



Efecto de la polinización asistida,
la fertilización balanceada y el Quitosano
en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*)

Juan José Reyes Pérez
Jean Paul Chong-Qui Cedeño

Efecto de la polinización asistida, la fertilización balanceada y el Quitosano en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*)

Efecto de la polinización asistida,
la fertilización balanceada y el Quitosano
en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*)

Juan José Reyes Pérez
Jean Paul Chong-Qui Cedeño



Efecto de la polinización asistida,
la fertilización balanceada y el Quitosano en
el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*)

© Juan José Reyes Pérez
Jean Paul Chong-Qui Cedeño
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

2021,
Publicado por acuerdo con los autores.
© 2021, Editorial Grupo Compás
Guayaquil-Ecuador

Grupo Compás apoya la protección del copyright, cada uno de sus textos han sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Editado en Guayaquil - Ecuador
Primera edición

ISBN: 978-9942-33-497-8



Cita.

Reyes, J., Chong-Qui, J. (2021) Efecto de la polinización asistida, la fertilización balanceada y el Quitosano en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*). Editorial Grupo Compás.

INTRODUCCIÓN

La palma aceitera es uno de los principales cultivos en el país debido a los múltiples usos de esta planta sobre todo como biocombustible. Se cultiva principalmente en la provincia de Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Santo Domingo y las provincias Orientales de Sucumbíos y Orellana (Macas & Chiriguay, 2017). La palma aceitera presenta algunas limitantes en su producción relacionadas con problemas en la conformación del fruto, que van desde un llenado y maduración irregular de los frutos, debido a que el proceso de apertura de los botones forales es asincrónico, hasta la pérdida parcial o total del racimo por una deficiente polinización, asociada a la baja viabilidad del polen (Rosero & Santacruz, 2014). Se observa a menudo, especialmente en palmeras jóvenes, una mala fructificación, que se debe a una polinización natural insuficiente, como consecuencia bien sea de un bajo número de inflorescencias masculinas en anthesis o mala diseminación del polen (Díaz-Oviedo, 2020).

Una vez que la palma llega al momento de la cosecha se va a tener racimos que no estén polinizados al 100% lo cual afecta directamente al llenado de fruto y por ende perdería un poco de peso y de aceite para su extracción, ya que al momento que la planta comience a parir las flores femeninas no logran ser polinizadas por completo puesto que los encargados de la polinización son los insectos

camerunicum. Estos insectos no llegan a polinizar todas las flores para su llenado del racimo, ya que, por diferentes factores, se ve afectada su presencia en las unidades de producción. Por tal motivo al usar y ayudar a la floración con el uso de polinización asistida mejorará y se obtendrá un mejor llenado del racimo aportando a un mayor grado de polinización de las flores, lo que permite una mejor producción y aprovechamiento del racimo (Sierra-Márquez, Sierra-Márquez, & Olivero-Verb, 2017).

Por lo estipulado anteriormente, mediante la determinación del efecto de la polinización asistida, fertilización balanceada y el Quitosano en el cultivo de palma aceitera, se puede constituir una alternativa que promueve el incremento de la polinización en el cultivo de palma aceitera a fin de incrementar los niveles de rendimiento tanto unitario como por hectárea.

Uno de los factores que inciden en los bajos niveles en la productividad de palma aceitera es la falta de uniformidad en la floración, lo que conlleva a menor formación de frutas y por ende menor peso por racimos. Este problema, no solo tiene un carácter entomológico, sino también genético y nutricional. Una de las alternativas para paliar este problema es la aplicación de polinizaciones asistidas, que garantizan la floración. Sin embargo, mismo que la polinización asistida se presenta como una válvula de escape ante esto, desconsiderar a la fertilización

balanceada como parte del manejo integrado sería caer en el error de que una única variable nos permitiría manejar el problema. La fertilización en fincas de agricultores, en su gran mayoría se basa en recomendaciones empíricas, sin un sustento técnico que garantice que los nutrientes lleguen al tejido u órgano objetivo, provocando de esta manera no solo pérdidas económicas por el mal uso de los recursos, sino que la planta no estaría siendo nutrida adecuadamente.

La falta de uniformidad en la floración del cultivo de palma, puede llegar a causar entre el 35 al 40% de pérdidas de fruta aprovechable, representando una merma considerable en términos económicos. Esta situación afecta directamente a la sostenibilidad de los sistemas productivos, puesto que solamente se aprovecha parte del rendimiento potencial del cultivo. A esto se suma el problema de la fertilización empírica del cultivo, lo que condiciona significativamente los procesos de floración y fructificación, ya que no aporta los elementos necesarios para la formación y ocurrencia de estas estructuras. Esto obliga a los productores a la exploración de técnicas de manejo que permitan aumentar los índices de aprovechamiento de fruta de palma aceitera.

La aplicación de la polinización asistida es de suma importancia ya que permite obtener una mejor producción

al obtener un mejor llenado de racimo ya que todas las flores están polinizadas y ayudará a un mayor ingreso para el agricultor al momento de vender su fruta por la razón que obtendrá un mayor peso y por ende más toneladas por hectárea para generar un mejor ingreso para su capital y alcanzando a obtener su cultivo en muy buena producción.

GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PALMA ACEITERA

Son nativas del Occidente de África Ecuatorial, donde se conoce que los nativos ya realizaban la extracción de su aceite hace 5 mil años. Su hábitat natural son las regiones tropicales calurosas, donde crece de mejor manera y puede alcanzar su altura máxima. Es una planta perenne y de tardío y largo rendimiento, su vida productiva dura más de 50 años, aunque a partir de los 25 años el problema es el cultivar los frutos por su altura que puede llegar a ser de 20 metros. La producción inicia a partir de los 2 a 2.5 años de edad de la planta; las etapas iniciales después de la siembra son las de mayor cuidado para evitar enfermedades que pueden presentarse incluso años después (Terán, 2013).

La palma aceitera es una planta monocotiledónea, del orden Palmales, familia Palmáceas genero *Elaeis*. Es monoica, y su apariencia es la de un árbol, esbelto cuyo

tallo llega a los 25 m de altura y está coronado por hojas largas y arqueadas (Ruperto, 2005).

En el género *Elaeis*, como es el caso de las monocotiledóneas, el sistema radicular es de forma fasciculada –crece formando haces- con gran desarrollo de raíces primarias que parten del bulbo de la base del tallo en forma radial en ángulo de 45° respecto a la vertical, profundizando hasta 50 cm. En el suelo, su longitud varía desde uno a quince metros, por consistencia y disposición aseguran el anclaje de la planta. Las raíces primarias casi no tienen capacidad de absorción (Marroquín, 2016).

