante en el mes de marzo y agosto por la cosecha de distintas variedades de aguacate (Barquero, 2015). La producción nacional geográficamente se encuentra distribuida en dos zonas, en la zona de altura encontrándose León Cortés, Tarrazu, Dota y la zona de bajura en el Pacífico Central desde San Mateo, Orotina hasta Esparza (García, s.f).

En el caso del aguacate de bajura, la raza Antillana es la que más se adecua a esta región, ya que se desarrolla adecuadamente en zonas con altitudes entre 0-1500 m s.n.m, además de temperaturas de 22 a 26 °C (Rodríguez, 2003). Mora y Acuña (2015) indican que las principales variedades de la raza Antillana son Simmons, Catalina, Booth 8, Booth 7, Masutomi y Kahalú. Sin embargo, se les ha atribuido a los efectos del cambio climático (temperatura, radiación, precipitación) la alteración física y las características morfológicas del aguacate como el tamaño, forma y rugosidad (Álvarez, Salazar, Corral y Medina, 2017).

Delgado y Girot (2018) indican que el cambio climático es un reto del siglo XXI, en el caso de la agricultura representa un riesgo de pérdida económica, provocado por las eventualidades climáticas, principalmente por los cambios significativos de temperatura. Como se estableció

anteriormente, la raza Antillana se desarrolla adecuadamente a temperaturas específicas, por consiguiente, la pérdida de aguacate a edad temprana provocada por la quema de la radiación solar es una repercusión de este mismo fenómeno, viéndose reflejado en una insolación de la fruta. Esto provoca una modificación morfológica en la cáscara, problemática que los productores nacionales enfrentan actualmente, y que les genera pérdidas de la calidad de fruto. Como estrategia para contrarrestar los efectos adversos de la radiación solar, algunos productores optan por aplicar insumos a base de cobre y azufre los cuales tienen la desventaja de ser tóxicos y poco amigables con el ambiente (Díaz, 2012).

Las razones para justificar el estrés provocado por la radiación solar se deben a un factor abiótico, comúnmente ocasionado por una alta intensidad de esta. De acuerdo con, Castro (2018) otros cultivos como el de piña (*Ananas comosus* L.), son afectados durante los meses de marzo y abril debido a la intensidad de las condiciones de verano en el país. Además, el mismo estudio reporta que para contrarrestar dicho efecto se han evaluado diferentes bioprotectores como formulaciones a base de aceite vegetal. Estos productos han logrado un efecto positivo sobre la fruta del primer y segundo ciclo, así como, un aumento en el número de hojas ayudando a la planta a tener un peso óptimo para mayor desarrollo del fruto en tamaño y forma.

Esta misma problemática se ha observado en cultivos cítricos como el mandarina (*Citrus reticulata* B.). Según Chabbal y colaboradores (2014), en España, el daño causado por la alta radiación en este fruto lo resuelven mediante la aplicación de partículas de caolín en diferentes momentos y concentraciones. Estos autores, midieron y clasificaron los parámetros según fue la afectación en el fruto, estos se pueden agrupar en fruto sano, fruto con un 15% de afectación en la cascara y por último con una afectación en la cascara de más de un 16% con tejido necrótico. Los resultados obtenidos mostraron un 97% de frutos libres de daño al aplicar este tratamiento.

De manera similar Ramírez (2007), ha reportado para el cultivo de piña en Costa Rica, la evaluación de siete tratamientos para contrarrestar la quema de sol. El estudio menciona el uso de productos no dañinos para la salud, como Surround® WP a base de caolín y Ecofrut® DC de características biodegradables a base de glicerol oxidados y ácidos grasos de aceite de palma. El estudio menciona que el uso de la barrera física en este caso de sarán resultó una estrategia positiva ante la problemática, sin embargo; este representa un alto costo en la producción para evitar la quema de fruta.

Según Chávez y Gutiérrez (2017), el uso de caolín es una práctica agronómica efectiva para el cubrimiento de frutos en épocas donde la radiación solar es muy fuerte, esto permite evitar la quema de sol. De manera que se puede identificar que el uso de alternativas a los insumos químicos para controlar la quema de sol en fruta, pueden resultar favorables para la producción. En particular, el uso de bioprotectores como se ha podido evidenciar anteriormente, puede aportar al cultivo múltiples beneficios, en miras de mitigar la problemática de pérdida de fruta a edad temprana por quema solar en aguacate en la zona del Pacífico Central y Norte. Por tanto, esta investigación pretende contribuir con información relacionada con la evaluación de un bioprotector basado en la combinación de productos naturales amigables con el ambiente como el caolín, el aceite de coco y quitosano sobre el cultivo de aguacate en la zona de Orotina, Costa Rica.



## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar la eficacia de bioprotectores a base de aceites naturales y quitosano aplicándolos sobre frutos de edad temprana y su incidencia sobre trips asociados al aguacate como alternativa a los productos actualmente utilizados para el manejo provocado por la quema de sol.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- A. Determinar el efecto protector de los bioprotectores a base de quitosano y aceite de coco sobre frutos de aguacate de edad temprana.
- B. Relacionar el efecto bioprotector a base de aceites naturales y quitosano sobre la incidencia de trips y posibles lesiones sobre frutos de aguacate.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Origen

El aguacate es un cultivo de un ciclo productivo largo por lo que se le considera una especie perenne, es originario de las regiones tropicales y subtropicales de Centroamérica y México. Perteneció a la familia Lauraceae, tiene más de 100 cultivares clasificados en diferentes razas las cuales son: Guatemalteca (*P. americana* var. *Guatemalensis*), Antillana (*P. americana* var. *Americana*), Mexicana (*P. americana* var. *Drymifolia*) y Costarricense (*P. americana* var. *Costarricensis*) (Pérez, Ávila y Coto, 2015).

### 2.2 Cultivo del aguacate

En el continente americano se concentra el 60% de la producción mundial de aguacate, México encabeza como líder con una producción de más de un millón de toneladas, seguido por Chile y República Dominicana (Pérez *et al.*, 2015). En Costa Rica, existen 1800 hectáreas con alrededor de 800 productores de aguacate a nivel nacional. Esta producción se concentra en dos zonas del país, zona de altura involucrando el sector de la Zona de los Santos y parte de Frailes de Desamparados con variedades Hass y la zona de bajura involucrando principalmente el Pacífico Central con variedades de la raza Antillanas. En estas regiones mencionadas las producciones rondan entre 5 y 8 toneladas por hectáreas por año, respectivamente (MAG y IICA 2019). La raza Antillana se establece en terrenos con altitudes de 0 a 1500 m s. n. m, se desarrolla adecuadamente a temperaturas de 18 a 26 °C, por lo que puede sufrir daños a temperaturas mayores a este rango (Baíza, 2003).

De acuerdo con Cerdas, 2006 (como se citó en Herrera, González y Núñez, 2019) indican que en Costa Rica no se encontraban plantaciones a fines del cultivo de aguacate; sin embargo, en zonas como Esparza, Orotina, Puriscal, Parrita, entre otros sitios se podían ubicar pequeñas plantaciones de la raza Antillana, esta raza se caracteriza por ser una fruta dulce, fibrosa y muy sensible a los golpes y a las condiciones climáticas como señala Arias (citado por Herrera *et al.*, 2019).

El comportamiento de mercado del aguacate a pesar del cierre de fronteras según estudios brindados por el Consejo Nacional de Producción, en opinión SICA (2015), indican que la oferta en el mercado es abundante, no solamente del aguacate de la variedad “Hass” si no de otras variedades tanto criollas como de la Raza Antillana.

## 2.3 Desarrollo del fruto

El cultivo de aguacate tiene un característico comportamiento fenológico en donde todas las fases desde la floración hasta la madurez del fruto pueden ser corta o larga, Téliz *et al*, 2000 (citados por Baíza, 2003), indican que esto se debe a las condiciones climáticas lo cual puede provocar una aceleración o retardo del proceso de flor a fruto lo que provoca una disponibilidad más rápida o lenta de aguacate. Se considera una especie polimorfa por lo que el tamaño de la flor, hojas, tamaño del fruto son muy variables según sea el país y la zona en donde se produce el aguacate. En la tabla 1 se pueden apreciar algunas características específicas del aguacate de la variedad Antillana (Avílan *et al*, 2009).

**Tabla 1.** Características cultivo del aguacate de la variedad Antillana.

<b>Raza Antillana</b>	
<b>Característica</b>	<b>Clima</b>
<b>Altura</b>	Menos de 1500 m.s.n.m
<b>Resistencia al frío</b>	Baja
	<b>Hojas</b>
<b>Tamaño</b>	Grande (20 cm)
<b>Color</b>	Verde pálido
	<b>Floración</b>
<b>Época de floración</b>	Febrero-Marzo
	<b>Fruto</b>
<b>Tiempo de flor a fruto</b>	5 a 9 meses
<b>Cáscara</b>	Grosor mediano (1-15 mm), flexible y suave
<b>Péndulo</b>	Forma de cabeza de clavo, grosor variable
<b>Tamaño relativo del árbol</b>	Alto-mediano
<b>Hábito de crecimiento</b>	Abierto y Erecto

**Fuente:** Adaptado de Téliz *et al* (2000), Calabrese (19992), Godínez *et al* (2000) y Rivera (1986), tomados de Baíza (2003).

Una vez producida la flor, es polinizada iniciando el proceso de formación del fruto por medio del cuaje involucrando un conjunto de procesos hasta que el pedúnculo del fruto se vaya engrosando.

Cowan *et al*, 1997 (citados por Romero, 2012) menciona que una vez polinizada la flor en aproximadamente nueve días después se logra ver evidencia del desarrollo del fruto. La figura 1 muestra las distintas épocas de floración según sea la variedad.

Variedad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Hass	Floración Normal						Floración Loca					
Booth 8	Floración Normal						Fructificación Normal					
Béneke		Fructificación Normal							Floración Normal			
Ereguayquín 1		Fructificación Normal								Floración Normal		
Ereguayquín 3		Fructificación Normal								Floración Normal		
Sitio del Niño 3	Fructificación Normal								Floración Normal			
Cordero 2	Floración Normal							Fructificación Normal				

Nota: La floración es sujeta a variaciones según las condiciones climáticas donde se encuentra la plantación.

**Figura 1.** Fecha de floración de las variedades de aguacate en el año.

Fuente: Rivera y González (citado por Baíza, 2003).

En general el proceso de la formación del fruto final de aguacate se genera en tres partes, la primera involucra la polinización del ovario y cuajado del fruto, después se procede a división celular a nivel molecular generando la semilla y el desarrollo embrionario, esta es una de las partes más importantes del proceso ya que la semilla es la principal fuente de agua y solutos para generar un adecuado desarrollo y crecimiento del fruto. Por último, se brinda la elongación celular y la maduración embrionaria (Kalala *et al.*, 2005 y Scora *et al.*, 2002, citados por Romero, 2012).

El aguacate como la mayoría de los frutales en las distintas etapas del desarrollo del fruto es afectado por insectos, enfermedades fitopatógenas y por factores externos como cambio climático, este último al ser la planta propensa a altas temperaturas puede provocar alteraciones directas al cambio fisiológico de las plantas tanto en reducción de tasa de transpiración, inestabilidad de membrana provocando la quema en la cáscara de la fruta (Chávez y Gutiérrez, 2017).

## 2.4 Daños por quema de sol

La alta radiación y las altas temperaturas afectan directa o indirectamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos, además suelen ir acompañados de otros factores que ayudan a la quema de sol, tanto en frutos como de las hojas, por lo que en climas tropicales como es el caso de Costa Rica los productores de aguacate tienen esta problemática (Chávez y Gutiérrez, 2017). Los cambios bruscos de temperatura, influenciada por la radiación pueden provocar cambios, por ejemplo,

modificar procesos o características deseables de organismos en particular las frutas y los vegetales. El aguacate al ser una especie dicotiledónea posee hojas anchas y frutos grandes, por lo que estos tienden a absorber mayor radiación solar por lo que pueden llevar a sufrir cambios morfológicos observables en la estructura externa de la cutícula del fruto (Carrasco, 2009).

El cultivo de aguacate es afectado por este fenómeno especialmente cuando el cultivo ha tenido una excesiva floración, lo cual fisiológica y anatómicamente provoca un esfuerzo para realizar el cuaje de la flor, lo que puede provocar un debilitamiento del árbol para formación del fruto. Bajo estas mismas condiciones, si la zona tiene una alta incidencia a temperaturas elevadas y el fruto está expuesto sin algún recubrimiento natural como hojas del mismo árbol, probablemente el fruto sufra quemaduras en la cáscara provocando frutos con baja calidad destinados al mercado (Bosch y Vicent, 2019).

De acuerdo con Bosch y Vicent (2019), una de las principales razones por la cual se genera la quema de sol está relacionada con el aumento de la actividad respiratoria, provocando una acción oxidativa de este, inducido por el estrés calórico por lo que provocando una afectación física en la cáscara de las frutas. Existen alternativas al uso de sustancias químicas, como lo es el uso de productos naturales cuyas propiedades ayudan a la reducción de esta quema solar en los frutos, al aplicarlos genera un recubrimiento de la fruta a nivel epidérmico refractando la mayor cantidad posible de radiación solar, no obstante, no afecta el sistema fotosintético de la fruta (Carrasco, 2009).

#### **2.4.1 Uso de bloqueadores solares aplicados en la agricultura**

En zonas tropicales las temperaturas son muy variantes, además con el cambio climático provocan variaciones en los parámetros de temperatura y radiación de los rayos UV. Singh et al., 2015 (citados por García, Carrillo y Bravo, 2016) indican que estas variaciones del ambiente generan estrés de la planta y la fruta, por lo que, aumenta las tasas reactivas de oxígeno provocando una fotooxidación lo que afecta la calidad de los frutos en apariencia y sabor. Debido a estas mismas condiciones los cultivos pueden utilizar barreras físicas o bien distintos productos que ayudan a la integridad del fruto como aplicación de partículas de caolín, aceites vegetales, ceras, silicio, entre otros. Para el caso de las barreras se puede utilizar sarán, papel periódico y bolsas plásticas; sin embargo, esto representa un costo económico mayor. Por tanto, estas alternativas se pueden utilizar para proteger la fruta y mantener la calidad (Ramírez, 2007).

Los productos naturales como protectores solares tienen como función evitar el daño ejercido en las frutas comerciales, estos mismos son muy diversos y la mayoría efectivos. Estos protectores en

su mayoría son aplicados de manera directa, para formar una película que recubra la planta y/o la fruta. Dependiendo del tipo de producto que se utilice tienen la capacidad de absorber parte de la radiación UV y refractar una pequeña parte. Es recomendable aplicarlos previo a la ola de verano y aplicarse constantemente durante la producción, debido a que condiciones adversas como lluvias pueden llegar a lavar el producto que se esté utilizando (Lolicato, 2011).

Existen diversos productos tanto naturales como sintéticos que ayudan a evitar daños a la fruta por quema de sol en muchos tipos de cultivos. Entre estos se pueden mencionar el uso de arcilla caolinita, la cual se utiliza mediante la aplicación de un polvo de uso agrícola color blanco. Su uso además de brindar protección solar provee beneficios al cultivo como insecticida. El bicarbonato de sodio es un ingrediente activo usado como protector solar en la agricultura. La cera de abeja es otra sustancia que puede brindar funciones como protector ante dicha problemática, filtrando una significativa cantidad de rayos ultravioletas disminuyendo el riesgo de afectación de la cáscara (Lolicato, 2011). Diversos estudios realizados por Castro (2018), muestran diferentes productos utilizados para contrarrestar o disminuir el daño por quema solar en diferentes tipos de cultivos (tabla 2)

**Tabla 2.** Productos utilizados en la agricultura para manejar la quema solar.

<b>Cultivo</b>	<b>Producto Aplicado</b>	<b>Referencia</b>
<b>Tomate</b>	Caolín	Boari <i>et al.</i> , 2016.
<b>Manzana de gala</b>	Caolín, red de sombra, “evaporate cooling”	Gindaba y Wnad, 2007.
<b>Pitahaya</b>	Red de sombra	Chang <i>et al.</i> , 2016.
<b>Manzana</b>	Cera a base de Carnauba (palma aceitera)	Schrader, 2011.
<b>Piña</b>	Riego, cal, papel periódico, bolsa de papel, TNT (tejido no tejido) blanco n° 40	Pereira <i>et al.</i> , 2014.
<b>Tangor de Murcott (Mandarina/ Naranja)</b>	Bolsas de papel blancas, carbonato de calcio y red de sombra.	Tsai <i>et al.</i> , 2013.
<b>Granada</b>	Caolín	Melgarejo <i>et al.</i> , 2004.

**Fuente:** Elaboración propia. Datos tomados de Castro (2018).

Según Calderón (2017), al probar un extracto de una planta de *Ilex guayusa* Loes, originaria de la Amazonia, obtuvieron un resultado positivo como protector solar de manera que este extracto posee una buena absorbancia de la radiación UV en rangos amplios del espectro. Por otra parte, otro estudio elaborado en cítricos muestra tres tratamientos para manejar la quema de sol en fruto. Se

utilizó papel blanco, carbonato de calcio y redes de sombra, como resultado el carbonato de calcio pulverizado fue el método más rápido, sin embargo, el menos efectivo, tomando en cuenta que reduce la tasa fotosintética de la planta. Dentro de los métodos físicos, el papel blanco fue el que obtuvo un resultado positivo como respuesta ante la quema de sol en fruta, sin embargo, el uso de redes de sombra para proteger el fruto resultó ser el más eficiente (Chang, Lee y Tsai, 2013). Varios autores reportan que la aplicación de las partículas de caolín para el cultivo de Cítricos específicamente en Mandarino y Pera (*Pyrus communis* L.) disminuyen drásticamente la incidencia de quema de sol en la cutícula del fruto (Chabbal *et al.*, 2014, Colavita, Blackhall y Valdez, 2011).

En otros cultivos como el de manzana la aplicación de cera carnauba (aceite extraído de una palma ubicada en Brasil), cera vegetal natural resultó, una disminución en la afectación de quema de sol y bronceado en las cutículas del fruto. Así mismo, se determinó que la combinación de cera natural con una arcilla emulsionada contiene una mejor refractividad. Además, son productos que no brindan toxicidad al consumirla y estos mismos no afectó los procesos fisiológicos de la planta ni del fruto (Schrader, 2011).

En el caso del cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) de acuerdo con Razek y Saleh (2013) se ha utilizado tres tipos de materiales, caolín, carbonato de magnesio y calamina en tres diferentes concentraciones. Los resultados indican que estos tratamientos aplicados en verano logran una reducción de la quema de sol. Adicionalmente, se está utilizando en la agricultura recubrimientos a base de polímeros naturales que brindan protección solar ante la quema de sol además de otras funciones como bactericidas e insecticida (Velázquez, 2008).

## **2.5 Uso de productos vegetales o naturales para el manejo de trips**

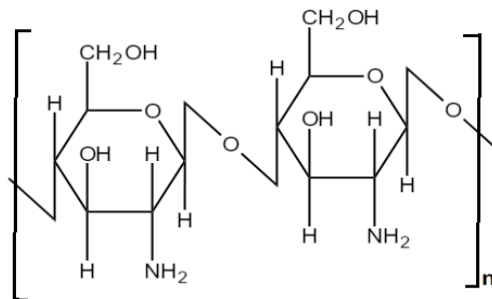
Los extractos vegetales se han presentado en la agricultura como alternativas naturales para el manejo de insectos plagas, los recursos botánicos utilizados generalmente tienden a tener características biocidas (Varón, Berrero, Santos, Monge y Salamanca, s. f). Los extractos vegetales en su mayoría dependiendo de la especie que se extrajo poseen citotoxicidad por lo que la actividad repelente de insectos plaga es mayoritariamente efectiva, los extractos que mayormente se recomiendan son los citotóxicos de plantas que tienen alto contenido aromático (Quispe, 2018).

Un estudio reciente ha reportado el uso de extracto de aceite esencial de *Schinus molle* en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para el manejo de trips (Bravo, 2019). Los resultados muestran una mortalidad del 76% en una concentración de un 4% de aceite esencial. En Europa el uso de carboxilatos naturales extraídos del aceite de oliva (*Olea europea* L.) ha sido reportado para el

manejo de plagas como los trips, hemípteros y tetraníquidos, ya que este producto brinda una actividad insecticida-acaricida, mostrando como resultado una excelente eficacia para el manejo de trips (Ruíz, Lozano, Latorre y Maffioli, 2017).