Las raíces secundarias de menor diámetro, son algo más absorbentes en la porción próxima a su inserción en las primarias y su función principal es la de servir de base a las raíces terciaria (10 cm de longitud) y esta a su vez a las cuaternarias (no más de 5 mm). Estos dos últimos tipos de raíces son los que conforman la cabellera de absorción de agua y nutrientes para la planta (Gutiérrez-Soto, Torres-Acuña, & Araya-Alfaro, 2014).

Las raíces secundarias tienen la particularidad de crecer en su mayoría hacia arriba, con su grupo de terciarias y cuaternarias, buscando el nivel próximo a la superficie del suelo, de donde la planta obtiene nutrientes, este conocimiento es importante para la aplicación de los fertilizantes (Ruperto, 2005).

El tallo o tronco de la palma aceitera se desarrolla en tres a cuatro años, una vez que ha tenido lugar la mayor parte del crecimiento horizontal del sistema radicular. Luego de sembrada la palma en campo definitivo se inicia la formación de un órgano voluminoso en la base del tallo que es el bulbo, que origina el ensanchamiento en la base del tronco y sirve de asiento a la columna del tallo (Marroquín, 2016).

Al otro extremo del bulbo, en el ápice del tallo se encuentra la yema vegetativa o meristemo apical, que es el punto de crecimiento del tallo, de forma cónica enclavada en la corona de la planta, formada por el tejido tierno de las hojas jóvenes que emergen en número de 45 a 50 (Castro, 2012).

Las bases de inserción de los peciolos que permanecen vivos por largo tiempo, forman gruesas escamas que dan al árbol su aspecto característico; al morir éstas, caen dejando al tallo desnudo con un color oscuro, liso y adelgazado, cosa que puede apreciarse en plantas muy viejas (Cortés *et al.*, 2017).

En una planta adulta, el tallo está coronado por un penacho de hojas con una longitud entre 5 y 8 metros y un peso de 5 a 8 kilos, cada una. Aparenta ser una hoja

compuesta, aunque en realidad es una hoja pinnada, (con foliolos dispuestos como pluma, a cada lado del pecíolo) y consta de dos partes: el raquis y el pecíolo. A uno y otro lado del raquis existen de 100 a 160 pares de foliolos dispuestos en diferentes planos, correspondiendo el tercio central de la hoja a los más largos (1.2 m.). Esta irregular disposición de los foliolos marca una de las características distintivas de la especie *Elaeis guineensis* (Ruperto, 2005).

Las flores se presentan en espigas aglomeradas en un gran espádice (espata que protege a una inflorescencia de flores unisexuales) que se desarrolla en la axila de la hoja. Esta inflorescencia puede ser masculina o femenina. En la palma aceitera las flores masculinas y femeninas, no obstante, están en una misma planta, van colocadas en inflorescencias diferentes (Cortés *et al.*, 2017).

A esta diferencia en espacio, se suma una diferencia en tiempo, ya que el polen está formado y dispuesto en tanto que el estigma no está apto para recibirlo porque no ha llegado a su madurez. Por esta característica la palma aceitera es una planta proterandra, es decir, que sus estambres maduran y poseen polen antes de que el estigma sea apto para recibirlo, fenómeno que evita la auto polinización, no son raras las anomalías florales que

producen caso de hermafroditismo (Labarca, Portillo, & Narváez, 2007).

La inflorescencia masculina está formada por un eje central, del que salen ramilla o espigas llamadas dedos, cilíndricos y largos, con un total de 500 a 1500 flores estaminadas que se asientan directamente en el raquis de la espiga, dispuestas en espiral. Las anteras producen abundante polen con un característico olor a anís. La inflorescencia femenina es un racimo globoso, de apariencia más maciza que la masculina, sostenido por un pedúnculo fibroso y grueso, lleva al centro un raquis esférico en el que se insertan numerosas ramillas o espigas, cada una con 6 a 12 flores. La flor femenina presenta un ovario esférico que es tricarpelar (con tres cavidades), conteniendo un ovulo cada una, dicho ovario esta coronado por un estigma trífido cuyas caras vueltas hacia fuera están cubiertas por papilas receptoras del polen (Ibarra-Ruales & Reyes-Cuesta, 2015).

Uno de los óvulos es fecundado, los otros tienden a desaparecer, el ovario al comienzo tiene un crecimiento rápido, para más adelante terminar su crecimiento y constituirse en una drupa que consta de un exocarpio o cascara, del mesocarpio o pulpa que es de donde se obtiene el aceite e interiormente de un endocarpio, que junto con la almendra constituyen la semilla. El fruto ya

desarrollado adopta varias formas según su posición en el racimo y su coloración exterior varía de negro a rojo (Lizarazo-Salcedo & Alfonso-Carvajal, 2011).

Un racimo bien constituido sobrepasa los 25 kilos y contiene gran cantidad de frutos de buena conformación. Las características de los frutos son las siguientes: frutos normales (frutos internos y frutos externos) son aquellos que tienen forma un poco redonda, color zapote (por la presencia de aceite en su pulpa) y además tienen nuez en su interior. Los frutos partenocárpicos son aquellos que tienen forma ovalada, color zapote (por la presencia de aceite en su pulpa) y no tienen nuez en su interior (Labarca, Portillo, & Narváez, 2007).

Los frutos abortados son aquellos que tienen forma ovalada, blancos (únicamente contienen agua en su pulpa) y no tienen nuez en su interior. En la figura 2.5 se muestran la forma de los frutos que se encuentran en los racimos de palma aceitera (Ruperto, 2005).

Según Zambrano (2016), con el propósito de uniformizar la realización de los análisis de racimos, se presenta a continuación una descripción de los componentes importantes del racimo de palma aceitera:

- **Pedúnculo:** eje central del racimo donde van soportadas las espigas del fruto.

- **Espigas:** soporte donde se encuentra adheridos los frutos y flores abortadas.
- **Frutos:** estos se pueden clasificar en frutos normales, (externos e internos), partenocárpicos.
- **Frutos externos:** frutos ubicados en la parte apical de la espiga de coloración rojiza e intensa. Normalmente corresponden a las 3 o 4 últimas capas de frutos en las espigas.
- **Frutos internos:** frutos ubicados hacia la parte basal de la espiga y de coloración más amarilla.
- **Frutos partenocárpicos:** fueron de apariencia normal ligeramente alargados y de bajo peso (menor a 4 gramos) que pueden poseer coloración amarilla o rojiza y que no contienen semilla.
- **Flores abortadas:** flores no fecundadas de color amarillo claro.