## 2.6 El quitosano y su uso en la agricultura.

El quitosano es un polímero que se obtiene de la quitina, el cual es obtenido del exoesqueleto de algunos crustáceos marinos. Entre sus características, se pueden citar la biocompatibilidad y biodegradabilidad, por consiguiente, lo convierte en una matriz para ser incorporado en aplicaciones agronómicas. Dadas sus características catiónicas y de alto peso molecular, el quitosano tiene la capacidad de actuar como una sustancia floculante, humectante, estabilizante y quelante. Además, puede ser empleado en industrias como médicas, farmacéuticas, biotecnológicas y agrícolas. Recientemente, el interés en el desarrollo de procesos sostenibles y de productos de mayor valor agregado y amigables con el ambiente ha potenciado su interés sobre los productos químicos sintéticos (Baños, Lauzardo, Velázquez, Molina y Domínguez, 2005).



**Figura 2.** Estructura molecular del quitosano.

El quitosano en la agricultura se ha usado debido a sus múltiples beneficios, al aplicar en frutos, y productos vegetales funciona como protector solar, además que funciona como fungicida y en la protección de semillas (Agüero, Ramírez y Peniche, 2015). La capacidad del polímero de formar una película protectora en frutos como la fresa (*Fragaria* sp.), ha permitido crear una atmósfera interna que disminuye la tasa de transpiración del fruto o planta (Vargas, Martínez, Chiralt y Chéfer, 2004).

La habilidad de esta molécula al aplicarse en productos hortofrutícolas puede generar una película semipermeable, favoreciendo en la mayoría de los casos mejorar las calidades de los productos agrícolas; debido a que esta película genera un atraso en la maduración del fruto retrasando los niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> y/o etileno (en caso de los productos climatéricos). Por otro lado, retiene o



retarda la pérdida de agua por medio de la transpiración y por ende retarda la senescencia (Baños et al, 2005).

Otras aplicaciones del quitosano aparte del manejo sobre microorganismos patógenos, es la ventaja cuando son agregados al suelo, favoreciendo el crecimiento y la actividad de diversos organismos quitinolíticos por un efecto sinérgico dentro del ecosistema. Por otra parte, también favorecen el crecimiento y desarrollo de microorganismos beneficiosos que poseen relaciones simbióticas con plantas como las micorrizas (Mármol et al, 2011).

### **2.6.1 Emulsiones a base de quitosano**

Una emulsión es un sistema heterogéneo, de dos fases líquidas inmiscibles entre sí, por ejemplo, constituidas de agua y aceite, donde una de las fases es dispersada en la otra como gotas de tamaño usualmente de alrededor de 1  $\mu\text{m}$ . Al líquido dispersado se le llama fase dispersa y al dispersante fase continua. Existen dos tipos de emulsiones simples, aceite en agua (O/W) y agua en aceite (W/O), dependiendo de cuál de las dos fases contiene las gotas. Las emulsiones hechas por medio de la agitación de los dos líquidos inmiscibles puros son muy inestables y rápidamente se rompen en sus fases separadas nuevamente (Binks, 1998). Estas emulsiones pueden ser estabilizadas con la adición de un componente que protege de la re-coalescencia de las nuevas gotas formadas. El emulsificante es una molécula de bajo peso molecular que facilita la formación de la emulsión y ayuda a establecer la estabilización adecuada. Entre los componentes se encuentran tensoactivos sintéticos, sin embargo, el uso en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica no es completamente deseado debido a los efectos adversos que pueden tener contra la salud de los consumidores (Dickinson, 2012 & Tang, Lee, Zhang, Berry & Tam, 2014). Una alternativa que busca solucionar los problemas anteriormente mencionados es el uso de emulsionantes poliméricos de origen natural o derivados con baja o nula toxicidad y consecuentemente que presenten menos contaminación al medio ambiente.

Diversos estudios científicos han desarrollado estudios basados en un emulsificante de origen natural como lo es el quitosano. Yan y Claude (2016), indican que las propiedades de emulsificación del quitosano es adecuada para la elaboración de emulsiones, sin alguna modificación hidrofóbica o sin combinarse de algún tensoactivo como se menciona anteriormente, esto debido a que el quitosano estructuralmente posee muchos sitios hidrofílicos gracias a sus grupos amina y grupos hidrofóbicos limitados llamados acetil amina, de manera que la distribución aleatoria de los grupos hidrofóbicos puede reducir la interfaz W/O gracias a su impedimento estérico.

Por otra parte, otros autores comparten que las propiedades fisicoquímicas del quitosano se pueden controlar en condiciones de solución, concuerdan que estas condiciones son el pH y la concentración del quitosano (Jian, et al., 2015; Yan y Claude, 2015). No obstante, un estudio con quitosano en emulsiones de *pickering*, método que utiliza acumulación de partículas sólidas en una interface W/O el cual forma una capa densamente empaquetada así evitando la floculación y la coalescencia de la emulsión, mismo método indican la corroboración de dicha sensibilidad del quitosano emulsionante a los cambios de pH ya que al someterlo en pruebas, se notó cambios en los aglomerados de sustancias formados a distintos pH (Jian et al., 2015 Wei, Wang, Zou y Tong, 2012 Wang, et al, 2015).

Silvia et al., (2020) han empleado disoluciones de quitosano combinado con aceite de coco para el desarrollo de emulsiones con propósitos biomédicos, que de manera similar se podría emplear en el campo de la agricultura. De manera similar, el encapsulamiento de un pesticida botánico a base aceite de Nim en partículas de quitosano para el control de *Helicoverpa armígera* Hübner, ha sido reportado por Paulraj et al., (2017) de acuerdo con los resultados, se registró una mortalidad de las larvas superior al 80 %. También, un estudio in-vitro demostró actividad inhibitoria contra la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius) utilizando formulaciones basadas en aceite de geranio, quitosano y goma arábica (De Oliveira et al., 2018).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del estudio

##### 3.1.1 Descripción de la finca

La investigación se realizó en una finca con cultivo de aguacate ubicada en la zona del Pacífico Central. La finca de estudio corresponde a una plantación joven de árboles de dos a los cuatro años de edad, mismos árboles tenían una altura promedio de 2.5 m. Posee tres hectáreas sembradas con 400 árboles de aguacate con un distanciamiento de siembra de 9 m x 9 m, los árboles se encuentran distribuidos bajo el sistema “pata de gallo”. El área experimental donde se desarrolló el presente estudio es de 16 árboles donde 8 son de la variedad Simmons y los otros 8 árboles son de la variedad Gato (Polinizadora).



**Figura 3.** Vista aérea de la finca de Freddy Castro.

##### 3.1.2 Fase de campo

La aplicación de los bioprotectores se realizó en la finca ubicada en el cantón de Orotina de la provincia de Puntarenas; el cual se encuentra dentro de las coordenadas geográficas 9.914206, - 84.506024, con una altitud promedio de 380 m.s.n.m. Las condiciones climáticas fueron tomadas con un Datalogger (figura 22), la zona se caracterizan por presentar temperaturas mínimas, promedio y máximas de 24, 34 y 35 °C, respectivamente. Por otra parte, la precipitación se presentó a principio de junio hasta finales de noviembre, incluyendo algunas semanas de diciembre; los meses de mayor precipitación son junio con 131 mm y septiembre con 171 mm en promedio. Con relación al

comportamiento de las nubes, en los meses de enero a mayo los cielos se encuentran generalmente despejados, por lo que durante este periodo se genera el mayor efecto a los cultivos debido a la radiación solar, por el contrario, ocurre en los meses de junio a noviembre, el cielo se encuentra más nuboso, relacionado con la nubosidad (Rodríguez, 2008).

### 3.2 Determinación de la eficacia de bioprotectores

#### 3.2.1 Formulación y tratamiento de los bioprotectores a base de quitosano

Los bioprotectores se formularon en el Laboratorio de Investigación y Tecnología de Polímeros (POLIUNA) de la Escuela de Química de la Universidad Nacional (UNA), Campus Omar Dengo. Las formulaciones evaluadas a partir de aceite de coco, caolín y quitosano se detallan en la Tabla 3. Las proporciones de los bioprotectores se basó en el estudio elaborado por Silva et al., (2020), en el cual se definen las concentraciones adecuadas para este tipo de bioprotector. Las dispersiones tanto de aceite de coco como de caolín en la disolución de quitosano se realizaron mediante la agitación vigorosa a temperatura ambiente.

**Tabla 3.** Tratamientos y dosis utilizadas en las aplicaciones en la plantación de aguacate.

Código	Tratamiento	Dosis*
T1	Aceite de coco al 1% m + Caolín al 2% + Solución de Quitosano 0,25% m en ácido acético 0.5% m.	500 mL/árbol
T2	Caolín al 2% m + Solución de Quitosano 0,25% m en ácido acético 0.5% m.	500 mL/árbol
T3	Aceite de coco emulsificado al 1% m + Solución de Quitosano 0,25% m en ácido acético 0.5% m.	500 mL/árbol
T4	Producto Comercial Surround WP 95% Caolín	11 kg / 0.5 ha

\*Se formularán los tratamientos en volúmenes máximos de 50 mL.

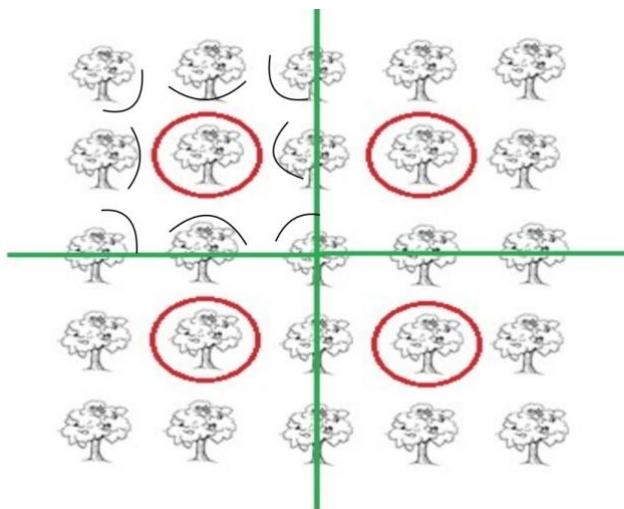
Fuente: Elaboración propia. Dato tomado y referenciado de NovaSource (2019) y Castro (2018).

Los tratamientos en el campo se identificaron con cintas de colores y números de manera que el Tratamiento uno (cinta blanca) corresponde a la formulación compuesto por quitosano, aceite de coco y caolín (Figura 10-A). El Tratamiento dos, color rojo compuesto por quitosano y caolín, el Tratamiento tres (cinta negra) elaborado de quitosano y aceite de coco. Por último, el Tratamiento cuatro, (cinta color rosado) corresponde al producto Surround WP.

### 3.2.2 Dosificación y frecuencia de aplicación de tratamientos

Para la aplicación de los tratamientos se utilizó una bomba de espalda marca Carpi Spray Mec de una capacidad de 18 litros con una boquilla de alta descarga, se le suministró 500 ml de solución por tratamiento (4 árboles), sobre los frutos de aguacate de tamaño denominado “fosforito”. Después de iniciada la floración se le suministró dos aplicaciones la primera cuando el fruto tuvo el tamaño fosforito y la segunda aplicación se aplicó un mes después.

Los tratamientos se aplicaron en los puntos cardinales de cada uno de los árboles que corresponde a una rama que contenga aproximadamente cinco frutos de aguacate, además, a cada punto cardinal del árbol ubicado frente a cada unidad observacional se le aplicó el mismo tratamiento para no dejar árboles sin protección, a este se le denominó árbol de amortiguamiento (Figura 4).



**Figura 4.** Diseño de distribución de los tratamientos aplicados con un árbol barrera.

### 3.2.3 Muestreo

En cada árbol se seleccionó cuatro ramas orientadas en cada punto cardinal y dentro de cada rama se seleccionó al menos cinco aguacates a una altura de un metro para un total de veinte frutas por árbol. Cada árbol se demarcó con una cinta de color debidamente identificada con marcador indeleble y amarrada a la base de la rama como se indicó anteriormente.

### 3.3 Determinación de eficacia de los tratamientos

La evaluación de la eficacia de los tratamientos se utilizó una escala teórica de afectación de la severidad en la cáscara de los frutos, en el cual se asignó un valor de acuerdo con el porcentaje de afectación como se estableció en la tabla 4 (Chabbal, et al (2014).

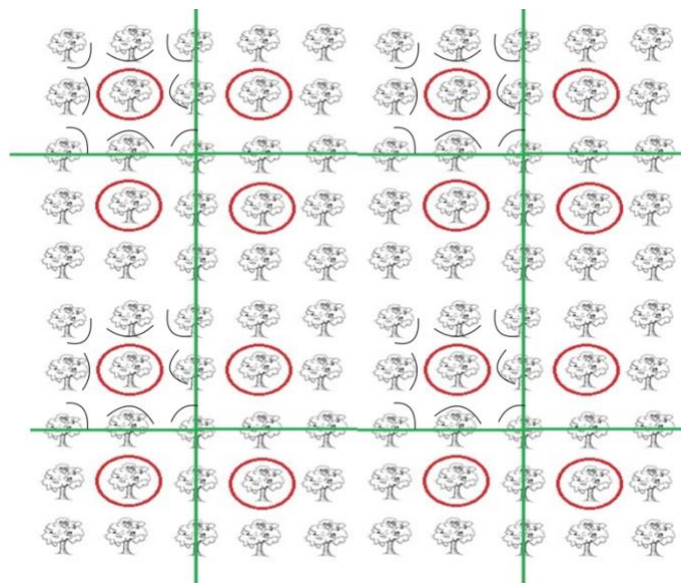
**Tabla 4.** Porcentaje de afectación en la cáscara de la fruta del aguacate.

Clase Afectación	Porcentaje de Afectación	Descripción de Daño
1	0%	No presenta quema de sol.
2	0-25%	Presenta un indicio de quema de sol (Amarillamiento).
3	25-50%	Presenta un porcentaje de amarillamiento más amplio y con tejido necroso.
4	>50%	Producto con tejido necroso muy avanzado.

**Fuente:** Elaboración propia. Datos tomados de Chabbal et al., (2014).

### 3.4 Diseño experimental

La unidad experimental correspondió a nueve árboles de aguacate y dentro de cada unidad experimental se tomaron cuatro submuestras correspondientes a cada rama de la unidad observacional que correspondieron al árbol central (Figura 4). Se estableció un diseño completamente aleatorizado (DCA) con cuatro repeticiones para cada tratamiento para un total de 16 unidades experimentales. En cuanto a la estructura de tratamiento fue bifactorial con interacción, donde el primer factor tiene cuatro niveles correspondientes a los cuatro tratamientos y el segundo factor correspondió a la fecha de evaluación. El diseño se realizó con la aleatorización de las repeticiones de los tratamientos en campo sin contemplar los árboles de amortiguamiento y se detalla a continuación en la figura 5.



**Figura 5.** Aleatorización de los tratamientos a las unidades experimentales.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Análisis estadístico

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables de respuesta estudiada (porcentaje de severidad), se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas en el tiempo bajo la teoría de los modelos lineales mixtos. El modelo lineal para el experimento bifactorial fue la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$\text{con: } i = 1 \dots 4, \quad j = 1 \dots 4, \quad k = 1 \dots 4$$

Con

$Y_{ijk}$ : variable de respuesta del  $i$ -ésimo tratamiento,  $j$ -ésimo fecha de evaluación y la  $k$ -ésima repetición.

$\mu$ : media general

$\alpha_i$ : efecto de la  $i$ -ésimo tratamiento.

$\gamma_j$ : efecto de la  $j$ -ésimo fecha de evaluación

$\delta_{ij}$ : efecto adicional (interacción) para la combinación de los niveles  $i$  del tratamiento y  $j$  fecha de evaluación.

$\varepsilon_{ijk}$ : término de error que se distribuye normal independiente con media cero y varianza constante.

Se comprobaron los supuestos del ANOVA con gráficos diagnósticos (cuantiles de los términos de error, gráficos de residuos y gráficos de residuos vs. predichos) y se escogió el mejor modelo en función de los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC). En las variables donde existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos, se realizaron las comparaciones de medias por medio de la prueba de Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ( $p \leq 0.05$ ) permitiendo la formación de grupos excluyentes y no transición entre tratamientos.

### 3.6 Variables a evaluar sobre la población y afectación de trips en frutos

La variable que se evaluó fueron los trips en las trampas pegajosas. Para el muestreo se empleó el método de trampas pegajosas amarillas y azules orientadas entre cada dos árboles para un total de nueve trampas amarillas y nueve azules. Para ello se recolectó una vez por semana cada trampa y se colocó en una bolsa de polipropileno con su respectiva identificación de la muestra y fecha de recolección. Los trips recolectados sobre las trampas pegajosas se llevaron al Laboratorio de Entomología de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) de la Universidad Nacional de Costa Rica

(UNA), para ser contabilizados. Para el procesamiento de las trampas se tomaron las trampas pegajosas y se dividió cada una (ambas caras) en seis cuadros iguales utilizando una regla, luego con un dado se seleccionó tres de esos seis cuadros al azar y se procedió a contar la totalidad de trips por cuadro y se anotó en la bitácora y se repitió el proceso para la otra cara de la trampa. Posterior a esto se obtuvo un promedio por cuadro utilizando la información de ambas caras del conteo y luego el promedio por cuadro se multiplicó por la totalidad de cuadros totales para llevar un total aproximado por lámina (Figura 23).

### **3.6.1 Evaluación del efecto de los tratamientos sobre la población de trips y daños en frutos**

Se realizaron las mediciones de la población de trips y las lesiones provocadas por los mismos al momento de la cosecha, luego de haber pasado la susceptibilidad de los frutos de aguacate por la quema de sol. Se cosecharon y evaluaron 20 frutos por árbol que estaban en el estrato medio, seleccionando de los cuatro puntos cardinales del árbol para homogenizar la muestra. Los muestreos se tomaron en el estrato medio ya que no se encontraron diferencias estadísticas en muestreos previos al hacerlo en los estratos bajos, medios y altos González *et al* (1999), por lo que se decidió utilizar a este estrato medio por facilidades de muestreo.

Para la evaluación del efecto bioprotector de los tratamientos se utilizó una escala de evaluación para medir las lesiones, donde se consideró la formación de abultamientos en el pericarpio de la fruta. Esta lesión deberá abarcar al menos entre 1 a 2 cm sobre la superficie del aguacate. La escala para medir la incidencia en fruto comprendió las siguientes tres categorías de evaluación:

- Sin lesiones (Estado 1): No muestran ningún abultamiento ni manchas marrones.
- Deformación ligera (Estado 2): Lesiones en las frutas consistentes en una o dos abultamientos con longitud menor a un tercio de la longitud del fruto, sin lesiones color café asociadas, ni muy pronunciadas que dieran aspecto de deformidad del pericarpio.
- Deformación severa (Estado 3): Frutos con dos o más abultamientos y longitudes mayores a un tercio del fruto, que muestren un aspecto de deformidad al pericarpio, pudiendo estar asociadas a lesiones de color marrón.