FACTORES CONDICIONANTES AL RENDIMIENTO Y SELECCIÓN EN PALMA ACEITERA

La palma de aceite produce una inflorescencia femenina o masculina en la axila de cada hoja, las inflorescencias

femeninas se convierten en racimos. Las inflorescencias son producidas en ciclos alternos de sexo dentro de la misma planta. Si una determinada axila no está produciendo inflorescencia, ello significa que ha ocurrido un aborto (Aguinaga, 2015).

La palma de aceite tiene una yema apical, que produce dos a tres hojas cada mes, la producción de hoja varía con la edad. Es una especie monoica que produce inflorescencias masculinas y femeninas por separado (ciclos femeninos y masculinos alternos de manera que no ocurren autofecundaciones) y a veces en casos raros hermafrodita. En la inflorescencia femenina, las flores se arreglan en espirales alrededor del raquis de las espigas en las axilas de las hojas. Cada flor está encerrada en una bráctea, que termina en una espiga y en una espina de longitud variable. Cada inflorescencia puede tener miles de flores femeninas (Corley & Tinker, 2009).

El ovario tiene tres carpelos. El estigma es sésil, con tres lóbulos. La inflorescencia masculina es más larga que la femenina y tiene unas 100 espigas, cada una con 700 a 1.200 flores. Cada flor tiene un perianto de seis segmentos, androceo tubular con seis anteras y un gineceo rudimentario. El fruto es una drupa ovoide, de 3 a 5 cm de largo. Los estigmas persisten en su extremo, en forma de

tres pequeños apéndices arqueados (González & Alvarado, 2017).

Escobar & Alvarado (2011), indica que el espesor del cuesco es controlado genéticamente por un solo gen, no dominante, que es responsable de que el fruto Dura sea de cuesco grueso y pisífera sin cuesco. La proporción de fruto en el racimo es un factor secundario en la selección, aunque las influencias externas determinan en gran parte el peso promedio y el cuajamiento del fruto, La forma de fruto Dura es conformado de 25 % a 55 % cuesco, la Deli es una palma Dura que es peculiar en el Lejano Oriente y que tiene un alto porcentaje de mesocarpio hasta el 65 %.

Pero Arrobo (2006), menciona que otra forma para determinar la producción en palma aceitera, es mediante la acumulación de materia seca vegetativa (MSV), debido a que la producción de carbohidratos (materia seca) es un buen parámetro de medida de la eficiencia del proceso de la fotosíntesis, se estima a partir del peso fresco de los racimos.

El peso seco de los racimos es importante para relacionar la producción con el crecimiento. La materia seca neta se reparte entre los racimos, las hojas, el estipe y las raíces para mantener la respiración. El racimo representa

aproximadamente 57.8% de la materia seca (Aguinaga, 2015)

Escobar y Alvarado (2011), indica que el espesor del cuesco es controlado genéticamente por un solo gen, no dominante, que es responsable de que el fruto Dura sea de cuesco grueso y pisífera sin cuesco.

La proporción de fruto en el racimo es un factor secundario en la selección, aunque las influencias externas determinan en gran parte el peso promedio y el cuajamiento del fruto, La forma de fruto Dura es conformado de 25 % a 55 % cuesco, la Deli es una palma Dura que es peculiar en el Lejano Oriente y que tiene un alto porcentaje de mesocarpio hasta el 65 %. Pero Arrobo (2006), menciona que otra forma para determinar la producción en palma aceitera, es mediante la acumulación de materia seca vegetativa (MSV), debido a que la producción de carbohidratos (materia seca) es un buen parámetro de medida de la eficiencia del proceso de la fotosíntesis, se estima a partir del peso fresco de los racimos (Mathews *et al.*, 2004)

El peso seco de los racimos es importante para relacionar la producción con el crecimiento. La materia seca neta se reparte entre los racimos, las hojas, el estipe y las raíces para mantener la respiración. El racimo representa

aproximadamente 57.8% de la materia seca (Corley & Tinker, 2009).

EXTRACCIÓN DE ACEITE

La producción de aceite es la razón de ser de la actividad palmicultora. En otras palabras, los racimos no tienen ningún valor práctico si no son procesados en una planta de beneficio. Pero de igual manera, lo que justifica la existencia de las extractoras y posibilita sus resultados, es el suministro adecuado y oportuno de racimos que se cosechan del cultivo. Se debe hacer énfasis en la necesidad de llevar los racimos cosechados a la planta y procesarlos en el menor tiempo posible, para minimizar el efecto de su deterioro por acidez. Por tanto, la ubicación de la planta de beneficio respecto del cultivo, es determinante para obtener aceite de buena calidad y asegurar precios de transporte de racimos razonables en beneficio de la competitividad (Sánchez, 2012).

También se debe destacar que las extractoras premian o castigan de acuerdo a la calidad del fruto, el mismo que se ve reflejado en el pago a los proveedores del fruto de palma. Por esta razón un manejo cuidadoso y delicado de los racimos y frutos desprendidos, desde la palma misma hasta que se colocan en la planta de beneficio, es

determinante en la buena calidad del aceite que se produce (Aguinaga, 2015).

De acuerdo a Sánchez (2012), el proceso de extracción al que son sometidos los frutos de palma es el siguiente:

- 1) **Esterilización:** Se realiza con el fin de evitar la acidez del aceite extraído, adicionalmente facilita el desprendimiento de los frutos del racimo, prepara la pulpa para la extracción del aceite y desprende parcialmente la almendra de la cáscara.
- 2) **Desfrutación:** Proceso por el cual los frutos son separados del racimo. **Digestión:** Busca el rompimiento de las células de tal forma que se pueda liberar el aceite contenido en ellas y para que se de un desprendimiento entre la pulpa y la nuez.
- 3) **Extracción:** Por el cual se obtiene el aceite, este procedimiento se hace principalmente a través de prensas.
- 4) **Clarificación:** Proceso de recuperación y purificación del aceite, liberándolo de impurezas como lodo y barro

QUITOSANO

Es un polisacárido compuesto por β -(1-4) D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina distribuidas aleatoriamente en cadena lineal, fue descubierto en 1859 por el profesor Charles Rouget en el año 1859, quien la denominó en un inicio quitina modificada, ya que la obtuvo tratando quitina con una solución caliente de hidróxido de potasio (KOH), pero 35 años después este compuesto fue estudiado por Félix Hoppe-Seyler quién le daría la denominación de quitosano, la misma que se ha mantenido hasta la actualidad (Pichyangkura & Chadchawan, 2015).