### **3.6.2 Análisis estadístico**

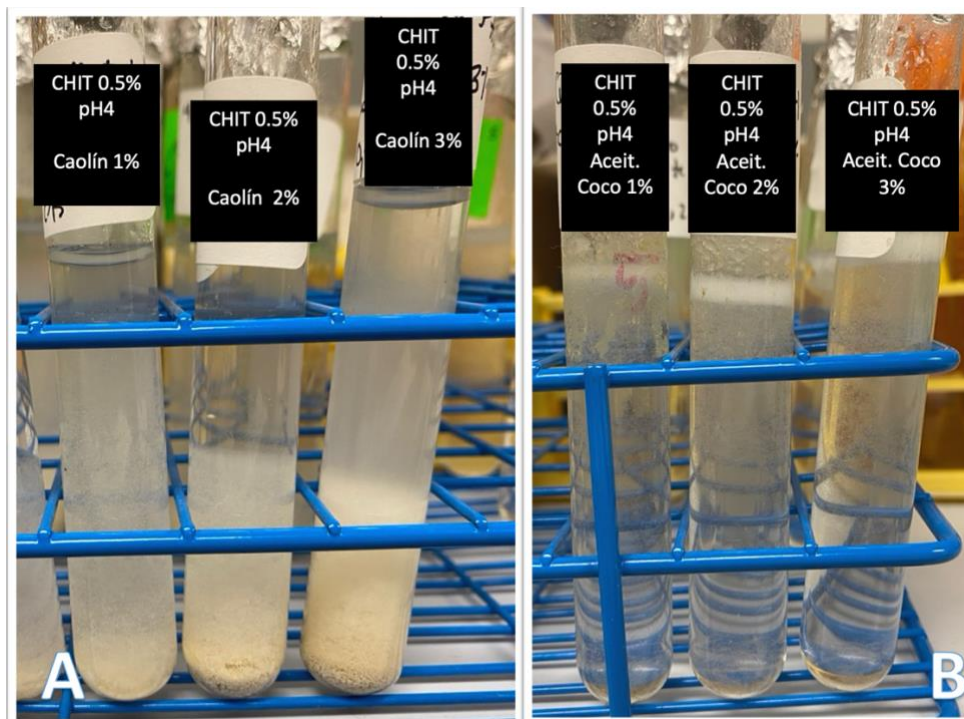
Se obtuvieron las medidas de posición y de variabilidad para la cantidad de trips por fecha de evaluación y para cada tratamiento, así como, su gráfica correspondiente para ver la fluctuación a través del tiempo. Con respecto al efecto bioprotector sobre lesiones de trips se obtuvo la distribución de frecuencias de las categorías mediante una tabla y su respectiva gráfica.



## 4. RESULTADOS

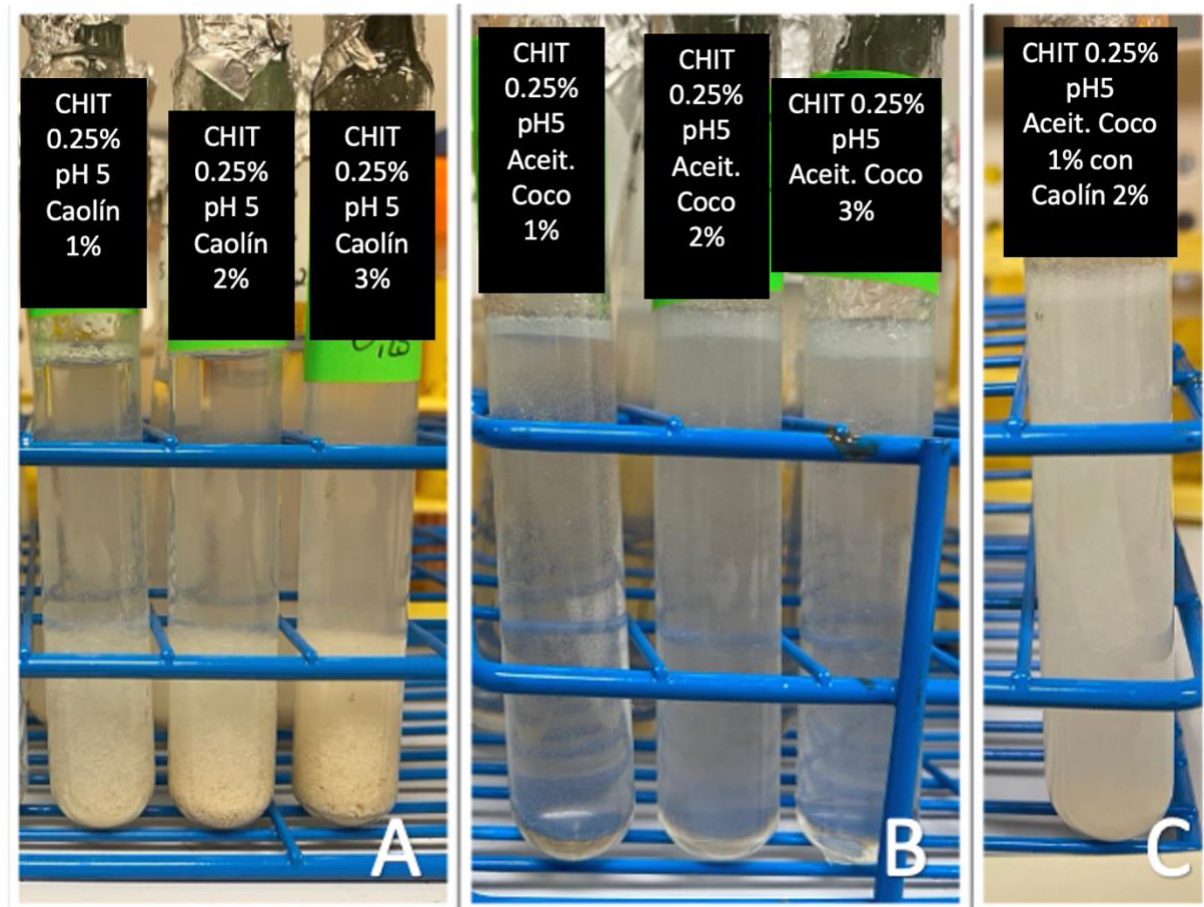
### 4.1 Formulaciones y tratamiento de los bioprotectores a base de quitosano, aceite de coco y caolín.

En el Laboratorio de Polímeros de la Universidad Nacional se obtuvo el quitosano, el cual presentó un peso molecular de 136 KDa, con un grado de desacetilación del 57-60%. La elaboración de las formulaciones (dispersiones y emulsiones) se realizó tomando como base quitosano en disolución acuosa como agente emulsificante del aceite y caolín en concentraciones variadas. En la figura 6 se observan el aspecto de las dispersiones de las formulaciones empleando quitosano al 0.5% m en ácido acético al 0.25% m. Se puede notar que el aceite de coco no se logra dispersar totalmente en la solución de quitosano. De manera similar, las partículas de caolín formaban un precipitado y una dispersión más viscosa comparada con la disolución del polímero.



**Figura 6.** Dispersiones de caolín en la sección A y con aceite de coco en la sección B con quitosano al 0.5% m en ácido acético al 0.5% m a pH 4.

Para mejorar la dispersión del caolín con el quitosano, se varió el pH de la dispersión adicionando hidróxido de sodio (NaOH) y se redujo la concentración de la disolución de quitosano. El pH se mantuvo en un valor de 5 para la dispersión en quitosano y caolín. Como se observa en la figura 7, la dispersión con un 2% de caolín y un 1% de aceite de coco en la disolución de quitosano muestra un adecuado comportamiento de dispersión sin una evidente separación de fases (figura 7-C).



**Figura 7.** Dispersiones de caolín en la sección A, con aceite de coco en la sección B y en la sección C la dispersión de los dos componentes.

#### 4.2 Estado de la plantación antes y después de las aplicaciones

Se monitoreó la plantación desde la floración hasta la formación total del fruto durante todo el muestreo de trips. La primera aplicación se realizó cuando la fruta alcanzó un tamaño de aproximado de 5 cm similar al mostrado en la figura 8-B. Un mes después la segunda aplicación fue realizada.



**Figura 8.** Crecimiento de la plantación desde el estado de floración hasta cosecha del Aguacate.

En el campo, la aplicación de los tratamientos (dispersiones y emulsiones) elaborados y el tratamiento control (formula comercial Surround WP) se aplicaron al mismo momento en la parcela designada.



**Figura 9.** Aplicación de los tratamientos en conjunto con la aplicación comercial.

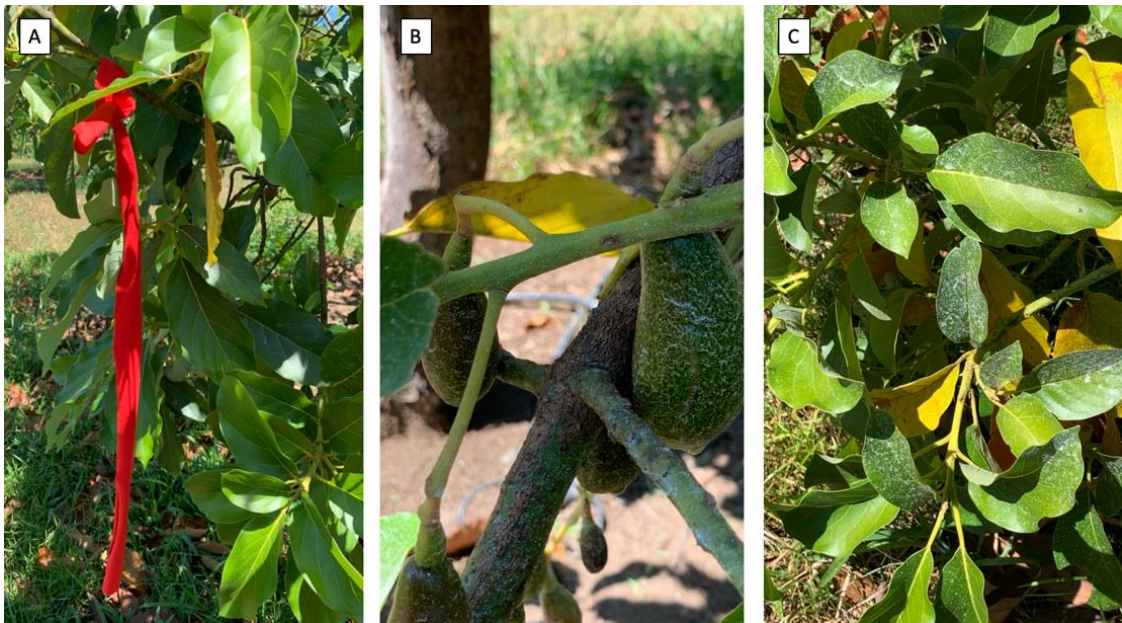
Los tratamientos en el campo se identificaron con cintas de colores y números de manera que el Tratamiento uno (cinta blanca) corresponde a la formulación compuesto por quitosano 0.25% m, aceite de coco 1% m y caolín 2% m (figura 10). El Tratamiento dos, color rojo compuesto por quitosano 0.25% m y caolín 2% m, el Tratamiento tres (cinta negra) elaborado de quitosano 0.25% m y aceite de coco 1% m. Por último, el Tratamiento cuatro, (cinta color rosado) corresponde al producto Surround WP.

En la aplicación, por medio de una inspección visual, el tratamiento uno presentó una menor impregnación debido al peso generado por el aceite de coco. Se puede notar que la gota al aplicar era más densa lo que provocó que el fruto no quedara cubierto totalmente, sin embargo, en la figura 10-C se puede observar que el fruto una vez seco, quedaba con el tratamiento un poco impregnado en la cutícula.



**Figura 10.** Tratamiento uno, color blanco aplicado a base de quitosano 0.25% m, aceite de coco al 1% m y caolín al 2% m.

En la figura 11-B y 11-C, se muestran los resultados de la impregnación aplicando el Tratamiento dos. Como se puede observar, la dispersión de quitosano/caolín logró impregnar tanto el fruto como las hojas, de manera más homogénea.



**Figura 11.** Tratamiento dos, color rojo elaborado de quitosano 0.5% m con caolín 2% m.

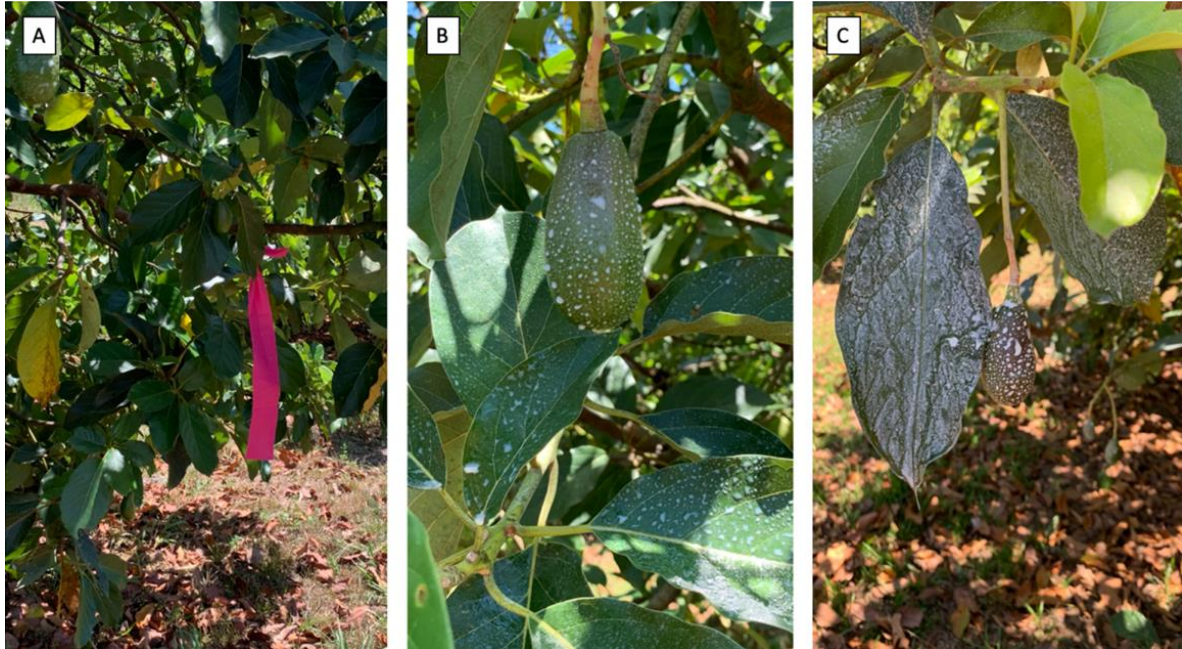
Fuente: Elaboración propia.

El Tratamiento tres (figura 12) correspondiente a la formulación de quitosano 0.25% m y aceite de coco 1% m, presentó poca adhesión a la cascara del fruto. La formación de gotas grandes sobre la superficie del fruto puede ser explicado en términos de una baja afinidad y humectabilidad de la formulación.



**Figura 12.** Tratamiento tres, color negro aplicado a base de quitosano 0.5% m y aceite de coco al 1% m.

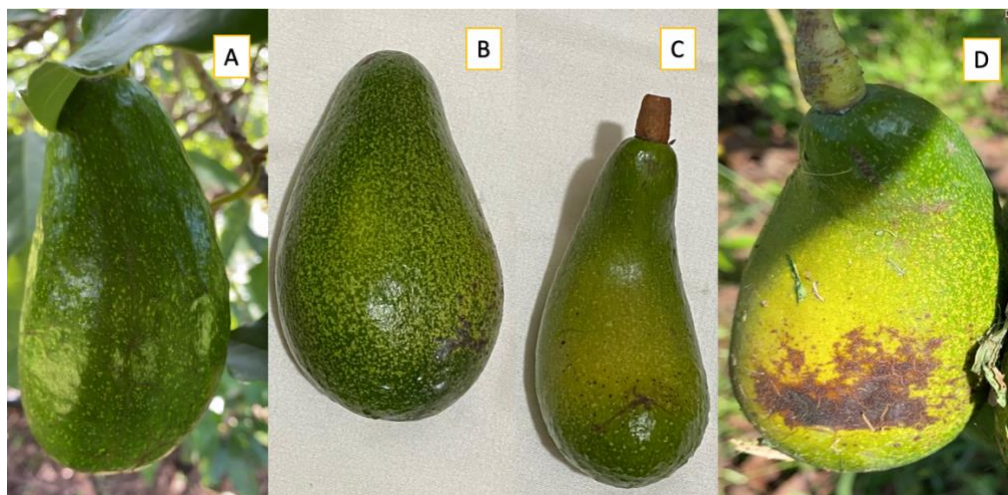
Finalmente, el tratamiento cuatro correspondiente a la formulación comercial Surround WP 95% caolín, se observa en la figura 12. La aplicación resulta en una distribución uniforme del producto en toda la cutícula de los aguacates.



**Figura 13.** Tratamiento cuatro, color rosado aplicado solamente con Surround WP (B-recién aplicado el producto y C- producto seco sobre el fruto).

En el campo para realizar la evaluación de los aguacates en la cosecha, se tomó como referencia el porcentaje de afectación teórica (Tabla 4), de manera que se realizó una escala basada en la teoría con los aguacates de la misma finca (figura 14), para una mejor evaluación visual. Las dos variedades se evaluaron por separado tanto Simmons como Gato.

### 4.3 Evaluación de la severidad de la quema solar en los aguacates de la variedad Simmons.

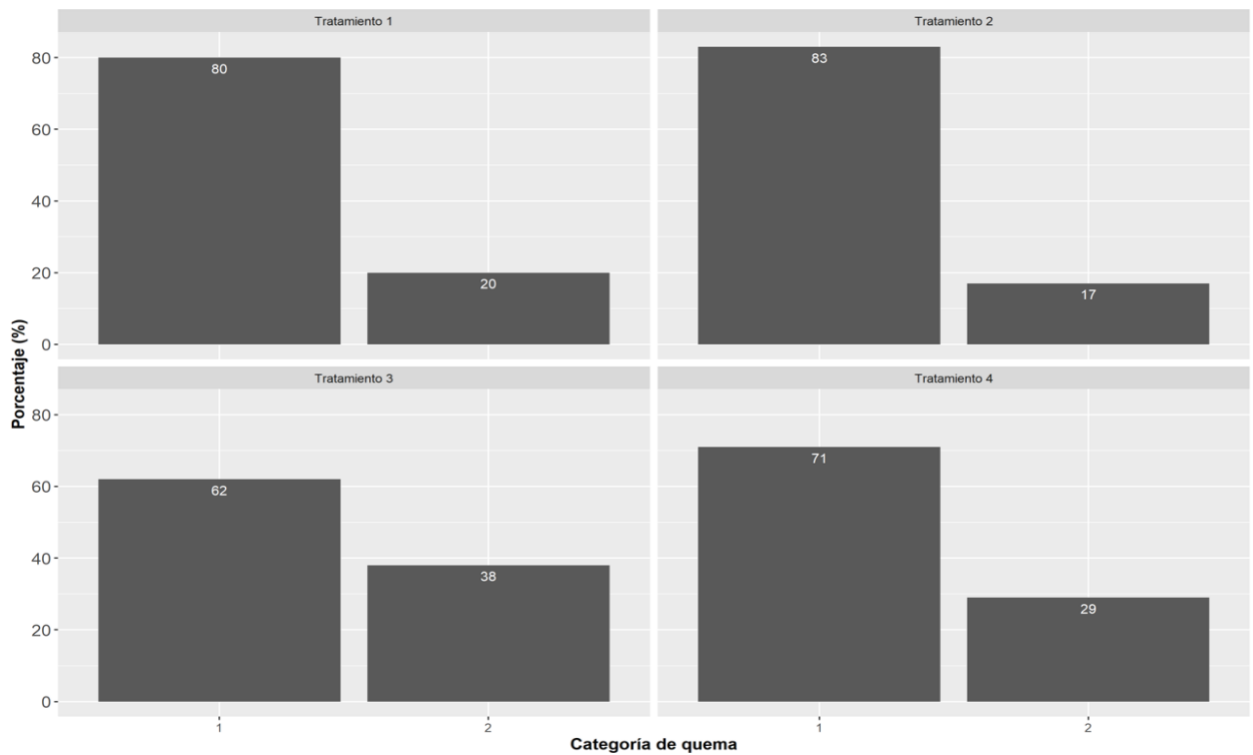


**Figura 14.** Escala de severidad de la afectación de quema solar en fruto de Aguacate.

Nota: Basada en la escala teórica de afectación (tabla 4). En la figura A es indicativo a un aguacate sano con 0% de afectación se le considera condición de afectación uno. En la figura B se puede apreciar el inicio de la afectación de quema solar con presencia de amarillamiento, se le considera aguacate en condición de afectación grado dos, en la figura B se le considera aguacate en condición de afectación grado tres y se aprecia un amarillamiento más amplio y en la figura C se aprecia la totalidad de la cara con amarillamiento y tejido necroso, considerándolo una condición de afectación grado cuatro.