En las dos últimas décadas se ha estudiado la aplicación de este bioinsumo en campos como: tratamiento de aguas, industria alimenticia, cosmética, medicina y agricultura. El quitosano utilizado en la agricultura generalmente proviene de exoesqueletos de crustáceos marinos. A pesar de que su principal fuente es la desacetilación térmica de la quitina; es posible encontrarlo, en estado natural en otras fuentes no muy comunes (Nieto & Orellana, 2011).

Las propiedades antimicrobianas de la quitina y el quitosano son conocidas por el hombre desde la antigüedad. En un principio, no se conocía la relación entre dichas propiedades y la composición química de

estos materiales. Sí se conocían, no obstante, sus propiedades curativas, las cuales fueron aprovechadas ampliamente, como por ejemplo en la aceleración de la cicatrización de heridas. En este sentido, se sabe que los primeros mexicanos usaban preparaciones derivadas de hongos para acelerar la cicatrización de heridas y que los coreanos primitivos utilizaban quitina, proveniente de la pluma de calamar, para favorecer la curación de abrasiones corporales (Lárez, 2006).

El quitosano se puede encontrar de forma natural en las paredes celulares de algunas plantas y hongos, por ejemplo, en el *Mucor rouxii*, llega a representar hasta un tercio de su peso. Sin embargo, la fuente más importante de quitosano, a nivel industrial, lo constituye la quitina, la cual, mediante un proceso de desacetilación química o enzimática, ha permitido producirlo a gran escala (Lárez, 2006).

El uso del quitosano en actividades agrícolas es mucho más reciente, pero, a pesar de ello, puede considerarse hoy en día abundante y en aumento (Lárez, 2008). Es el segundo polisacárido más abundante en el planeta después de la celulosa. El quitosano es más apropiado para aplicaciones biotecnológicas que la quitina debido a su mayor solubilidad en agua y disolventes orgánicos. Por ello, es necesario hidrolizar la quitina de los crustáceos

para desacetilarla y transformarla en quitosano (González *et al.*, 2018).

Calderón (2021), indica que el producto posee una potente acción elicitora que protege al cultivo frente al ataque de hongos y bacterias de una forma indirecta, mediante la activación de diversas rutas metabólicas:

- Aumenta la concentración de fitoalexinas; compuestos fenólicos de bajo peso molecular con acción antimicrobiana.
- Aumenta la concentración de Proteínas relacionadas con la patogénesis (Proteínas PR); enzimas con actividad antibiótica que producen las plantas y cuya actividad catalítica va dirigida a desnaturalizar los componentes de la pared celular del patógeno.
- Favorece la síntesis de depósitos de calosa, lignina y suberina en la pared celular del vegetal, fortaleciendo los tejidos del cultivo.

Lárez (2006), menciona que en el campo de la agricultura son muchísimas las aplicaciones en este campo que se han venido desarrollando, entre las más comunes se tiene:

- Recubrimiento de semillas con películas de quitosano para su conservación durante el almacenamiento.

- Sistemas liberadores de fertilizantes.
- Agente bactericida y fungicida para la protección de plántulas (inicio de las plantaciones).

Una aplicación potencial del quitosano en la agricultura, está en la encapsulación de embriones para preparar semillas artificiales; puede encapsularse conjuntamente con los componentes nutrientes, factores de crecimiento de las plantas, fungicidas, etc., formando una matriz protectora (Nieto & Orellana, 2011)

El uso del quitosano ha tomado mayor relevancia como queda demostrado con el incremento del número de publicaciones a nivel mundial en este tema en los últimos años. Al ser un producto natural, biodegradable y no tóxico podría alcanzar las necesidades mundiales de una agricultura sustentable. Sin embargo, debido a la gama de productos hortofrutícolas existentes en el mercado aún queda por evaluar su efecto en muchos de ellos. Por otro lado, de las principales características del quitosano es su capacidad de inducir mecanismos de resistencia en el producto tratado, tema aún muy incipiente en el área postcosecha y por último, evaluaciones del efecto sinérgico del quitosano con otros métodos naturales de control biológicos o físico-químicos serían de gran utilidad para

proveer de otras alternativas de control de las enfermedades postcosecha (Bautista *et al.*, 2005).

Berumen *et al.* (2015), evaluaron el efecto del quitosano en la inducción de resistencia contra *Colletotrichum* sp. en frutos de mango. A nivel *in vitro* el Quitosano inhibió la germinación de esporas, la elongación del tubo germinativo y el crecimiento micelial de *Colletotrichum* sp. Para los tratamientos aplicados a los frutos en postcosecha, el quitosano a concentraciones de 1.0 y 1.5% inhibió por completo a *Colletotrichum* sp. Comparado con el control, el quitosano al 1.0% aumentó la actividad enzimática y la expresión del gen que codifica para la peroxidasa, esta respuesta pudiera considerarse como un posible mecanismo de acción del quitosano en frutos de mango.

El uso del quitosano en la agricultura se ha ido incrementando debido a su efecto antifúngico, así como por la capacidad de incrementar la vida de anaquel de frutos y vegetales, sumándose a esto que este bioproducto también ha puesto en evidencia su potencial para estimular el crecimiento y rendimiento de diferentes cultivos. Este compuesto se ha empleado para la modificación de suelos, producción de películas biodegradables y de empaque antimicrobianos. También se ha comprobado su efecto como estimulador de la

germinación y los rendimientos en diferentes cultivos (Mahdavi y Rahimi, 2013; Salachna y Zawadzińska, 2014). El quitosano tiene la capacidad de ser biodegradable, biocompatible no tóxico, con una amplia actividad antimicrobiana, donde actúa directamente sobre algunos patógenos al inhibir el crecimiento micelial de los mismos y proteger a las plantas del ataque de enfermedades, mediante la estimulación de los mecanismos de defensa, por lo que se considera un compuesto muy atractivo (Falcón *et al.*, 2010; Defang, Xinrong, y Renjie, 2012).

Según estudios realizados por la aplicación de quitosano estimula los procesos fisiológicos en la planta e incrementa el tamaño de las células, lo cual hace más asimilable los nutrientes por la planta y aumenta su crecimiento y desarrollo, lo cual trae consigo un aumento de los rendimientos, estos autores sugieren dosis entre 300 y 600 g/ha para el empleo del quitosano como bioestimulante (Rodríguez, Figueredo, y González, 2013). En una investigación llevada a cabo por Toan y Hanh (2013), en el cultivo de arroz en Vietnam, observaron que al realizar aplicaciones de quitosano en dosis de 10 a 15 ppm con una frecuencia de 10 días hasta que el cultivo alcanzó los 120 de edad, el crecimiento, rendimiento y la protección contra enfermedades de esta gramínea se incrementó.

El quitosano ha demostrado tener efectos en la agricultura como fuente de carbono de microorganismos del suelo, acelera la transformación de materia orgánica a inorgánica y permite que el sistema radical de la planta absorba más nutrientes desde el suelo. También regula el sistema inmune de la planta, protege las plantas contra enfermedades antes y después de la cosecha. Influye en el incremento de microorganismos antagónicos y controles biológicos, así como el beneficio simbiótico interacción planta-microorganismo y la regulación del crecimiento y desarrollo (Rodríguez *et al.*, 2017).

Presenta propiedades interesantes que las hacen aplicables en muchos campos, incluyendo la agricultura, donde se utilizan como bioestimulantes tanto para estimular el crecimiento de las plantas, como para inducir tolerancia al estrés abiótico o resistencia a patógenos (Pichyangkura & Chadchawan, 2015). Trabajos recientes realizados han demostrado las potencialidades de este producto como estimulante del rendimiento en diferentes cultivos (Morales *et al.*, 2015). (Morales, Torres, Jerez, Falcón, & Amico, 2015)

En general, la aplicación de quitosano tiene un efecto positivo sobre los cultivos, desde la estimulación de la germinación de las semillas, hasta el crecimiento de raíces, retoños y hojas Bhaskara *et al.*, 1999). En un estudio

realizado, relacionado con el crecimiento de tejidos vegetales, ha mostrado que el origen del quitosano es un aspecto importante. Los quitosanos procedentes de hongos necesitaron de dosis menores para la inducción de la diferenciación de tejidos de plantas de orquídeas que los oligómeros procedentes de caparzones de camarones (Nge *et al.*, 2006).

QUITOMAX

Quitomax es un bioproducto líquido a base de quitosano que funciona como activador de la resistencia innata y las condiciones fisiológicas de las plantas. Mediante aplicaciones preventivas, protege los cultivos contra patógenos potenciales e influye positivamente en el crecimiento de las plantas (Lárez, 2008).

Boonlertnirun, Sarobol, y Sooksathan (2006), observaron que quitosano de diferentes masas moleculares no afectan la altura de la planta de arroz. Sin embargo, Ouyang y Langlai (2003), evaluaron el efecto del quitosano en calabaza china (*Benincasa hispida*) cv. híbrido Dwarf No. 1 en la que encontraron que recubriendo la semilla con una dosis de 0.4-0.6 g g⁻¹ y una aplicación foliar de 20-40 µg mL⁻¹ se incrementó la altura de la planta y el área foliar de este cultivo.

Rodríguez *et al.* (2017), evaluaron el efecto del Quitomax en el rendimiento y sus componentes del cultivar de arroz

(*Oryza sativa* L.) var. INCA LP 5. Para ello, realizaron tratamientos a la semilla con una concentración de 1 g L⁻¹ y aspersiones foliares a una dosis de 360 g L⁻¹ en dos momentos a los 25 y 60 días después de la germinación. Estos autores observaron que con la aplicación de Quitomax a la semilla y las dos aspersiones foliares en diferentes momentos (tratamiento 5) se obtienen la mayor cantidad de granos llenos, peso de 1 000 granos y rendimiento con diferencia significativa con respecto a los restantes tratamientos.

Los resultados obtenidos por Rodríguez *et al.* (2017), demostraron que la aplicación de Quitomax al cultivar de arroz INCA LP 5 estimula el rendimiento en las condiciones edafoclimáticas del municipio Los Palacios en Pinar del Río, evidenciando que la mejor respuesta del cultivar se obtuvo al tratar la semilla y cuando recibieron las dos aplicaciones foliares del mencionado producto en estudio, lo que da mayor realce a este producto en estudio.

Por otra parte, Morales *et al.* (2015) se propusieron evaluar algunos componentes del crecimiento y el rendimiento en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) sometidas a la aplicación foliar de diferentes dosis de Quitomax (bioproducto a base de polímeros de quitosano) en dos momentos del desarrollo del cultivo. El trabajo se realizó durante tres ciclos del cultivo (2009-2010; 2010-

2011 y 2011-2012). En el primer ciclo se contó con cuatro tratamientos en los que, además del control en el que no se aplicó el producto, se utilizaron dos en los que se empleó una dosis de 300 g ha⁻¹ a los 30 o a los 50 días posteriores a la plantación y otro en el que se aplicaron dos dosis de 150 g ha⁻¹ una a los 30 días y la otra a los 50 días posteriores a la plantación. En los dos ciclos siguientes se contó además del control, con nueve tratamientos en los que se aplicaron dosis de 100, 300 y 500 g ha⁻¹, tanto a los 30 como a los 50 días posteriores a la plantación y otros tres en los que se aplicaron 50, 150 y 250 g ha⁻¹ en los dos momentos antes señalados.

Las variables evaluadas por Morales *et al.* (2015) fueron la longitud y diámetro de los tallos, el número de hojas por planta, el número de tubérculos por planta, la masa fresca promedio de los tubérculos y su porcentaje de materia seca. Además, estimaron los rendimientos en base a las masas fresca y seca de los tubérculos. El análisis de los resultados mostró una mejor respuesta de las plantas cuando éstas recibieron dos aplicaciones de Quitomax, destacándose el tratamiento en el que las plantas recibieron 150 g/ha, el que provocó un aumento significativo del rendimiento, superior a un 15 % en relación al control no aplicado. El gel de Quitosano aplicado por Molina *et al.* (2017) a la variedad de arroz SD20 para mejorar su cultivo reflejó que las tratadas con

Quitosano presentaron alturas mayores, con incrementos de altura hasta de 16.57% en comparación al testigo. Además, produjo un incremento de la raíz de 52% para los 12 días de siembra en comparación con el testigo.

Molina *et al.* (2017), en las plantas de arroz observaron un color verde más intenso que en lote testigo, estos resultados se deben a la capacidad estimulante del quitosano, ya que actúa mejorando el enraizamiento y la producción de área foliar de la planta. Se encontró una diferencia de 1025 kg ha⁻¹, y un incremento en la cosecha de 16.21% con respecto al tratamiento sin quitosano. Estos resultados sugieren que el cultivo de arroz, variedad SD20A, tuvo un desarrollo vegetativo mejor con el tratamiento con quitosano.