De la evaluación de la quema solar en la variedad Simmons se determinó que el Tratamiento dos tuvo el mayor porcentaje (83%) de aguacate en condición de afectación uno, como lo ilustra la figura 14-A. Y el Tratamiento tres con indicios fue mayormente afectado en quema solar ya que solo el 63% de los aguacates tuvieron condición de afectación uno (aguacate sano). El porcentaje más pequeño de aguacate en condición de afectación dos con indicios de quema solar como se muestra en la figura 14-B, lo obtuvo el tratamiento dos y uno.

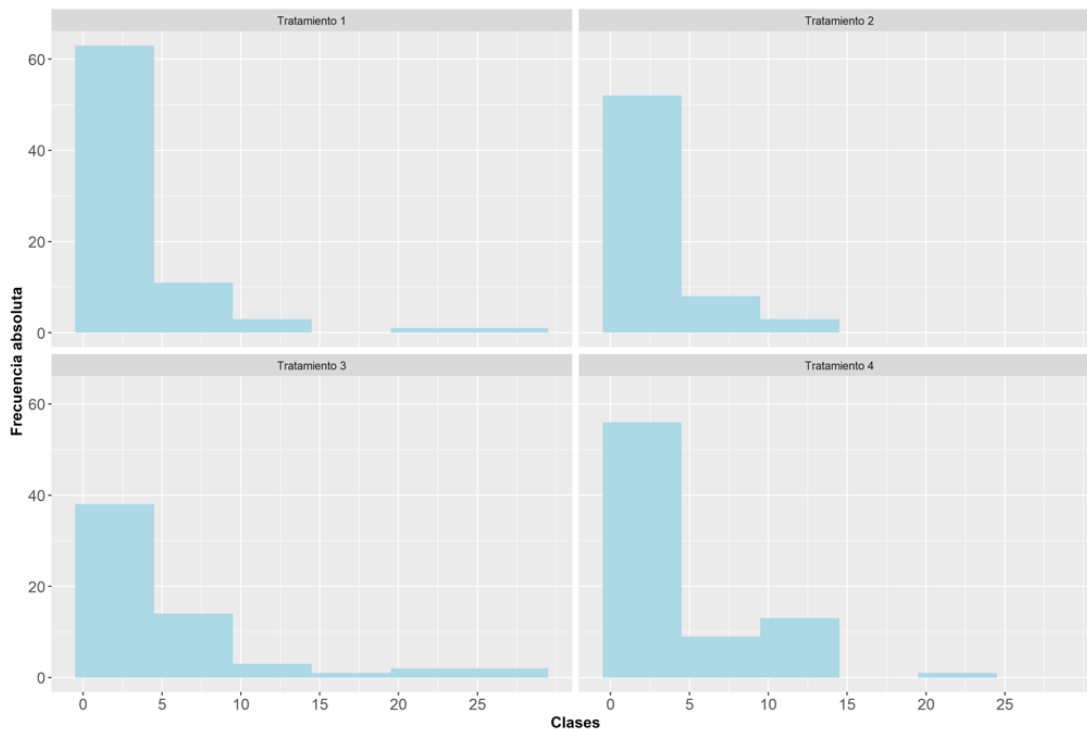
De acuerdo con los resultados, los Tratamientos uno y tres, resultaron con frutos sumamente sanos con grado de afectación uno (14-A) y relativamente bajo en aguacates con condición de afectación dos (14-B), sin embargo, el producto comercial Surround WP mostró un comportamiento muy similar al tratamiento dos, pero con un menor porcentaje de fruto en estado de afectación uno.



**Figura 15.** Distribución de frecuencias para la variable incidencia de quema de sol por categorías para cada tratamiento en la variedad Simmons.

En el gráfico de distribución de frecuencias se muestra el resultado de la distribución según la escala de severidad en función a la quema de sol (figura 15) donde muestra el porcentaje de aguacates según la incidencia del estado de la quema ya sea estado de afectación uno o dos (figura 14 -A y 14-B respectivamente).





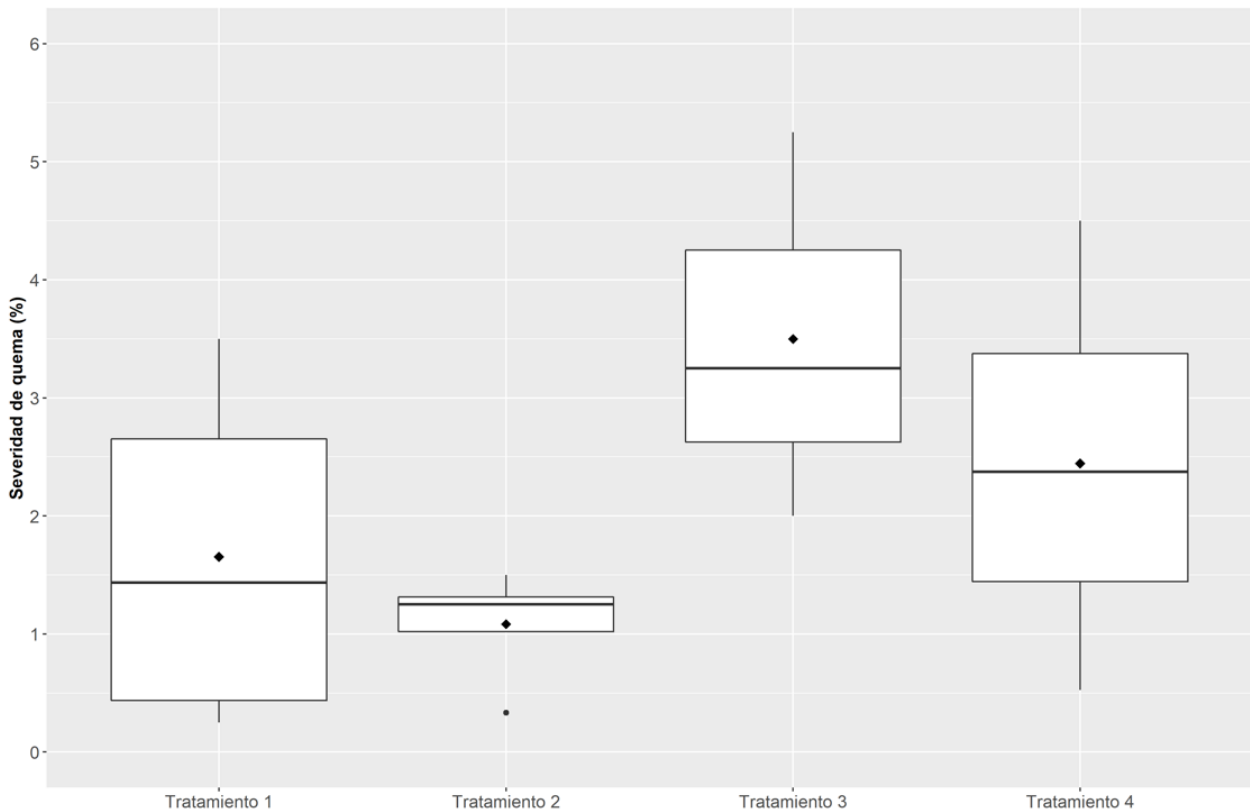
**Figura 16.** Histograma para la variable severidad por afectaciones de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Simmons.

La severidad de la quema solar se evaluó en base a la distribución del porcentaje de afectación en la cascara producto de la quema de sol a la hora de la cosecha. En el Tratamiento uno se muestra un comportamiento de más de un 60% de los aguacates que presentaron de un 0-5% de afectación, sin embargo, el Tratamiento uno y tres tuvieron una severidad de más de un 25% de afectación en una cantidad de aproximadamente del 5% de los aguacates.

El Tratamiento cuatro junto al tratamiento uno obtuvo un porcentaje alto de frutos con una afectación del 5% de quema de sol, pero el 15% de los aguacates aplicados con tratamiento 4 tuvo una afectación de severidad de un 10 a 15%

A partir del análisis de varianza (anexo 2), se concluye que no existe evidencia significativa ( $p < 0,05$ ) para rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias para los tratamientos para la variable severidad.

En la figura 17 refleja las medias similares entre los tratamientos, apoyando que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

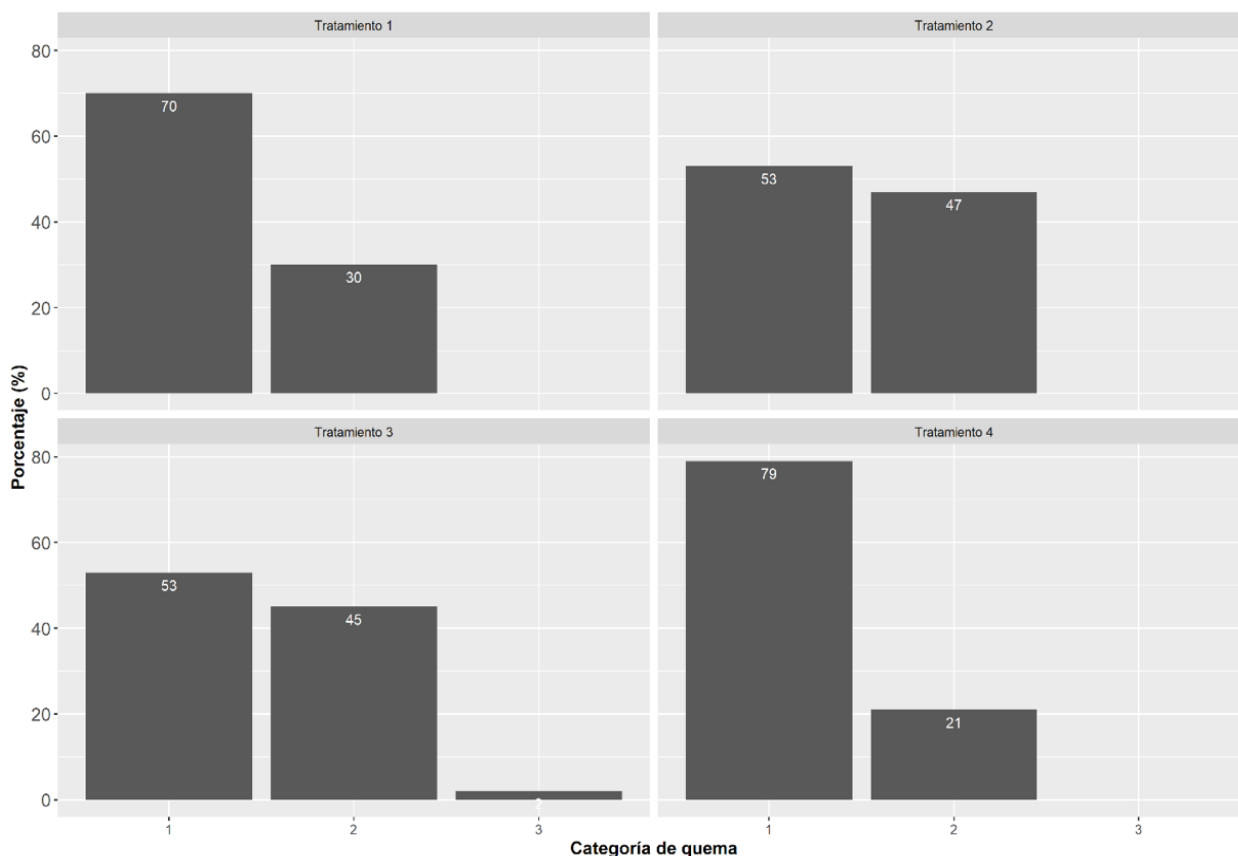


**Figura 17.** Gráfico de cajas para la variable severidad por afectaciones de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Simmons.

#### **4.4 Evaluación de la severidad de la quema solar en los aguacates de la variedad Gato.**

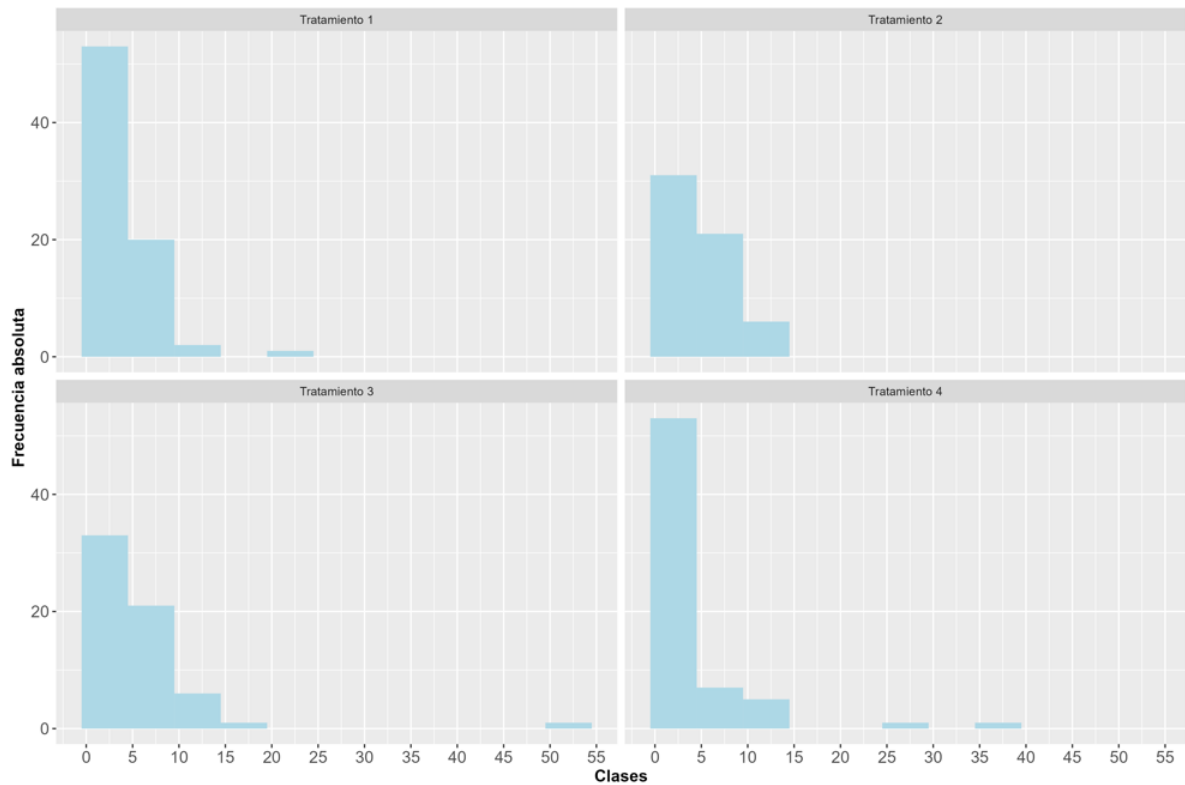
La evaluación de la quema solar por escala de afectación en variedad Gato tuvo un comportamiento diferente a la variedad Simmons debido a que había una diferencia de tamaño en los aguacates, los de la variedad Gato eran más pequeños en la evaluación. El propósito de la variedad Gato es brindar el servicio de polinización y los aguacates en su mayoría ser comercializada.

El Tratamiento uno y el Tratamiento cuatro mostraron un porcentaje alto de aguacates en estado afectación uno (figura 14-A) un 70 y 79%, respectivamente. En estado de afectación dos (figura 14-B) el Tratamiento dos obtuvo un resultado del 47% y el número tres (color negro) de un 45%. El Tratamiento tres tuvo un 2% de aguacates en estado de afectación tres (figura 14-C).



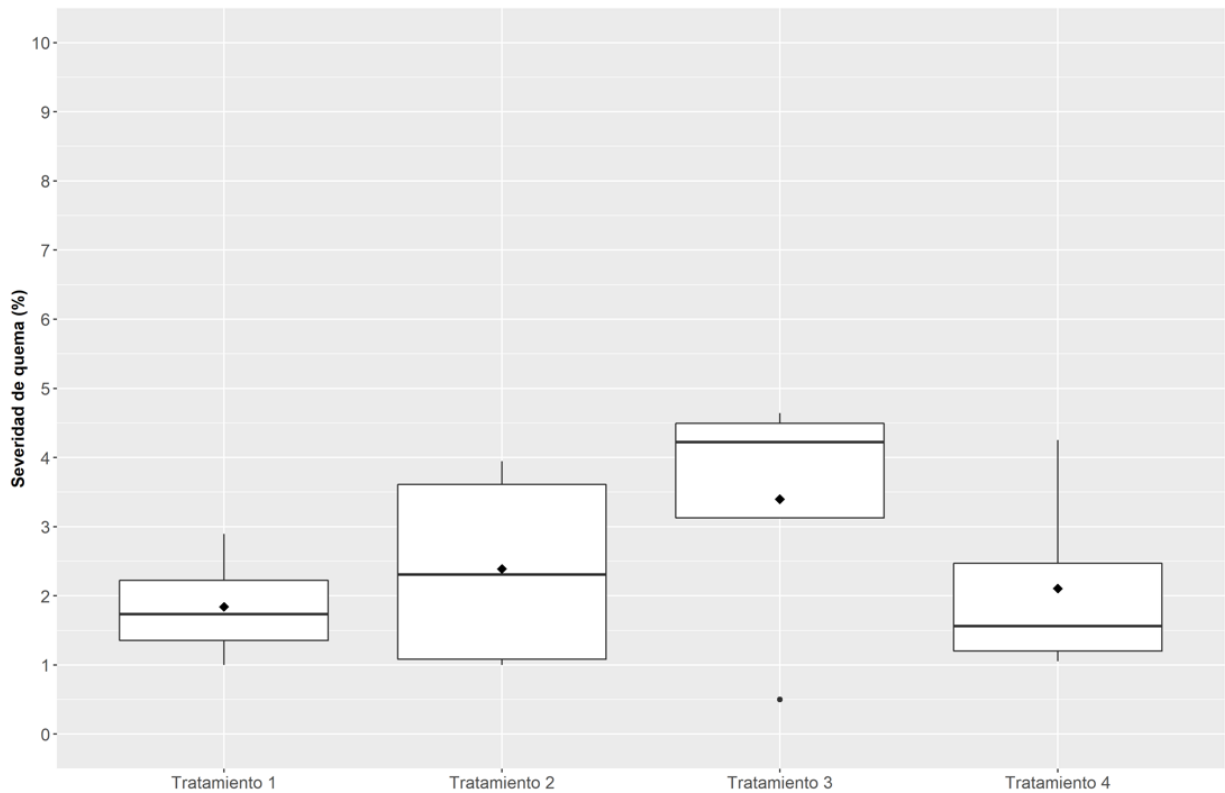
**Figura 18.** Distribución de frecuencias para la variable incidencia de quema de sol por categorías para cada tratamiento en la variedad Gato.

El porcentaje de severidad de la quema solar para la variedad Gato tuvo gran porcentaje en la totalidad de tratamientos con aguacate sano y con 5 % de afectación, una constante en el Tratamiento uno, dos y tres con aguacates con afectaciones del 5 al 15% de afectación de quema solar. Tomando en cuenta que los Tratamientos tres se cosecharon una pequeña población de aguacates con afectación de más del 50% de afectación y no obstante, el Tratamiento cuatro se encontraron pocos aguacates con afectaciones de mas del 26% y 36% dentro de la misma población, cosiderablemente una población pequeña pero con afectación notable.



**Figura 19.** Histograma para la variable severidad por afectaciones de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Gato

A partir del análisis de varianza (anexo 5), se concluye que no existe evidencia significativa ( $p < 0,05$ ) para rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias para los tratamientos para la variable severidad. En cuanto a las medias de los tratamientos fueron el porcentaje de afectación de frutas afectadas por la severidad de la quema para el caso del Tratamiento uno y dos el porcentaje de la media fue de 1.84% y 2.39%, respectivamente, mientras que para el Tratamiento tres y cuatro 3.40% y 2.11%, respectivamente.



**Figura 20.** Gráfico de cajas para la variable severidad por afectaciones de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Gato.

#### **4.5 Evaluación del efecto de los tratamientos sobre la incidencia de trips en los frutos de aguacate**

El muestreo y recolección de trampas pegajosas se realizó una vez por semana y se colocó en bolsas de polietileno. Posteriormente las muestras se llevaron al Laboratorio para su respectivo conteo (Figura 21).