Martínez *et al.* (2007), estudiaron el efecto del tratamiento de semillas con quitosano sobre el crecimiento de plantas de tomate variedad Amalia. Estos autores trataron las semillas con diferentes concentraciones de quitosano (0, 1, 10, 100, 1000, 2000 g L⁻¹) durante dos tiempos (cuatro y ocho horas), se germinaron en placas Petri y cinco días después, se colocaron en bandejas de polieturano. A los 22 días de la transferencia, se seleccionaron 22 plantas para evaluar la altura, el diámetro del tallo, la longitud de raíces y la masa seca de cada órgano. Los resultados mostraron que la mejor respuesta, de manera general, se obtuvo

cuando las semillas fueron tratadas con 1 g L^{-1} de quitosano durante cuatro horas, ya que esta concentración estimuló de forma significativa la masa seca de las plantas, aunque no modificó el resto de los indicadores estudiados.

Boonlertnirun, Sarobol, y Sooksathan (2006), observaron que quitosano de diferentes masas moleculares no afectan la altura de la planta de arroz. Sin embargo, Ouyang y Langlai (2003), evaluaron el efecto del quitosano en calabaza china (*Benincasa hispida*) cv. híbrido Dwarf No. 1 en la que encontraron que recubriendo la semilla con una dosis de $0.4\text{-}0.6 \text{ mg g}^{-1}$ y una aplicación foliar de $20\text{-}40 \text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$ se incrementó la altura de la planta y el área foliar de este cultivo.

Por otro lado, Rodríguez *et al.* (2017), evaluaron el efecto del Quitomax en el rendimiento y sus componentes del cultivar de arroz (*Oryza sativa* L.) var. INCA LP 5. Para ello, realizaron tratamientos a la semilla con una concentración de 1 g/l y aspersiones foliares a una dosis de 360 mg/l en dos momentos a los 25 y 60 días después de la germinación. Estos autores observaron que con la aplicación de Quitomax® a la semilla y las dos aspersiones foliares en diferentes momentos (tratamiento 5) se obtienen la mayor cantidad de granos llenos, peso de 1 000 granos y rendimiento con diferencia significativa con respecto a los restantes tratamientos.

POLINIZACIÓN ASISTIDA

La polinización asistida, como una práctica para incrementar los rendimientos, es la aspersión del polen a las inflorescencias femeninas receptoras, para obtener una óptima fecundación e incrementar la productividad en los primeros años de cosecha (García, Ríos, & Álvarez, 2016). Se debe realizar cuando existe una cantidad considerable de inflorescencias parcialmente polinizadas (mayor al 20 por ciento) debido a aborto y/o pudrición de las inflorescencias, o cuando la cantidad de inflorescencias masculinas es menor del 10 por ciento del total (Labarca, Portillo, & Narváez, 2007).

La polinización asistida es fundamental en la obtención de mayores potenciales de aceite en el racimo ya que busca aumentar la formación de frutos con aceite en proporción con el racimo y disminuir los frutos abortados; esta labor se ve afectada por varios factores como: la variación climática, fertilidad del polen, variabilidad genética de los materiales, y la dificultad de la aplicación del polen por el incremento de la altura de las palmas, que dificulta la abertura de la inflorescencia (Rosero, 2014).

Porras, Briceño, y Molina (2006), estudiaron el efecto de la polinización artificial sobre el porcentaje de cuajamiento de frutos, en el fundo “Palmira” ubicada cerca

de la población de la Tendida, Estado Táchira, Venezuela. 20 plantas del tipo Gigante de 4 años de edad, sembradas a una distancia de 6 m x 6 m. El diseño experimental utilizado fue unifactorial completamente al azar con dos tratamientos y 10 repeticiones, los tratamientos fueron: 1) Polinización Natural. 2) Polinización Artificial. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de cuajamiento (número de erizos formados a los 55 días) y peso promedio en kg de los frutos al momento de cosecha (136 después de la polinización).

Vera-Chang *et al.* (2016) evaluaron tres métodos de polinización artificial en cacao clonal CCN-51 de siete años de edad, en la Hacienda San Antonio, ubicada en el km 16 de la vía Quevedo-El Empalme. Se evaluaron las variables número de flores fecundadas, número frutos sanos cosechados, peso total de fruto (g), número de semillas y rendimiento estimado (kg/ha). Los tratamientos fueron: Control polinización natural, Polinización manual, Presión de aire con neblinadora sobre las flores del tronco del cacao y Presión de aire con neblinadora sobre el suelo, bajo un diseño completamente al azar con cuatro réplicas.

Los mencionados autores observaron que la variable número de flores polinizadas el T1 polinización manual registró 28 flores, diferente estadísticamente del To (Testigo) con 15 flores. Para los frutos sanos cosechados el

mejor tratamiento fue el T3 con 6,5 no se encontró significancia estadística. Para el peso total de fruto la polinización natural (testigo) 857,16 g registró el menor valor, diferentes estadísticamente del T2 la presión de aire al tronco y T3 presión de aire al suelo con 938,09 y 937,36 g, respectivamente. Para la variable número de semillas el mejor tratamiento fue le T3 con 43,91 almendras para lo que no se encontró diferencia estadística y el rendimiento el mejor tratamiento fue el T3 con 1.243,64 kg no se encontró significancia estadística. Se concluyó que los mejores métodos para polinizar cacao clonal CCN-51 es aplicando la presión de aire al suelo y tronco

En un estudio realizado por Rendón, Ocampo, y Urrea (2013) sobre los mecanismos de polinización natural y asistida para comprender el sistema reproductivo de la gulupa, con el fin de implementar estrategias de premejoramiento genético y de conservación. Estos autores evaluaron un total de 32 accesiones de 10 departamentos colombianos bajo cinco tratamientos de polinización natural y asistida en Manizales, Caldas, a 2340 m.s.n.m.

Los mayores obtenidos por Rendón, Ocampo, y Urrea (2013), demostraron que porcentajes de frutos formados se presentaron en los tratamientos de autopolinización manual y geitonogamia (82 y 86%), seguidos por la

polinización cruzada (68%) con diferencias significativas. La alta precipitación durante la fase de antesis (≥ 9 mm/día) tuvo un impacto negativo sobre la polinización y la actividad de los agentes polinizadores. Los frutos de flores polinizadas manualmente y en forma natural presentaron un promedio de 151 a 157 semillas, sin diferencias significativas. Los resultados mostraron que la gulupa es una especie autofértil, que depende de los insectos polinizadores para el flujo génico y la productividad. La capacidad de autocompatibilidad de la gulupa (28 a 86%) permite a los productores conservar la calidad genética de las plantas élite.

FERTILIZACIÓN BALANCEADA

El manejo balanceado de nutrientes es esencial para alcanzar altos rendimientos y mejorar la eficiencia en su uso, lo que beneficia por igual a los agricultores, la sociedad y el ambiente (Cabrera & Zuaznábar, 2010).

Es necesario un balanceado suministro de los nutrientes a la planta como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, zinc, manganeso, boro y molibdeno. La falta de alguno origina un retardo del crecimiento y la disminución del rendimiento. Es importante la fuente del nutriente y su eficiencia en el

suelo, siempre tratando de ser conscientes en cuanto al recurso suelo (Pérez *et al.*, 2009).

La fertilización balanceada constituye una de las bases de la producción sustentable, al evitar que la exportación continua de nutrientes, produzca el agotamiento de los suelos. El diagnóstico de fertilidad se debe basar en el conocimiento de la demanda nutricional del cultivo (rendimiento objetivo) y de la oferta nutricional del suelo, para lo cual el análisis de suelo, la evaluación de su condición de salud, y las buenas prácticas de manejo constituyen herramientas indispensables para planteos agrícolas sustentables. Se debe considerar que el mantenimiento de niveles de producción elevados no se logra solamente con el aporte de nutrientes a través de una fertilización balanceada (Cruzate & Casas, 2009).

Mantener fertilizaciones balanceadas según las necesidades de cada lote y cultivo (Inversiones importantes en un nutriente como el P son muchas veces imprescindibles para obtener respuestas de otros nutrientes como N o S. El uso de dosis correctas, es decir, las necesarias para alcanzar los rendimientos que nos planteemos, dando por resultado un mayor retorno económico, no solamente de la inversión en fertilizantes, sino también de la tierra, y de otros recursos e insumos (Pérez *et al.*, 2009).

Esta tecnología, si bien de fundamental importancia, debe complementarse con aplicación de buenas prácticas de manejo tales como la rotación de cultivos, la siembra directa, la incorporación de cultivos de cobertura, el manejo integrado de plagas y enfermedades, y la agricultura por ambientes, entre otras, de manera de contribuir a preservar y mejorar la calidad del recurso suelo, base sobre la cual se sustenta la economía del país (Cruzate & Casas, 2009).

La investigación de este libro se realizó en terrenos de la Hacienda Las Vueltas, propiedad del Sr. Alejandro Chong- Qui Lang Long, ubicada en el recinto San Perico, en el cantón Mocache, provincia de Los Ríos. El sitio experimental se encuentra entre las coordenadas 1°09'20.6" latitud Sur y 79°42'24.6" de longitud Oeste, a una altitud de 64 m.s.n.m.

El predio presenta topografía ondulada, la temperatura anual media es de 25 a 28 °C, precipitación de 1800 mm, heliofanía 1100 a 1200 horas luz/año.

Se utilizó como material genético de siembra el clon Titán originario de Costa Rica, el cual sobresale por su alto contenido de aceite en el racimo, lento crecimiento, lo que favorece las labores del cultivo.

TRATAMIENTOS ESTUDIADOS

Se estudiaron 8 tratamientos, los cuáles se describen a continuación:

T₁: Testigo

T₂: Polinización asistida

T₃: Quitosano

T₄: Fertilización balanceada (N – P – K)

T₅: Polinización asistida + Quitosano

T₆: Polinización asistida + Fertilización balanceada (N – P – K)

T₇: Quitosano + Fertilización balanceada (N – P – K)

T₈: Polinización asistida + Quitosano + Fertilización balanceada (N – P – K)

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con ocho tratamientos en tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron sometidas al análisis de varianza, y se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% de probabilidad del error para a separación de las medias de los tratamientos. La tabulación de los datos obtenidos se la efectuó en Excel 2016, mientras que para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete estadístico Infostat versión 2017.1.2.

El manejo agronómico del cultivo estuvo sujeto al manejo convencional de la finca convencional donde se realizó el estudio, siguiendo las recomendaciones del manual del cultivo de la palma aceitera del INIAP publicado por Carrillo *et al.* (2015).

SELECCIÓN DE LAS PLANTAS

Se seleccionaron las plantas de palma aceitera de una plantación de 8 años de edad. Las plantas se marcaron con cintas de diferentes colores para su identificación.

APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos en estudio de aplicación a partir del primer mes del inicio de la investigación. Los tratamientos a base de quitosano y polinización asistida se aplicaron 3 veces por semana. La fertilización se aplicó cada mes. Las especificaciones de los tratamientos para aplicarse a cada 10 flores.

Con la finalidad de lograr una mayor y mejor distribución del polen en las inflorescencias femeninas receptoras, se siguió las especificaciones de Rosero & Santacruz (2014), para lo cual se preparó una mezcla de talco y polen en proporción de 10 g de talco mineral por 1 g de polen. Esta mezcla, se espolvoreó a todas las inflorescencias

femeninas receptivas, que se conocen por el color amarillo pálido y porque exponen los tres lóbulos del estigma curvados hacia afuera. En cada inflorescencia se espolvoreó una cantidad de 10 g de la mezcla talco-polen, que se considera suficiente para cubrirla. Esta operación se realizó utilizando un espolvoreador manual.

PESO DEL RACIMO (KG)

Para la determinación de esta variable se utilizó una balanza, registraron el peso de los racimos provenientes de cada tratamiento para luego expresar el promedio en kg.

PORCENTAJE DE POLINIZACIÓN

Este porcentaje se determinó hallando el cociente entre el número de frutos formados en su totalidad, para el total de frutos (polinizados + no polinizados), multiplicando por 100 para expresar en porcentaje.

NÚMERO DE ESPIGAS POR RACIMO

Se realizó el conteo del número de espigas por cada uno de los racimos extraídos de las plantas correspondientes a cada tratamiento. Posteriormente, se determinó el promedio por cada tratamiento en estudio.

PESO DE ESPIGAS (KG)

Se extrajeron las espigas de cada racimo, para luego pesarlas en una balanza digital. Luego se determinó el promedio por cada uno de los tratamientos en estudio, y la medida se expresó en gramos.

PESO DEL PEDÚNCULO (KG)

Los pedúnculos de cada racimo se separaron de acuerdo a cada unidad experimental y se pesaron en una balanza digital. Luego se promedió el peso y se expresó la magnitud en gramos.

NÚMERO DE ALVEOLOS VACÍOS POR RACIMO

Por cada racimo se realizó un conteo simple del total de alveolos vacíos. Posteriormente, se determinó el promedio por cada uno de los tratamientos en estudio.