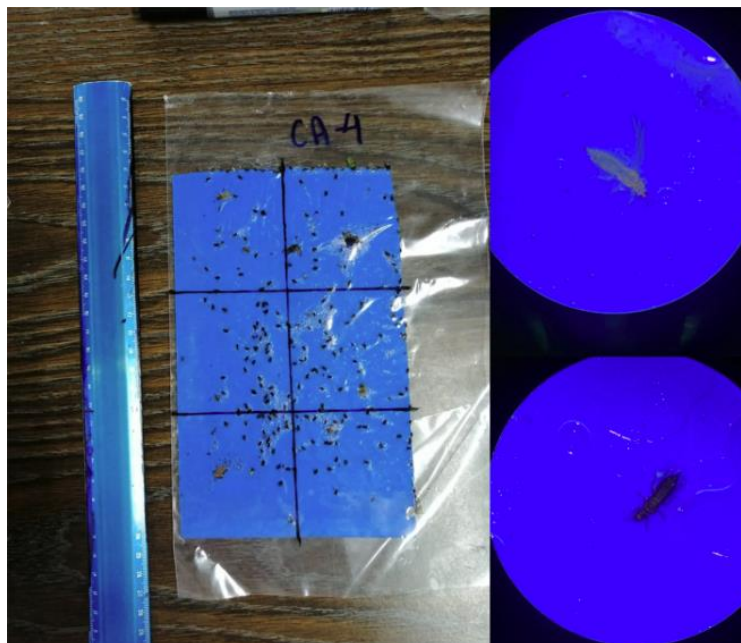


**Figura 21.** Colocación de trampas pegajosas y recolección de estas.

Se registraron los datos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa (%) cada cuatro horas mediante un datalogger marca Onset modelo UX100-003.

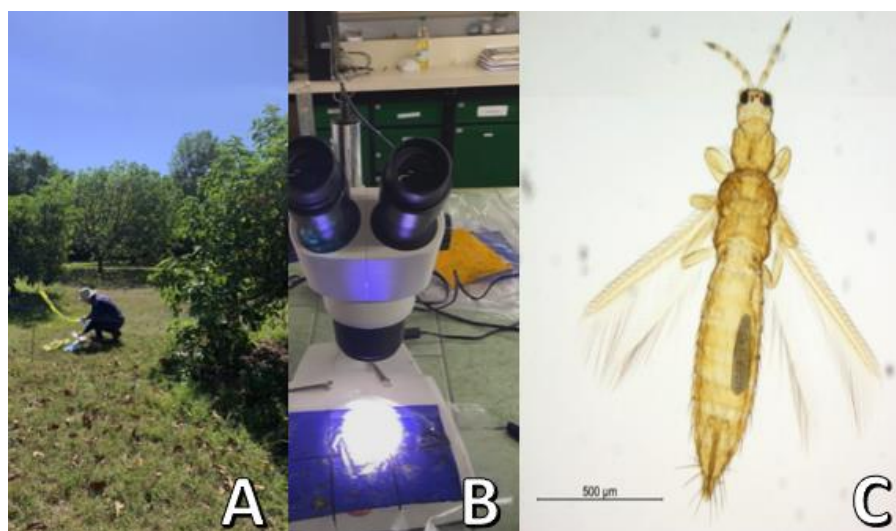


**Figura 22.** Datalogger marca Onset modelo UX100-003.



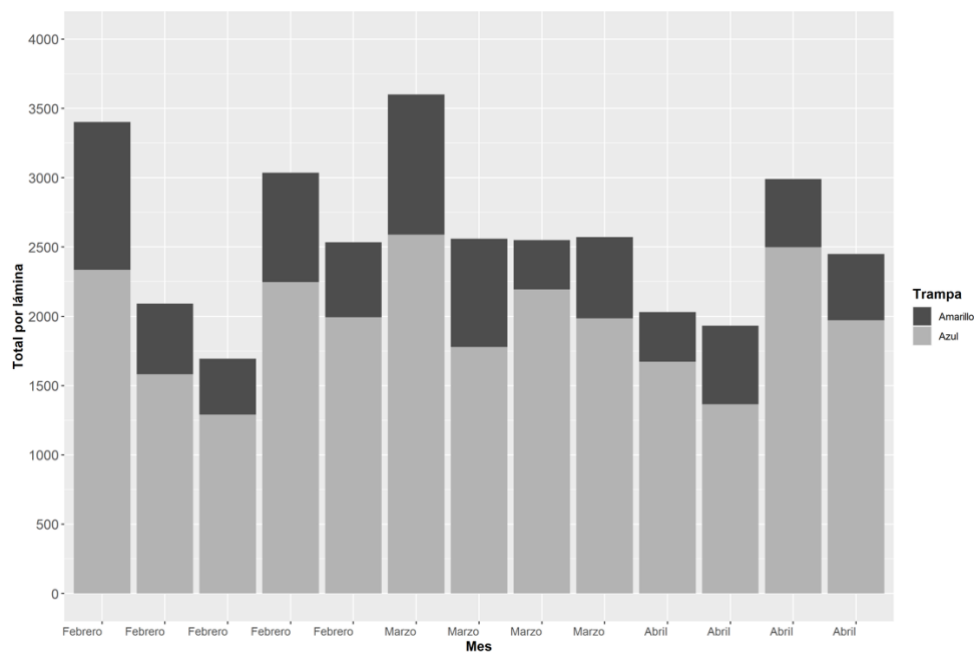
**Figura 23.** Trampa pegajosa azules y principales trips asociados al cultivo de aguacate.

Los trips capturados en las trampas pegajosas fueron contados y se enviaron muestras al Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional y al Centro de Investigación en Estructuras Macroscópicas (CIEMIC) de la Universidad de Costa Rica, para la caracterización de trips presente en la finca de aguacate de la finca ubicada en Orotina fue la *Franklinella gardenie*.



**Figura 24.** Toma de muestras de las trampas pegajosas conteo e identificación de los trips asociados al aguacate en la finca de Orotina.

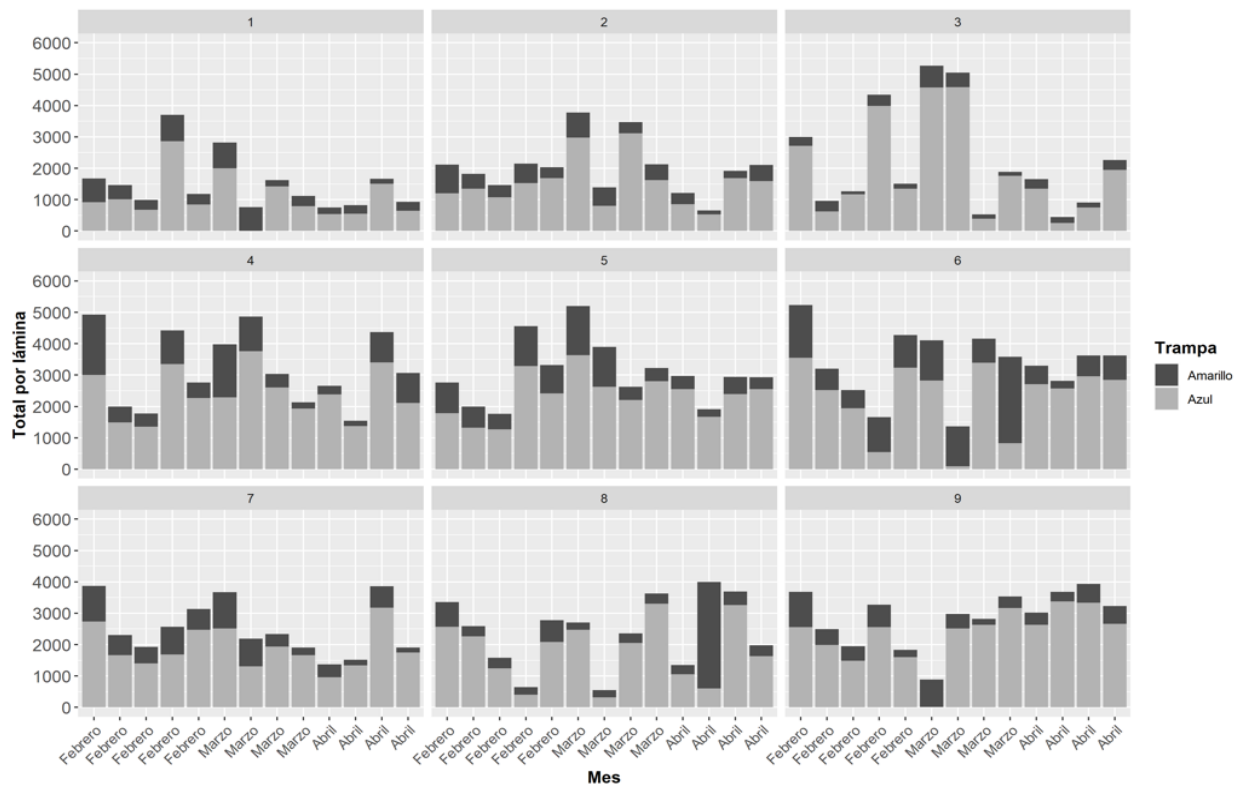
El conteo de trips en las trampas pegajosas durante el mes de marzo al mes de abril se capturó una mayor población de trips en la primera semana de febrero y la primera semana de marzo. Las trampas azules fueron más efectivas en atracción por los trips que las trampas amarillas (figura 23).



**Figura 25.** Conteo general de trips general por semana en total de las trampas pegajosas amarillas y azules.

La colocación de las trampas pegajosas no tuvo efecto en la cantidad de trips capturados en la plantación durante los meses de estudio, de manera que el conteo por cantidad de trips capturados por trampa fue muy similar (figura 26).

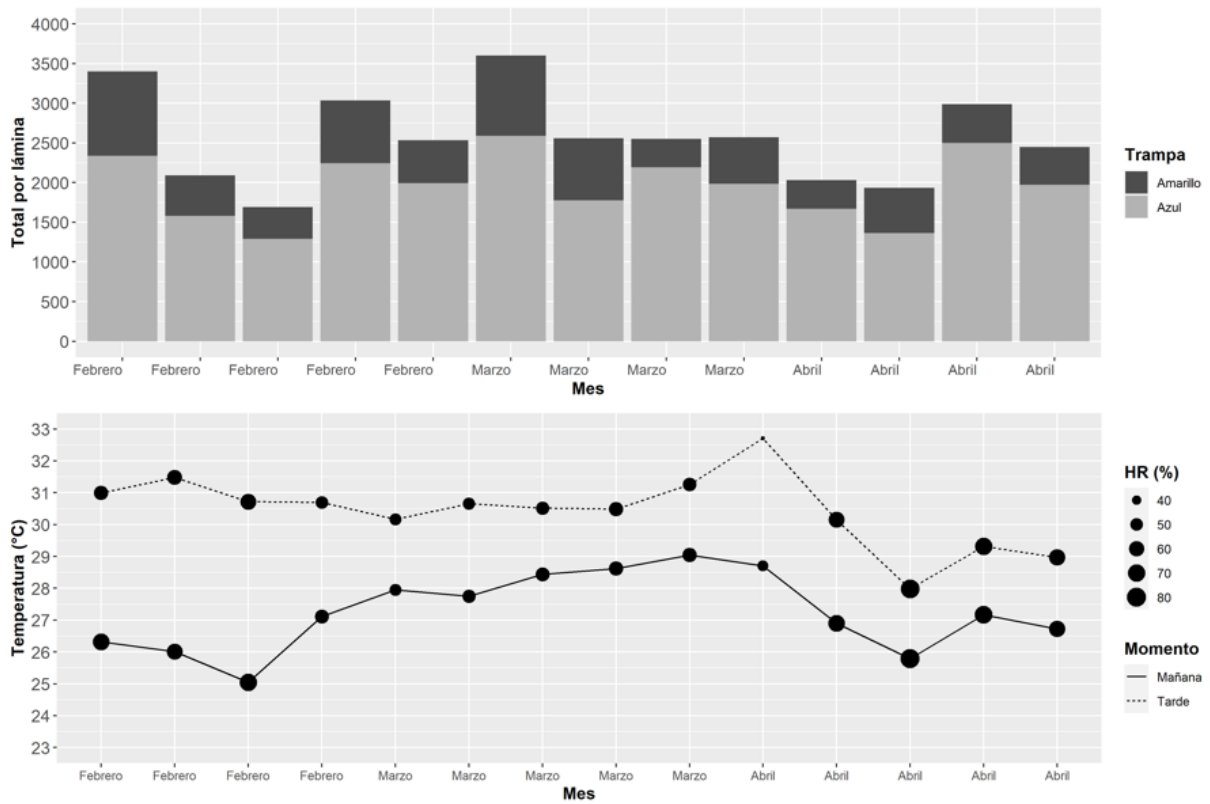




**Figura 26.** Conteo de trips de trampa azul y amarilla/mes.

El comportamiento de los trips se mantuvo constante en la última semana de marzo hasta la primera semana de abril, se determinó que en horas de la mañana y la tarde de las mismas semanas se mantuvo una temperatura relativamente superior por la tarde y por la mañana varía al menos 3 °C más, de manera que se puede determinar que la actividad de los trips se mantuvo constante debido a los factores antes mencionados.

En el momento de la aplicación la primera semana de marzo la temperatura por la mañana fue de 30 °C, y por la tarde 2 °C menos en promedio. Además, el mismo comportamiento constante se obtuvo para la humedad relativa, el cual se mantuvo por cinco semanas hasta principio de abril. A inicios de febrero la plantación estuvo en floración por lo que se hubo un pico en el contenido de trips en las trampas pegajosas.



**Figura 27.** Relación de la temperatura y humedad con la población de trips.

En el campo se realizó la evaluación de la severidad de trips en aguacates, con base en una escala de afectación del trips en la fruta (figura 28), basándome en la escala teórica planteada en la metodología para la clasificación de esta (Calderón, 2016). Se evaluaron las dos variedades por separado.

En la figura 28-A muestra un aguacate en estado uno sin afectación por trips, en la figura 28-B se muestra una deformación ligera de la afectación por trips el cual se clasifica como aguacate en estado dos y en la figura 28-C se aprecia una afectación en deformación severa por trips, el cual se clasifica en estado tres, donde representa pérdida del fruto para el productor.

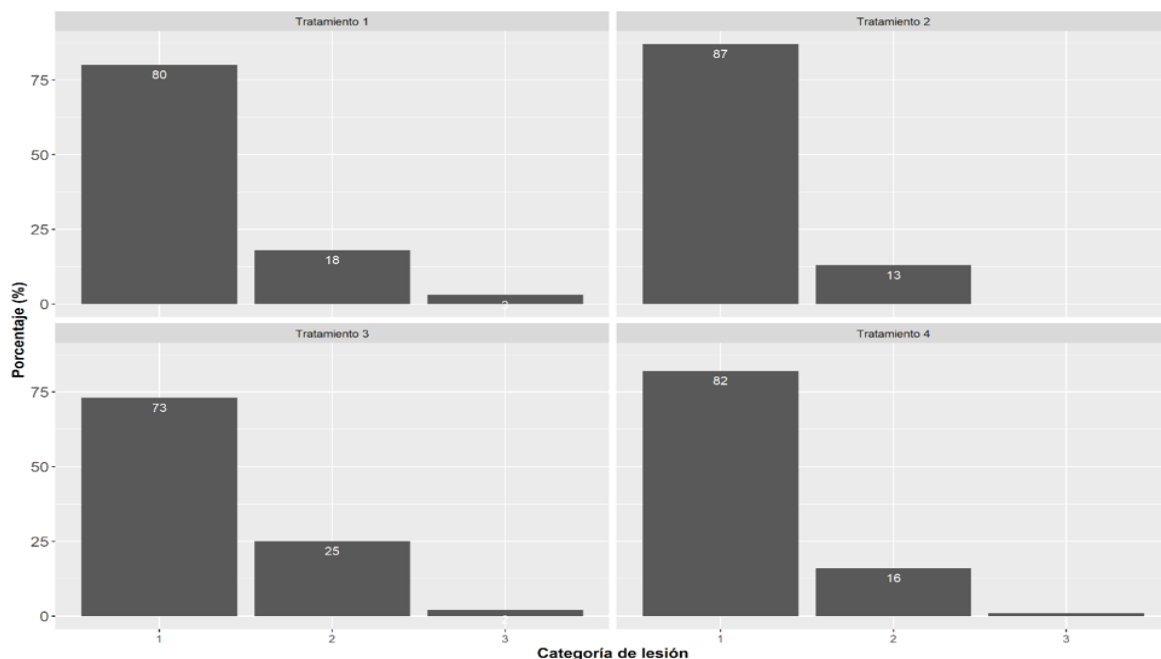


**Figura 28.** Escala de severidad de la afectación de trips en el aguacate.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Evaluación de la severidad de trips en los aguacates de la variedad Simmons

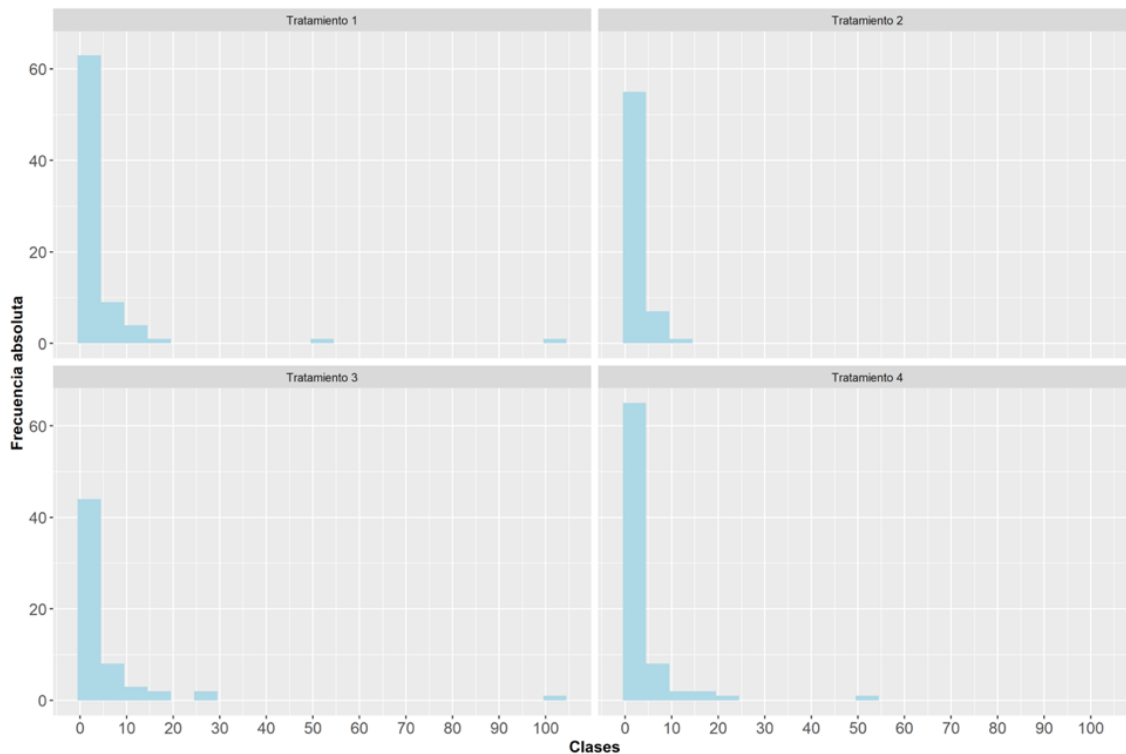
El Tratamiento dos presenta un comportamiento favorable en cuanto a que el 87% de aguacates en estado uno (figura 28-A), seguidamente el Tratamiento dos de igual forma presenta una gran cantidad de aguacates en estado uno, de igual manera no presentó aguacate en estado tres (figura 28-B y 29). El 1% de aguacates afectado por el estado tres de afectación (figura 28-C) fue el Tratamiento cuatro Surround, no obstante, los demás tratamientos tuvieron un porcentaje de afectación mínima.



**Figura 29.** Distribución de frecuencias para la variable incidencia de trips por categorías para cada tratamiento en la variedad Simmons.

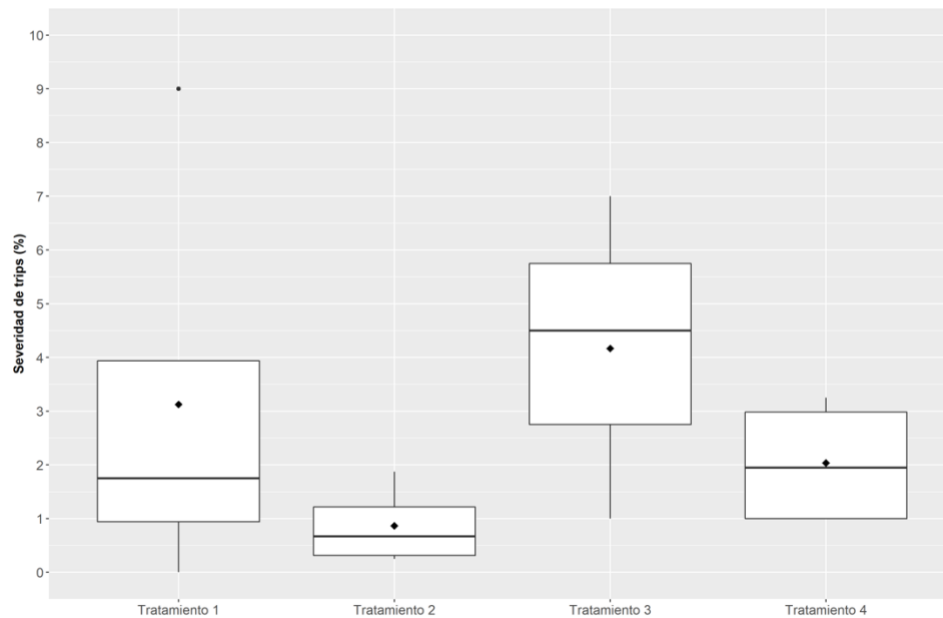
En la caracterización de la severidad de trips en el aguacate se obtuvo un efecto positivo de manera que un gran porcentaje de aguacates no presentó afectación por este fenómeno, dentro de los tratamientos que se obtuvo este resultado son los tratamientos uno, dos y cuatro, no obstante, el tratamiento uno y tres tuvo presentes aguacates con el 100% de afectación de estrías provocadas por trips, el cual es pérdida de distribución comercial para el productor.

Dentro de los resultados obtenidos se determina que no hubo un efecto repelente ante la aplicación de los tratamientos a base de quitosano, presentó un comportamiento similar al producto comercial (figura 30).



**Figura 30.** Histograma para la variable severidad por afectaciones de trips para cada tratamiento para la variedad Simmons.

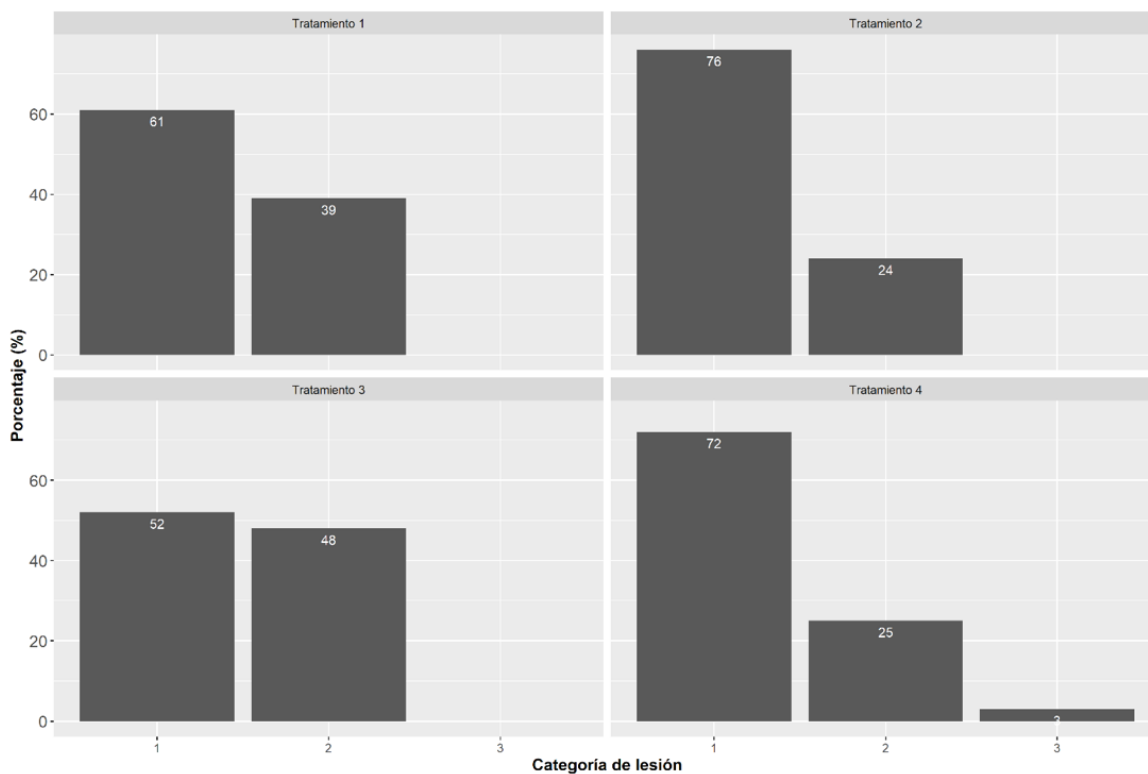
A partir del análisis de varianza (anexo 7), se concluye que no existe evidencia significativa ( $p < 0,05$ ) para rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias para los tratamientos para la variable severidad de trips. Los valores de las medias son muy similares según el análisis de varianza plasmado en el gráfico de cajas.



**Figura 31.** Gráfico de cajas para la variable severidad por afectaciones de trips para cada tratamiento para la variedad Simmons.

#### **4.7 Evaluación de la severidad de trips en los aguacates de la variedad Gato**

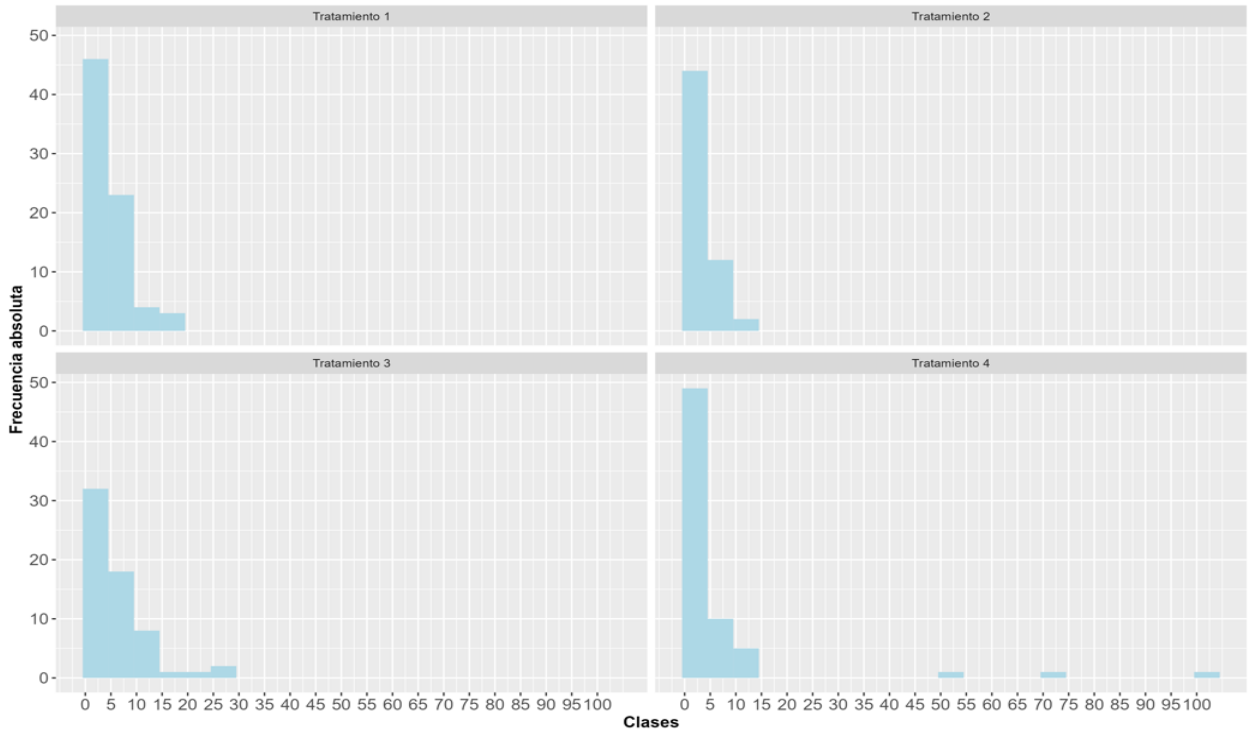
La variedad Gato obtuvo una menor afectación en cuanto a aguacates en estado de afectación tres (fig. 28-C) en comparación a la variedad Simmons debido a que posiblemente los aguacates de la variedad Gato evaluados eran más pequeños en cuanto a crecimiento. Sin embargo, el Tratamiento dos y cuatro obtuvieron entre un 76 y 72% de aguacates en estado de afectación uno (fig. 28-A) sin ninguna afectación, solamente el tratamiento del producto comercial presentó un 3% de los aguacates en estado de afectación tres. El Tratamiento tres tuvo un mayor porcentaje de aguacate en estado de afectación dos (fig. 28-B) seguido por el Tratamiento uno.



**Figura 32.** Distribución de frecuencias para la variable incidencia de trips por categorías para cada tratamiento en la variedad Gato

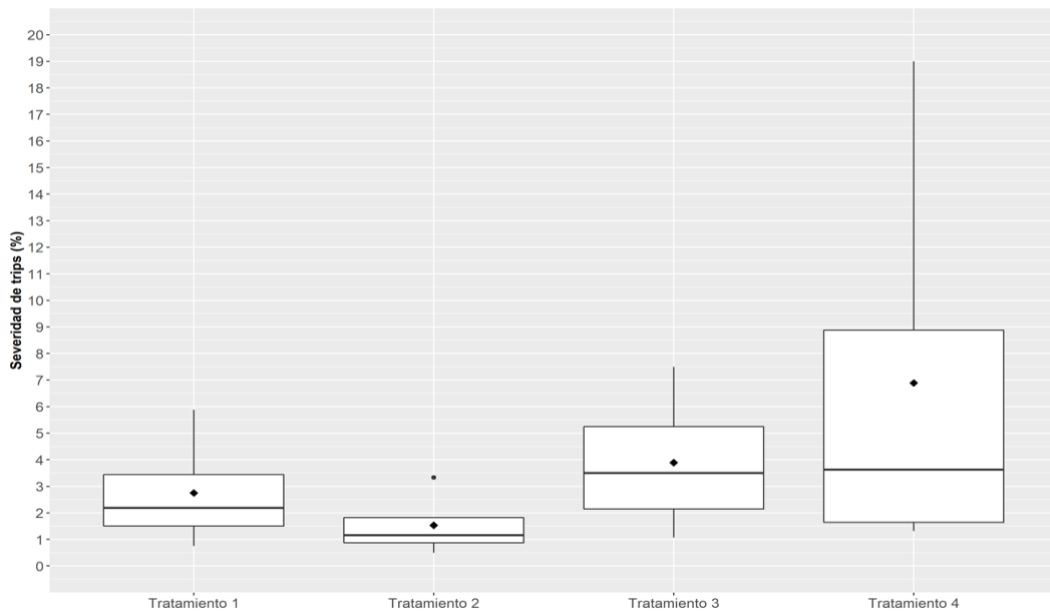
La caracterización de la severidad de trips obtuvo un comportamiento similar a la variedad Simmons ya que hubo gran porcentaje de aguacates sin ninguna afectación en los Tratamientos uno, dos y cuatro. El Tratamiento uno y tres tuvo aguacates con el 100% de afectación de estrías provocadas por trips, el cual es pérdida comercial para el productor. Además, un porcentaje muy pequeño en condición de afectación de un 50% de la fruta como lo presenta el Tratamiento uno y cuatro.

De igual manera la emulsión no tuvo repercusión en la población ante la acción de repeler los trips, ya que todos los aguacates presentaron daños por este insecto, como se observa en el histograma (figura 33) no hubo diferenciación en el porcentaje de afectación de la severidad de los trips ante el tratamiento comercial.



**Figura 33.** Histograma para la variable severidad por afectaciones de trips para cada tratamiento para la variedad Gato

A partir del análisis de varianza (anexo 10), se concluye que no existe evidencia significativa ( $p < 0,05$ ) para rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias para los tratamientos para la variable severidad de trips.



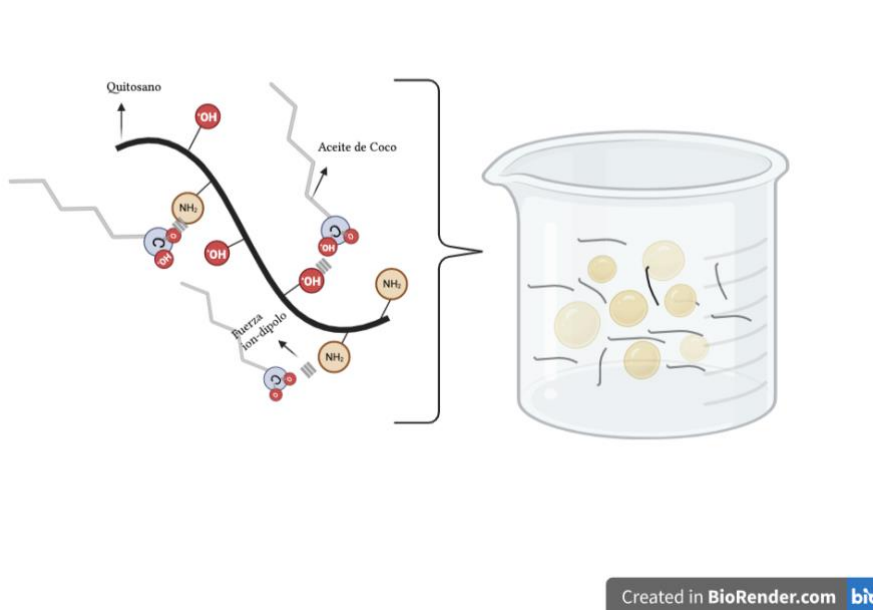
**Figura 34.** Gráfico de cajas para la variable severidad por afectaciones de trips para cada tratamiento para la variedad Gato

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Formulación y tratamientos de los bioprotectores a base de quitosano.

El quitosano es un polímero que se obtiene por medio de un tratamiento químico llamado desacetilación de la quitina, el cual se obtiene del caparazón de los crustáceos (Mármol et al, 2011). Para este estudio, el quitosano resultante presentó un grado de desacetilación de 57-60% y un peso molecular de 136 KDa. El uso del quitosano es variado; en particular, en la agricultura se ha usado como fuente de estudio para estabilizar emulsiones y/o dispersiones de diferentes sustancias y ser aplicadas en campo formando una red tridimensional de un polímero estable (Ramín, Yan, Weiping, Yaping, Zhenshun, Wei & Bin, 2015).

Una de las aplicaciones del quitosano es como emulsificante y dispersante de partículas y sustancias orgánicas. Por ejemplo, en este estudio se logró la dispersión de partículas como caolín y sustancias orgánicas como aceite de coco. Los grupos amino cargados positivamente ( $\text{NH}_2$ ) en la molécula de quitosano interactúan con la superficie aniónica de caolín, por medio de interacciones electrostáticas. Por otro lado, los grupos carboxilos del aceite de coco interactúan mediante puentes de hidrógeno con la macromolécula de quitosano constituida con grupos tanto amina como hidroxilos. Por tanto, ambos fenómenos de interacción contribuyen a una mejor dispersión y estabilidad de ambos compuestos (aceite de coco y caolín) en medios acuosos. En la figura 35 se esquematizan las posibles interacciones entre los materiales empleados (Cavazos, Galindo y Facio, 2020; Mármol et al., 2011; Wang y Heuzey, 2016).

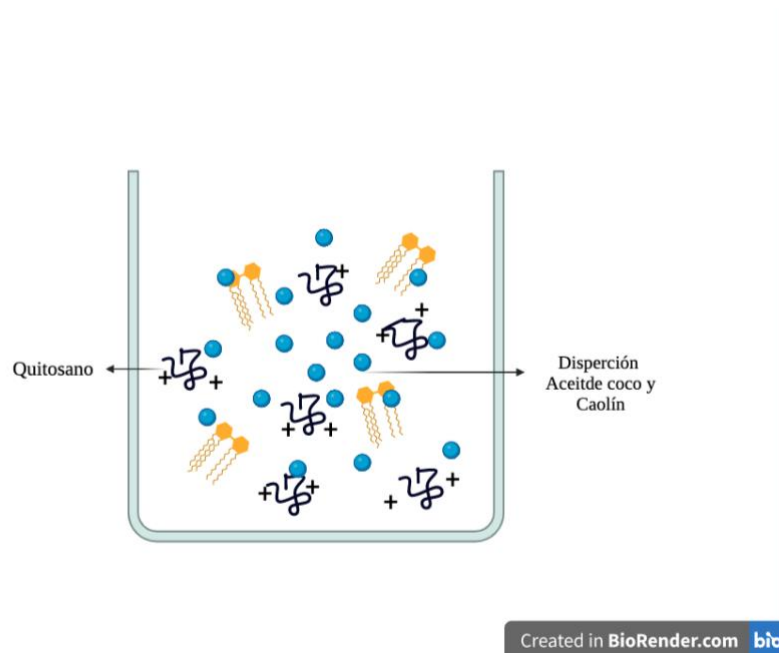


**Figura 35.** Interacción de solución y dispersión a pH 4.



Como parte de los resultados, se observó que la disolución de quitosano y las dispersiones formadas presentaban una viscosidad mayor a las de disolvente. Wang y Clause (2016) han evidenciado que a pH 4 la viscosidad de la dispersión es ligeramente mayor debido a que la conformación de la cadena polimérica posee un mayor tamaño. Esto se puede explicar en términos de una mayor protonación de los grupos amino de las cadenas de quitosano que inducen a que estas se expandan debido a la repulsión electrostática.

Dependiendo del pH de la disolución de quitosano la interacción electrostática entre las cadenas de polímero, y el caolín puede variar. Cuando el pH de la disolución del quitosano aumenta (pH= 5) la estructura del polímero tiende a variar desde una microestructura extendida a una condensada o particulada debido a la reducción de las cargas positivas que inducen la repulsión electrostática. Este comportamiento ha sido reportado por Jeffry Badilla (POLIUNA) para disoluciones de quitosano de peso molecular similar a este estudio y grado de desacetilación superior al 70% (J. Badilla comunicación personal, 22 noviembre 2022). De tal manera, aunque las interacciones electrostáticas se ven reducidas, a pH 5, éstas siguen estando disponibles para la estabilización del caolín y del aceite de coco, tal y como se representa en la siguiente figura 36.

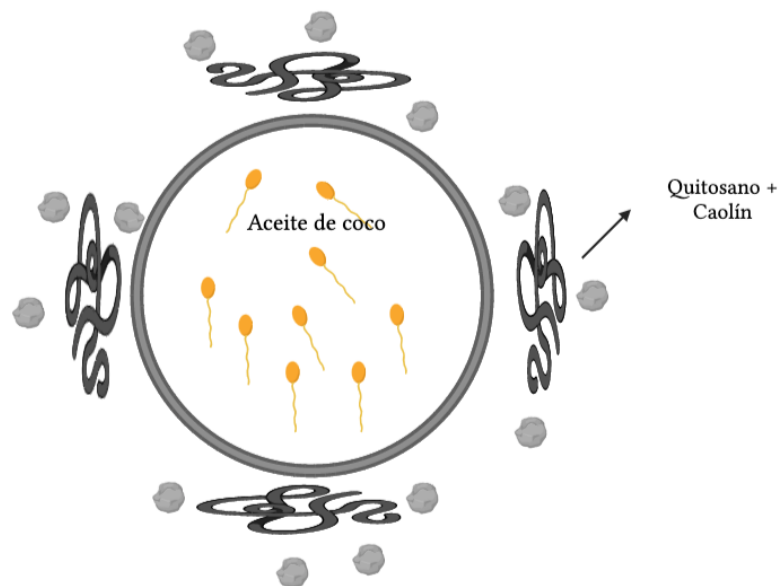


**Figura 36.** Comportamiento del quitosano en la disolución y dispersión a pH 5.

Asimismo, de acuerdo Wang et al. (2015), el quitosano funciona como emulsificante interaccionando tanto con las partículas de caolín, así como con aceite de coco aumentado la resistencia a la coalescencia. Cuando la disolución de quitosano a pH 5 se mezcló con caolín y aceite de coco en las proporciones planteadas en la metodología (figura 7) los resultados mostraron un

comportamiento más favorable en términos de estabilidad de la dispersión que ha pH 4. De acuerdo con la literatura, la estabilidad de la emulsión podría explicarse en términos de que las partículas sólidas de caolín y de polímero se aglomeran en la interfase de la gota de aceite- en agua (Wang & Heuzey; Jin et al., 2015).

La micro estructuración en la interfase de gota está sustentada por las interacciones iónicas entre los grupos amina cargados positivamente del quitosano y las cargas negativas del aceite de coco. (Ramint et al.,2015). La interacción polímero/caolín podría brindar cierta estabilidad a las gotas de aceite de coco para la formación de la emulsión. La estructuración del sistema se podría representar de la siguiente manera.



Created in BioRender.com 

**Figura 37.** Propuesta esquemática de la emulsión a base de quitosano, aceite de coco y caolín.

## **5.2 Quema solar en la parcela de aguacate en la zona de Orotina y el uso de protectores solares naturales para minimizar el impacto solar en cultivos agrícolas**

La diversidad climática, el cual presenta variantes de temperatura y acompañado a estos rayos UV, donde se llegan a obtener puntos máximos de fotones fotosintéticos como los datos reportados en la investigación (figura 27). De acuerdo con Taiz y Zeiger (2006), el cultivo de aguacate

fisiológicamente puede sufrir modificaciones como alteración en la tasa de oxígeno, provocando alteraciones en los fotosistemas. Por ende, las altas tasas de radiación en el país provocan quema solar como se reportaron en la mayoría de los resultados evaluados, de manera que el uso de sombras o protectores foliares contribuyen a reducir el impacto generado por el clima en la producción de aguacate (Castro, 2018).

Elizondo y Siézar (2016) mencionan que el fotosistema al no estar funcionando de manera óptima, provocan que la planta no aproveche fotoquímicamente la radiación de manera que genera una fotoinhibición. De acuerdo con los autores esto podría explicar el resultado de la quema solar en fruto y hojas, de manera que la temperatura en la zona de Orotina (figura 27) en el mes de febrero rondó entre los 30 a 32 °C y en las primeras aplicaciones de la emulsión la temperatura tuvo un comportamiento constante de 31 °C y en la primera semana de abril donde fue aplicada la segunda aplicación hubo un pico de 33 °C de temperatura.

Los frutales como lo es el cultivo de aguacate al estar expuestos a las condiciones adversas ambientales como lo son las variantes de temperaturas y radiación solar en particular la radiación ultravioleta, evidentemente se pueden expresar anomalías en los frutos como los daños reportados en los resultados, según Fischer y Rodríguez (2012) reportan que el exceso de energía cuántica absorbida producto de la radiación ultravioleta penetra por entre las células e induce a lesiones agudas como la quema en la fruta.

Por otro lado, García et al. (2016), han reportado que los cambios climáticos presentes en la zona de Orotina son variantes en cuando a temperaturas ( $\geq 30$  °C), y radiación ultravioleta, los cuales pueden provocar modificaciones en el funcionamiento celular del aguacate, afectando la calidad de los frutos en términos de calidad y apariencia. Por ejemplo, la quema solar en la piel del fruto como lo muestran los resultados obtenidos.

Distintos estudios mencionan que los mecanismos de resistencia apoyados generalmente por formulaciones de distintas sustancias naturales afines para el objetivo de contrarrestar la afectación por la incidencia de los rayos ultravioletas como menciona Fischer y Rodríguez (2012), sin embargo, ningún estudio es específico para el cultivo de aguacate, no obstante, la cantidad de sustancias que actúan como filtro solar contra las condiciones climáticas en los cultivos son múltiples más adelante, según el estudio de Ramírez (2007), generado en Costa Rica en el cultivo de piña, prueban diferentes métodos evaluados en campo para contrarrestar la quema solar en este cultivo.

Uno de los componentes de los tratamientos que se utilizó es aceite de coco, sin embargo, existen distintos aceites naturales obtenidos de distintas fuentes como por ejemplo el aceite de almendra, olivo

y cacahuete, según Tapia (como se citó en Lucero, 2019) contienen propiedades antioxidantes que ayudan a la filtración de rayos UV, lo cual tienen la capacidad de absorber hasta el 90% de la radiación solar.

En la variedad Simmons y Gato cuando fueron sometidas al Tratamiento uno, se puede observar que las condiciones de afectación son similares. En la figura 15 y 18 ambas variedades presentan aguacates con afectación grado uno o sin afectación (figura 14), pocos aguacates presentaron un grado de afectación. Estos resultados demuestran que la mezcla de los productos posee características de protección ante los rayos UV (Lucero, 2019). Sin embargo, el Tratamiento uno presentó un problema a la hora de aplicar la mezcla, los tres componentes de este tratamiento al aplicarse al aguacate se evidenció una inadecuada impregnación, la cual puede ser explicado en términos de una alta densidad de la suspensión que dificultó la impregnación en la frutas y hojas (figura 8). A pesar de este previsto en ambas variedades el resultado de variable de severidad de quema solar resultó en una gran cantidad de aguacates con una afectación de un 0-5% el cual es relativamente bajo o nulo (FAO, 2019).

De igual manera los resultados del Tratamiento tres, comparte las mismas condiciones que el Tratamiento uno. El resultado obtenido demuestra una mayor frecuencia de aguacates en estado de afectación dos (figura 15) con una afectación en grado de severidad de 5% de la cantidad de aguacates con afectación del 25% de la cascara (Figura 16).

En cuanto al Tratamiento dos y cuatro, ambos presentaron buena impregnación a la hora de la aplicación en campo debido a que el caolín tiene buenas características de recubrimiento. Panimboza (como cito Lucero, 2019) corroboran que la aplicación de caolinita sobre el fruto genera una capa blanquecina que ayuda a dispensar el espectro de radiación. En base a los resultados el recubrimiento con caolín y con el producto comercial Surround WP presentaron gran cantidad de aguacate en estado de afectación uno, además de sanos en su totalidad y con poca afectación en aguacate en estado de afectación tres.

Se identificó que el aguacate sufrió quema solar y estos resultados son respaldados por los datos estadísticos del presente estudio. Las pruebas de laboratorio con las dispersiones formuladas no resultaron diferencias significativas, por la baja adherencia de la dispersión sobre la superficie de aguacate. De acuerdo con Piñero, Santos, Cayado, García y Alfaro (2017) las formulaciones estudiadas podrían ser optimizadas incorporando en la mezcla tensoactivos adicionales para mejorar la dispersión de los componentes y lograr una mejor adherencia durante la aplicación.

Por otro lado, se ha reportado que la adición de caolinita en las formulaciones podría generar ciertas desventajas como bioprotector natural para protección de frutos y plantas, debido a que implica

una etapa de lavado adicional para removerlo que repercute en un incremento en los costos de producción. Por tanto, la búsqueda de nuevas alternativas de productos como los elaborados en este trabajo para contrarrestar la quema solar en fruto y plantas son de potencial interés (BioAmerica S.A, s. f).

### **5.3 Efecto bioprotector a base de aceites naturales y quitosano sobre la incidencia de trips y posibles lesiones sobre frutos de aguacate en edad temprana**

La presencia de trips en la investigación fue constante de manera que el cultivo de aguacate es uno de los hospederos de los trips cuando están en la etapa floral, sin embargo, al no estar el cultivo en floración, los trips se hospedan en plantas arvenses aledañas al cultivo como menciona Calderón (2016), ha reportado plantas como Lechuguilla, Campanilla, Trebolillo, Mielcilla, Estrellita y Mozote son hospederos de trips del género *Frankliniella* spp., cuyo generó está presente además en la plantación de aguacate.

De acuerdo con Calderón (2016), el ciclo de vida de estos insectos es corto, alrededor de 9 a 16 días, además, se registra que la actividad y población de trips es mayor en el mes de marzo a junio. Según los resultados obtenidos, hubo más captura en el mes de marzo en las trampas pegajosas, lo cual concuerda con los datos reportados por Calderón (2016), temperaturas de 25 a 30 °C favorece el desarrollo de huevo a adulto de 20 a 16 días, respectivamente. De tal manera, tomando en cuenta las condiciones de temperatura en el sitio donde se desarrolló el estudio (27 a 29°C), las poblaciones de trips pudieron haber aumentado en número y ser retenidas en las trampas instaladas (Calderón, 2016).

Según la fluctuación de la temperatura cada 16 días había formación de huevo a adultos en el cultivo de aguacate, la primera aplicación fue el 4 de marzo y la última aplicación fue el 7 de abril fueron 34 días, transcurridos por lo que en ese tiempo transcurrieron, según Erazo (2010) y Hoodle aproximadamente dos ciclos de vida de la población de trips y más el tiempo que se duró a la cosecha para la evaluación de quema solar en el aguacate.

La afectación de los trips en la epidermis de los aguacates como muestran los resultados según el análisis de varianza todos los tratamientos sufrieron afectación por trips; Betanzos, Mojica, Hernández, Naime y Román (1999) comparte que estas afectaciones son resultado de su alimentación generando áreas pálidas y cafés, además de corrugaciones en la misma epidermis lo cual perjudica el valor comercial del aguacate en el mercado.

Los productos químicos para el manejo de esta plaga son muy limitados, a nivel nacional como internacionalmente, existe muchos estudios de investigación para alternativas al manejo de esta plaga,

de la misma manera que el estudio realizado en la utilización de aceites esenciales combinándolos con otros productos ejercen respuesta efectiva ante la repelencia de trips. Bravo (2019) reporta que los componentes de los aceites esenciales como el aceite de coco utilizado poseen un efecto sinérgico y al mezclarlos con otros materiales ejercen una respuesta positiva para reducir la bioactividad de los trips en este caso.

De acuerdo con un estudio elaborado por López (2012), indica que los compuestos orgánicos elaborados con aceites esenciales en su estado natural pueden tener una acción indicativa ante la respuesta neurotóxica contra los insectos, generando una inserción en el exoesqueleto incrementando su permeabilidad exponiendo potencialmente su integridad ante otros compuestos más tóxicos. Por otra parte, Baños, Lauzardo, del Valle, Molina y Domínguez (2005), indican que el quitosano tiene potencial en la agricultura, puede ejercerse a futuro como posible repelente sobre trips en aguacate. En el presente trabajo de graduación los resultados brindados por captura y conteo de la población de trips en la plantación indican que todos los tratamientos en ambas variedades sufrieron picadura y deformación por los trips. Además, los resultados muestran que los tratamientos no presentan diferencias estadísticamente significativas.

## 6. CONCLUSIONES

A la hora de la formulación de las dispersiones a base de quitosano se debe tomar en cuenta parámetros como lo es la concentración de esta y valores de pH para facilitar la estabilización de la dispersión con respecto al aceite de coco y al caolín, además las interacciones entre los grupos funcionales de los distintos componentes utilizados juegan un papel importante en esa misma estabilidad en la formulación de los bioprotectores.

Independientemente los tratamientos evaluados basada en la variable severidad de quema solar todos trabajaron de manera similar por lo que las dispersiones a base de quitosano con aceite de coco y caolín tuvieron incidencia de reducción del golpe de sol en el cultivo de aguacate.

Las diferentes formulaciones conteniendo quitosano con aceite de coco y caolín en cuanto a la variable incidencia de trips en el cultivo de aguacate, no tiene efecto atrayente a los trips por lo que es una buena opción para manejar la quema solar por golpe de sol y no atrayente de plagas.

## **7. RECOMENDACIONES**

Para la preparación de las emulsiones y dispersiones se puede utilizar procesamientos mecánicos como la sonicación para mejor la dispersión de los materiales. Además, para la elaboración de emulsiones basadas en quitosano se recomienda emplear compuestos tensoactivos adicionales de acción emulsificante.

Se recomienda realizar un mayor número de aplicaciones de las formulaciones en el campo para contemplar mejor ambos objetivos tanto la quema solar en el aguacate y la respuesta ante la incidencia de la población de trips en el cultivo.

Para mejorar la aplicación de los distintos tratamientos en cuanto a la aplicación directa en campo se pueden utilizar coadyuvantes adherentes como para asegurar un recubrimiento total del producto aplicado sobre la cutícula del aguacate.



## 8. REFERENCIAS

- Álvarez Bravo, A., Salazar García, S., Ruiz Corral, J. A., y Medina G., G. (2017). Scenarios of how climate change will modify the 'Hass' avocado producing areas in Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, p. 4035-4048.
- Avilán, L., Soto, E., Pérez, M., Marín, C., Rodríguez, M., Ruiz, J. (2009). Comportamiento fenológico de la raza antillana de aguacate en la región centro-norte costera de Venezuela. *Agronomía Tropical* 59(1). Recuperado de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2009000100001](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000100001)
- Agüero, P, H., Ramírez, A, M., y Peniche, C. (2015). El quitosano y el impacto en la agricultura. *Ciencia y Tecnología de Polímeros*. 109 (701). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5114420>
- Barquero, M. (2015). *Estudio del CNP descarta escasez de aguacate en Costa Rica*. Obtenido de Nación: <https://www.nacion.com/economia/consumo/estudio-del-cnp-descarta-escasez-de-aguacate-en-costa-rica/B5NF2JN2EBHBTKCN6N62H5GJTE/story/>
- Baíza Avelar, V. H. (2003). Guía técnica del cultivo del aguacate. Nueva San Salvador, Salvador. *Programa Nacional de Frutas de el Salvador*. Recuperado de <http://repiica.iica.int/DOCS/B0218E/B0218E.PDF>
- Baños, B, S., Lauzardo, A. H., Velázquez, M. G., Molina, E., B., y Domínguez, S., D. (2005). Quitosano: Una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(1),1-6. ISSN: 1665-0204 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=813/81370102>
- Bravo, P., A. (2019). Efecto insecticida del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y altamisa (*Franseria artemisioides*) contra el kcona kcona (*Eurysacca melanocampta*) del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* willd.). (Tesis de Licenciatura). Cuenca, Ecuador. 64 p.

- Baños, B. S., Lauzardo A. N., del Valle, M. G., Molina B. E. y Domínguez, S. D. (2005). Quitosano: Una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortifrúctícolas. *Revista Científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal. (redalyc.org)*, 7 (1). 1-6. B
- Barra, A., Romero. A. y Beltramino. J. (2012). *Obtención de quitosano*. Pcia. De Santa Cruz, Argentina. Sitio Argentino de Producción. Recuperado de [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/173-Quitosano.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/173-Quitosano.pdf)
- BioAmerica S.A. (s.f). La importancia del uso de un protector solar innovador para plantas. BioAmerica Paine, Santiago-Chile. Recuperado de <https://www.bioamerica.cl>
- BioRender (2023). Medical and scientific illustration of National Geographic. BioRender, Toronto-Canadá. Recuperado de <https://biorender.com/features/>
- Brenes, A. (2018). *Piña de Costa Rica*. Obtenido de Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEP): <https://canapep.com/revistas/pina-de-cr-28.pdf>
- Betanzos, G. A., Mojica, B. H., Hernández, G. H., Naime, R. M. y Román, A. M. (1999). Fluctuación poblacional y daño de Trips en Aguacate CV. Hass. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Volumen 5 (291-296). Recuperado de [https://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4\\_p291.pdf](https://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p291.pdf)
- Bosch, S. M. y Vincent, C. (2019). Physiological mechanisms underlying fruit sunburn. *critical reviews in plant sciences*, 38:2, 140-157, DOI: 10.1080/07352689.2019.1613320.
- Castro P. N. (2018). *Efectos de un bloqueador solar a base de aceite vegetal sobre variables morfofisiológicas del cultivo de la piña*. (Tesis de Licenciatura). Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, C.R
- Carrasco, L, R. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en la plantas. *Indesia*, 27(3). p 59-76. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292009000300009](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292009000300009)

- Calderón, E. B. (2017). Investigación y desarrollo de un protector solar empleando como ingrediente activo los agentes antioxidantes en extractos de guayusa (*Ilex guayusa* Loes) (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito USFQ. Quito, Colombia.
- Cavazos, E. K., Galindo, A. S., y Facio A. O. (2020). Películas de quitosano propiedades y aplicaciones. Dialnet, Vol. 77 (591), 203-208. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7763092>
- Calderón, P. S., (2016). *Plan de Manejo de Trips en el Cultivo de Aguacate Hass*. Costa Rica, San José: INTA C387p. Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/B4226e/B4226e.pdf>
- Chabbal M, D., Piccoli A, B., Martínez G, C., Avanza, M., Mazza S, M., Rodríguez V, A. (2014). Aplicación de caolín para el control del golpe de sol en mandarina 'Okitsu'. *Cultivos Tropicales*, vol. 35(1), p. 50-56. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n1/ctr07114.pdf>
- Chávez Felipe, N. B., Gutiérrez Marco, V. S. (2017). Respuesta por el estrés en los cultivos II. Tolerancia y Tratamiento Agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 28(1), p. 255-271. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n1/43748637021.pdf>
- Chang, P, T., Lee, T., Tsai, M., (2013). Comparison of paper bags, calcium carbonate, and shade Nets for sunscald protection in 'Murcott' tangor fruit. *HortTechnology, American Society for Horticulture Science*, 23 (5). pp. 659-667. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.5.659>
- Colavita, G, M., Blackhall, V., y Valdez, S. (2011). Efecto de las películas de partículas de caolín en la temperatura y lesión solar de las frutas de pera. *Acta Hort.* 909, pp. 609-615 DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.909.73>
- Delgado A., Girot O. (2018). Política nacional al cambio climático de Costa Rica. Recuperado de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:my4qwas11FAJ:www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No%2520DE41091/Version1/Politica\\_ADAPTACION\\_24\\_abril.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cr&client=safari](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:my4qwas11FAJ:www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No%2520DE41091/Version1/Politica_ADAPTACION_24_abril.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cr&client=safari)
- De Oliveira, J. L., Campos, E. V. R., Pereira, A. E. S., Nunes, L. E. S., Da Silva, C. C. L., Pasquoto, T., ... Fraceto, L. F. (2018). Geraniol Encapsulated in Chitosan/Gum Arabic Nanoparticles: A Promising System for Pest Management in Sustainable Agriculture. *Journal of Agricultural and*

*Food Chemistry*, 66(21), 5325–5334. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00331>

- Días, R. (2012). La importancia del uso de protectores solares para el cuidado de cultivos hortofrutícolas. Obtenido de Portal Frutícola: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2012/10/10/la-importancia-del-uso-de-protectores-solares-para-el-cuidado-de-cultivos-hortofruticolas/>
- Erazo, L. G. (2010). Efecto de la temperatura en el trips *Pseudophilothrips ichini* (Phlaeothripidae), un agente potencial de control biológico de *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae) en Florida. (Tesis de Pregrado). Zaramo, Honduras.
- FAO. (2020). Las principales frutas tropicales análisis del mercado 2018. Roma. *Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*. <http://www.fao.org/3/ca5692es/CA5692ES.pdf>
- FAO. (2019). Normas para Aceites Vegetales Especificados. *Organizaciones de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*. [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B210-1999%252FCXS\\_210s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B210-1999%252FCXS_210s.pdf)
- Fischer, G., Rodríguez, J. O. (Ed.). (2012). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Bogotá, Colombia: Produmedios. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Fischer-2/publication/256680949\\_Ecofisiologia\\_en\\_frutales/links/595bc76eaca272f3c0888349/Ecofisiologia-en-frutales.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Fischer-2/publication/256680949_Ecofisiologia_en_frutales/links/595bc76eaca272f3c0888349/Ecofisiologia-en-frutales.pdf)
- García M. S. (s.f). Aguacate de bajura. Costa Rica: Municipalidad de Abangares. Recuperado de <http://www.abangares.go.cr/index.php/mn-gestionmunicipal/descubre-abangares/aguacate-de-bajura>
- García, S. S., Carrillo, M. R. y Bravo A. A. (2016). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate ‘Hass’. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 17(13). 2565-2575 Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000902565&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000902565&lng=pt&nrm=iso).

- Garbanzo Solís, M. (2011). *Manual de aguacate, Buenas prácticas de cultivo*. Obtenido de Ministerio Agricultura y Ganadería: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-4259.pdf>
- Gerbarb, F., Rodríguez, J. O. (2012). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Produmedios, Bogotá. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Fischer-2/publication/256680949\\_Ecofisiologia\\_en\\_frutales/links/595bc76eaca272f3c0888349/Ecofisiologia-en-frutales.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Fischer-2/publication/256680949_Ecofisiologia_en_frutales/links/595bc76eaca272f3c0888349/Ecofisiologia-en-frutales.pdf)
- Gabriel Paulraj, M., Ignacimuthu, S., Gandhi, M. R., Shajahan, A., Ganesan, P., Packiam, S. M., & Al-Dhabi, N. A. (2017). Comparative studies of tripolyphosphate and glutaraldehyde cross-linked chitosan-botanical pesticide nanoparticles and their agricultural applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 1813–1819. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.043>
- González, H., Méndez, R. A., Valle De La Paz, A.R. y González, R. M. 1999. Selección de trampas de color y fluctuación poblacional de trips del aguacate en Michoacán, México. *Revista Chapingo* 5:287-290.
- Herrera, M. C., González, Z. G., Núñez, S. J (2019). *Estudio sobre el sector productivo de aguacate hass en la Zona de los Santos, Costa Rica; y el efecto que produce en el mercado costarricense la importación de aguacate hass y otras variedades provenientes de Chile, Nicaragua y Perú, periodo 2014-2017*. (Tesis pregrado). Universidad Técnica Nacional, Costa Rica.
- Lolicato, S. (2011). Sun protection fruit. Retrieved from State Government Victoria: <http://mvcitrus.org.au/mvcb/wp-content/uploads/2012/09/Sun-Protection-Manual-for-Fruit.pdf>
- López, P. E. (2012). Plaguicidas botánicos: una alternativa a tener en cuenta. *Revista Científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. ([redalyc.org](http://redalyc.org)), 16 (1), 51-59.
- Lucero, T. J. 2019. Evaluación del potencial de los aceites esenciales de Albahaca (*Ocimum basilicum*), Caléndula (*Calendula officinalis*) y Manzanilla (*Matricaria chamomilla*) y sus mezclas como fotoprotectores (Tesis de Doctoral). Universidad de Cuenca, Ecuador.

- MAG y IICA. (2019). Plan Nacional del Fortalecimiento del Sector Agropecuario. Costa Rica. *Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E14-11087.pdf>
- Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Aurajo, K., Aiello, C., Chandler C., y Gutiérrez, E. (2011). Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU-Universidad Rafael Urdaneta*. pp 53-58. ISSN: 2244 - 775X. Recuperado de: <http://revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/rtcuro/n1/art06.pdf>
- Mora Montero, J., & Acuña Chávez, J. (2015). *Curso de producción de aguacate de bajura realizado en el Pacífico Central de Costa Rica*. Obtenido de Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10790.pdf>
- NovaSource. (2019). Surround<sup>R</sup> protector de cultivos. Estados Unidos, Phoenix. NovaSource. Obtenida de [https://www.novasource.com/es/Documents/Products/Surround/Citrus,TF,%20Vines/Surround\\_PI\\_SPAN\\_apple%20PH\\_02-2010.pdf](https://www.novasource.com/es/Documents/Products/Surround/Citrus,TF,%20Vines/Surround_PI_SPAN_apple%20PH_02-2010.pdf)
- O. Girot, P., & Alonso Delgado, I. (2018). *Política nacional de adaptación al cambio climático de Costa Rica (2018-2030)*. Obtenido de Procuraduría General de la República de Costa Rica: [http://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No%20DE-41091/Version1/Politica\\_ADAPTACION\\_24\\_abril.pdf](http://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No%20DE-41091/Version1/Politica_ADAPTACION_24_abril.pdf)
- Pérez, A. S., Ávila, Q. G., Coto, A. O. (2015). El aguacatero (*Persea americana Mill*). *Cultivos Tropicales*. 36(2). p.p 111-123. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193239249016.pdf>
- Piñero, M.J., Santos, J., Cayado, L. A., García, M. C. y Alfaro, M. C. (2018). Influencia del tensoactivo en la formación y estabilidad física de emulsiones ecológicas concentradas. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry, IQS. Vol (75, No. 581)*, pp-pp 9-15. Recuperado de <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/335957>
- Quispe, G., T. (2018). Efecto insecticida del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y altamisa (*Franseria artemisioides*) contra el kcona kcona (*Eurysacca melanocampta*) del

- cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* willd). (Tesis Ingeniero Químico). Puno, Perú. Universidad Nacional del Altiplano. 124.
- Razek, E., y Saleh, M. (2013) Effect of sun-block materials on preventing sunburn injury of Keitt mango fruits. *Journal of Applied Sciences Research*, 19(1), pp. 567-571.
- Ramírez E., F. (2007). Efectividad de siete métodos de protección de la fruta de piña contra los rayos solares durante la etapa de maduración (*Ananas comosus*) (L.) Merr híbrido MD-2. (Tesis de Bachiller). Escuela de Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Alajuela, San Carlos, Costa Rica.
- Ramín, S. B., Yan, L., Weiping, J., Yaping, A., Lei, H., Zhenshun, L. & Wei, X. (201). Preparation and optimization of Pickering emulsion stabilized by chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for curcumin encapsulation. *Food Hydrocolloids* 52 (2016) 369e377 doi 10.1016/j.foodhyd.2015.07.015
- Rodríguez C., M. (2003). *Guía técnica del cultivo de aguacate*. Obtenido de Centro Nacional de Tecnología Agropecuario y Forestal: <http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20aguacate%202003.pdf>
- Rodríguez, O., S. (2008). Propuesta de acciones y proyectos para incrementar la cobertura vegetal en la ciudad de Orotina [Archivo PDF]. Recuperado de [https://muniorotina.go.cr/media/attachments/2019/11/06/Plan\\_arborizacion\\_Orotina.pdf](https://muniorotina.go.cr/media/attachments/2019/11/06/Plan_arborizacion_Orotina.pdf)
- Romero, M, S. (2012). *Comportamiento fisiológico del aguacate (Persea americana mill.) Variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima*. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Ruíz, M., G., Lozano, C., G., Latorre, J., P. y Maffioli, G. (2017). Carboxilatos naturales de *Olea europaea* L. para el control de hemípteros, tetraníquidos y trips en cultivos hortícolas. *Dialnet*. 1131(287)-pp 60-65.
- Schrader, L., E. (2011). Scientific basis of a unique formulation for reducing sunburn of fruits. *HortScience, American Society for Horticulture Science*, 46(1). pp 6-11. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.1.6>

- SICA. (2015). Sistema de Integración Centroamericana. Costa Rica. *Estudio del CNP descarta escasez de aguacate en Costa Rica*. Recuperado de <https://www.sica.int/consulta/Noticia.aspx?Idn=95282&idm=1>
- Silvia, S. S., Rodrigues, L. C., Fernandes E. M., Gómez J. M., Vilas-Boas, A., Pirraco, R. P. y Reis R. L. (2020). Approach on chitosan/virgin coconut oil-based emulsion matrices as a T platform to design superabsorbent materials. *Carbohydrate Polymers*. 249(116839). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116839>
- Simone S. Silva, Luísa C. Rodrigues, Emanuel M. Fernandes, Joana M. Gomes, Angela Vilas-Boas, Rogério P. Pirraco, Rui L. Reis. (2020) Approach on chitosan/virgin coconut oil-based emulsion matrices as a platform to design superabsorbent materials. *Carbohydrate Polymers* 249 (2020) 116839
- Taiz, L., Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal*. Castellano de la Plana: Publicacions de la Universitar Jaume I, D.L. Traducción de *Plant Phyfiology*, 6.edicion. Recuperado de <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FisiologiaVegetalVolumenII%20espanhol.pdf>
- Varón, E., D., Barrero, F., Santos, O., A., Monje, B., Salamanca, J. (s.f). Extractos vegetales para el control de trips en maracuyá [Archivo PDF]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Jordano\\_Salamanca/publication/323319076\\_Extractos\\_vegetales\\_para\\_el\\_control\\_de\\_trips\\_en\\_maracuya/links/5a8d9c10aca272c56bc3270c/Extractos-vegetales-para-el-control-de-trips-en-maracuya.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jordano_Salamanca/publication/323319076_Extractos_vegetales_para_el_control_de_trips_en_maracuya/links/5a8d9c10aca272c56bc3270c/Extractos-vegetales-para-el-control-de-trips-en-maracuya.pdf)
- Vargas, M., Martínez, G., Chiralt, A., Cháfer, M. (2010). Quitosano: una alternativa natural y sostenible para la conservación de frutas y hortalizas. Instituto Universitario de ingeniería de alimentos para el desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de [https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2010/ix-congreso/cd-actas/p1-calidad-agroalimentaria\\_PDF/1-7-quitosano-vargas.pdf](https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2010/ix-congreso/cd-actas/p1-calidad-agroalimentaria_PDF/1-7-quitosano-vargas.pdf)
- Velázquez, C, L. (2008). Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *UDO Agrícola*, 8(1). pp. 22. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/216597815\\_Algunas\\_potencialidades\\_de\\_la\\_quitina\\_y\\_el\\_quitosano\\_para\\_usos\\_relacionados\\_con\\_la\\_agricultura\\_en\\_Latinoamerica](https://www.researchgate.net/publication/216597815_Algunas_potencialidades_de_la_quitina_y_el_quitosano_para_usos_relacionados_con_la_agricultura_en_Latinoamerica)



- Velásquez, C. L. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química*, 1(2),15-21. *Avances en Química*. ISSN: 1856-5301. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=933/93310204>
- Wang, X. Y., y Clause, M. C. (2016). Chitosan-Based Conventional and Pickering Emulsions with Long-Term Stability. *Langmuir*, 32(4), 929-936 doi 10.1021 / acs.langmuir.5b0355.

## 9. ANEXOS

**Anexo 1.** Distribución de frecuencias para el grado del estado de la quema solar de los aguacates según su tratamiento para la variedad Simmons.

<b>Tratamiento</b>	<b>Categorías</b>	<b>Frecuencia absoluta</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>FAA*</b>	<b>FRA**</b>
Tratamiento 1	1	63	0,80	63	0,80
	2	16	0,20	79	1,00
Tratamiento 3	1	37	0,62	37	0,62
	2	23	0,38	60	1,00
Tratamiento 2	1	52	0,83	52	0,83
	2	11	0,17	63	1,00
Tratamiento 4	1	56	0,71	56	0,71
	2	23	0,29	79	1,00

\*FAA=Frecuencia absoluta acumulada \*\*Frecuencia relativa acumulada

**Anexo 2.** Medidas de resumen para la severidad de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Simmons.

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Tratamiento 1	1,65	0,78	0,25	3,50
Tratamiento 2	1,08	0,26	0,33	1,50
Tratamiento 3	3,50	0,95	2,00	5,25
Tratamiento 4	2,44	0,85	0,53	4,50

**Anexo 3.** Análisis de varianza para la severidad de la quema de sol para la variedad Simmons.

• **Análisis de varianza para severidad de quema en la variedad Simmons**

**Resultados para el modelo: mlm.modelo.002\_Sev\_Q\_REML**

Variable dependiente: Sev\_Q

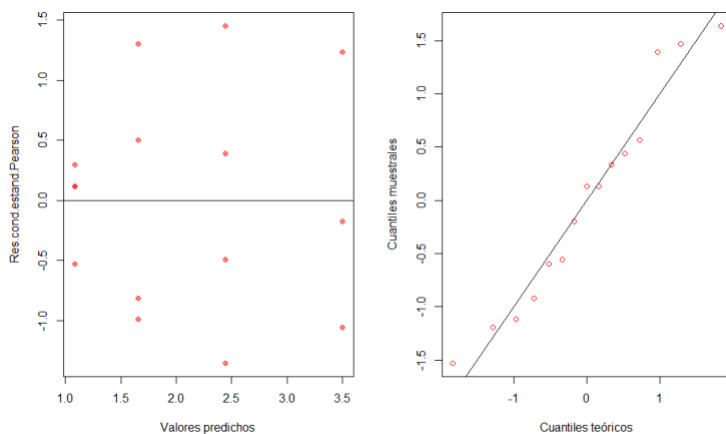
**Medidas de ajuste del modelo**

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
15	54,14	56,13	-22,07	1,42	0,34

AIC y BIC menores implica mejor

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	34,66	0,0001
Tratamiento	3	1,87	0,1927



**Anexo 4.** Distribución de frecuencias para la incidencia de quema de sol según escala para cada tratamiento en la variedad Gato

Tratamiento	Categorías	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	FAA*	FRA**
Tratamiento 1	1	53	0,70	53	0,70
	2	23	0,30	76	1,00
Tratamiento 2	1	31	0,53	31	0,53
	2	27	0,47	58	1,00
Tratamiento 3	1	33	0,53	33	0,53
	2	28	0,45	61	0,98
	3	1	0,02	62	1,00
Tratamiento 4	1	53	0,79	53	0,79
	2	14	0,21	67	1,00

\*FAA=Frecuencia absoluta acumulada \*\*Frecuencia relativa acumulada.

**Anexo 5.** Medidas de resumen para la severidad de quema de sol para cada tratamiento para la variedad Gato

Tratamiento	Media	Error estándar	Mínimo	Máximo
Tratamiento 1	1,84	0,41	1,00	2,89
Tratamiento 2	2,39	0,78	1,00	3,95
Tratamiento 3	3,40	0,97	0,50	4,64
Tratamiento 4	2,11	0,74	1,05	4,25

**Anexo 6.** Análisis de varianza para la severidad de la quema de sol para la variedad Gato.

• **Análisis de varianza para severidad de quema de sol en la variedad Gato**

**Resultados para el modelo:**

*Variable dependiente: Severidad quema*

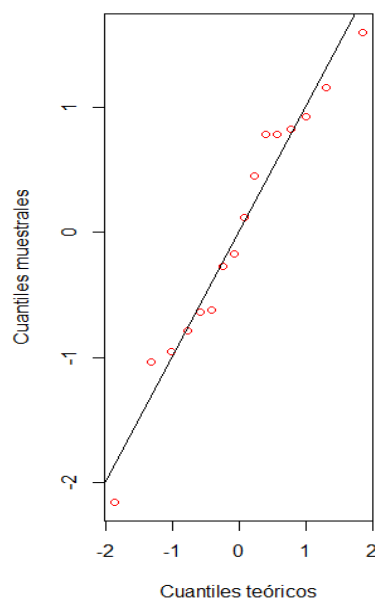
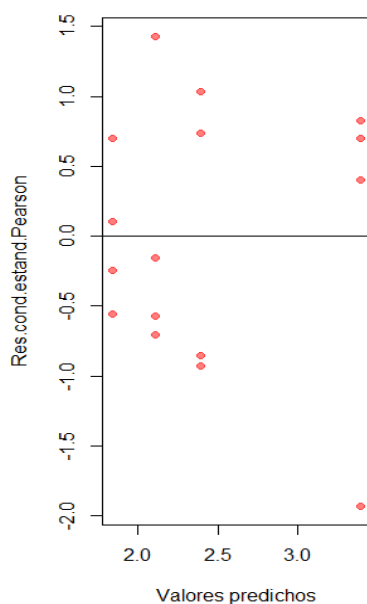
**Medidas de ajuste del modelo**

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2
16	59,38	61,80	-24,69	1,50	0,17

*AIC y BIC menores implica mejor*

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	41,96	<0,0001
Trat	3	0,82	0,5080



**Anexo 7.** Distribución de frecuencias para la incidencia de trips según escala de afectación para cada tratamiento en la variedad Simmons.

Tratamiento	Categorías	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	FAA*	FRA**
Tratamiento 1	1	63	0,80	63	0,80
	2	14	0,18	77	0,97
	3	2	0,03	79	1,00
Tratamiento 3	1	44	0,73	44	0,73
	2	15	0,25	59	0,98
	3	1	0,02	60	1,00
Tratamiento 2	1	55	0,87	55	0,87
	2	8	0,13	63	1,00
Tratamiento 4	1	65	0,82	65	0,82
	2	13	0,16	78	0,99
	3	1	0,01	79	1,00

\*FAA=Frecuencia absoluta acumulada \*\*Frecuencia relativa acumulada

**Anexo 8.** Medidas de resumen para la severidad de trips para cada tratamiento para la variedad Simmons.

Tratamiento	Media	Error estándar	Mínimo	Máximo
Tratamiento 1	3,13	2,01	0,00	9,00
Tratamiento 2	0,86	0,38	0,25	1,88
Tratamiento 3	4,17	1,74	1,00	7,00
Tratamiento 4	2,04	0,60	1,00	3,25

**Anexo 9.** Análisis de varianza para la severidad de afectación de trips para la variedad Simmons.

- Análisis de varianza para severidad de trips en la variedad Simmons**

**Resultados para el modelo:**

*Variable dependiente: Severidad trips*

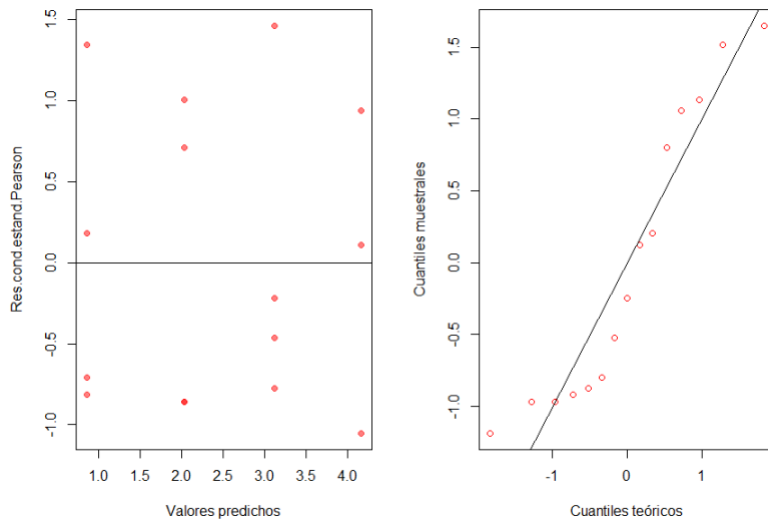
**Medidas de ajuste del modelo**

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
15	64,65	67,84	-24,33	4,02	0,23

*AIC y BIC menores implica mejor*

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	13,71	0,0035
Tratamiento	3	2,12	0,1558



**Anexo 10.** Distribución de frecuencias para la incidencia de trips según escala de afectación para cada tratamiento en la variedad Gato

<b>Tratamiento</b>	<b>Categorías</b>	<b>Frecuencia absoluta</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>FAA*</b>	<b>FRA**</b>
Tratamiento 1	1	46	0,61	46	0,61
	2	30	0,39	76	1,00
Tratamiento 2	1	44	0,76	44	0,76
	2	14	0,24	58	1,00
Tratamiento 3	1	32	0,52	32	0,52
	2	30	0,48	62	1,00
Tratamiento 4	1	48	0,72	48	0,72
	2	17	0,25	65	0,97
	3	2	0,03	67	1,00

\*FAA=Frecuencia absoluta acumulada \*\*Frecuencia relativa acumulada

**Anexo 11.** Medidas de resumen para la severidad de trips para cada tratamiento para la variedad Gato

<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Tratamiento 1	2,75	1,11	0,75	5,88
Tratamiento 2	1,54	0,62	0,50	3,33
Tratamiento 3	3,89	1,39	1,07	7,50
Tratamiento 4	6,89	4,14	1,32	19,00

**Anexo 12.** Análisis de varianza para la severidad de afectación de trips para la variedad Simmons.

• **Análisis de varianza para severidad de trips en la variedad Gato**

**Resultados para el modelo: mlm.modelo.003\_Sev\_T\_REML**

Variable dependiente: Severidad trips

**Medidas de ajuste del modelo**

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
16	76,65	79,56	-32,32	0,78	0,20

AIC y BIC menores implica mejor

**Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)**

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	10,91	0,0063
Trat	3	1,30	0,3198

**Estructura de varianzas**

Modelo de varianzas: varExp

Formula: ~ fitted(.)

Parámetros de la función de varianza

Parámetro	Estim
expon	0,34