NÚMERO DE FRUTOS TOTALES, EXTERNOS, INTERNOS Y ABORTADOS POR PLANTA

Se contabilizó el número de frutos externos e internos, así como los abortados por cada racimo. Con base a estos valores se determinó el total de frutos por racimo.

NÚMERO DE FRUTOS PARTENOCÁRPCOS POR RACIMO

Por cada racimo cosechado, se contabilizará el total de frutos partenocárpcos registrados en cada tratamiento.

CONTENIDO DE ACEITE (%)

Se separó el mesocarpio de los frutos obtenidos, luego se pesó y se secó a 105 °C en una estufa marca Memmert modelo Venetrol 500 durante 24 horas, para finalmente realizar un análisis del aceite.

PORCENTAJE DE POLINIZACIÓN

Los resultados del porcentaje de polinización permitieron identificar el análisis de varianza reflejó que los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística, con un coeficiente de variación de 0.43 %.

El mayor porcentaje de polinización se registró en T6: PA + FB, con 95.56 %, en ausencia de diferencias significativas con respecto a T3: PA, T7: FB + Q, T5: PA + Q y T8: PA + FB + Q, que presentaron promedios entre 94.48 y 95.55 % de polinización. Estos tratamientos superaron estadísticamente a los demás que mostraron entre 89.41 y 93.69% de polinización. El menor valor se presentó en T1: Testigo

PESO DEL RACIMO (KG)

Para el peso del racimo en respuesta a la aplicación de los tratamientos en estudio, se pudo apreciar que se registró alta significancia estadística entre estos. El coeficiente de variación fue de 5.21%.

Los racimos de mayor peso se obtuvieron en T6: PA + FB (26.93 kg), en igualdad estadística con T5: PA + Q (24.67 kg), mostrando diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos que presentaron racimo con peso promedio entre 10.64 kg y 21.98 kg. Los racimos de menor peso se obtuvieron en T1: Testigo (Figura 1).

PESO DE LAS ESPIGAS (KG)

Los promedios del peso de las espigas en respuesta a los tratamientos en estudio se presentan en la Tabla 6. El análisis de varianza determinó que los tratamientos en estudio alcanzaron alta significancia estadística, con un coeficiente de variación de 10.04 %.

Con la aplicación de T6: PA + FB, se obtuvieron espigas de mayor peso (3.63 kg), en ausencia de diferencias significativas con la aplicación de T5: PA + Q (3.21 kg). Estos dos tratamientos presentaron diferencias significativas respecto a los demás que registraron espigas con peso promedio que oscilaron entre 1.37 y 2.51 kg. El menor peso de espigas se presentó en T1: Testigo.

PESO DEL PEDÚNCULO (KG)

El peso del pedúnculo en racimos de palma aceitera en respuesta a la aplicación de los tratamientos en estudio se presenta en la Tabla 7. Para esta variable de acuerdo al análisis de varianza se pudo apreciar que los tratamientos no alcanzaron significancia estadística, con un coeficiente de variación de 31.12 %. Los tratamientos en estudio no reflejaron diferencias significativas entre sí, registrando pesos promedios de los pedúnculos entre 0.77 y 1.27 kg. Los pedúnculos de mayor peso se obtuvieron en T5: PA + Q, mientras que los de menor peso se presentaron en T1: Testigo

NÚMERO DE ESPIGAS POR RACIMO

En la Figura 2, se presentan los promedios del número de espigas por racimo por efecto de la aplicación de los tratamientos en estudio. En esta variable, el análisis de varianza permitió constatar que los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística, siendo el coeficiente de variación 11.04%. Con la aplicación de T6: PA + FB, se obtuvo mayor número de espigas por racimo (106.00), exhibiendo diferencias significativas respecto a los demás tratamientos que presentaron promedios entre 49.33 y 78.67 espigas por racimo, correspondiendo el menor valor a T1: Testigo.

NÚMERO DE ALVEOLOS VACÍOS POR ESPIGA

Para el número de alveolos vacíos por espiga en racimo de palma aceitera, se pudo identificar que los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística, con un coeficiente de variación de 18.62 %.

En T1: Testigo se produjo mayor número de alveolos vacíos por espiga (97.00), mostrando diferencias significativas respecto a los demás tratamientos en estudio que presentaron valores que fluctuaron entre 4.67 y 72.67 alveolos vacíos por espiga. El menor promedio se registró en T8: PA + FB + Q.

NÚMERO DE FRUTOS INTERNOS Y EXTERNOS POR RACIMO

En la Figura 3, se presentan los promedios del número de frutos internos y externos por espiga en respuesta a los tratamientos en estudio. Para ambas variables, se pudo determinar que los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística. Los coeficientes de variación fue 12.54 y 16.43 %, para el número de frutos internos y externos por espiga, respectivamente.

Para el número de frutos internos por espiga, T6: PA + FB, alcanzó el mayor valor, con 1439.00 frutos internos, superando estadísticamente a los demás tratamientos que

mostraron valores entre 262.33 y 10999.00 frutos internos por espiga, correspondientemente. El menor promedio se registró en T1: Testigo. El número de frutos externos por espiga, mostró una tendencia similar a los internos, de manera que en T6: PA + FB, se registró mayor número de estos frutos, con 478.67, mostrando diferencias significativas respecto a los demás tratamientos que presentaron entre 65.33 y 343.00 frutos externos por espiga, identificándose el menor promedio en T1: Testigo.

NÚMERO DE FRUTOS PARTENOCÁRPCOS POR RACIMO

Para los correspondiente al número de frutos partenocárpcos, los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística, con un coeficiente de variación de 25.26 %. En T6: PA + FB se registró el mayor número de frutos partenocárpcos, con 311.33 frutos, mostrando diferencias significativas respecto los tratamientos restantes que presentaron entre 19.33 y 172.67 frutos partenocárpcos por espiga. El menor valor se presentó en T1: Testigo (Figura 4).

NÚMERO DE FRUTOS ABORTADOS Y TOTALES POR RACIMO

En la Figura 5, se presentan los promedios del número de frutos abortados y totales por espiga en respuesta a la

aplicación de los tratamientos en estudio. Para estas dos variables, el análisis de varianza estableció que los tratamientos alcanzaron alta significancia estadística. Los coeficientes de variación fueron de 15.66 y 6.64 % para el número de frutos abortados y totales, respectivamente.

Para los frutos abortados, en T6: PA + FB se produjo mayor número de éstos, con 4213.67, registrando diferencias significativas respecto a los demás tratamientos que mostraron entre 11109.00 y 2608.00 frutos abortados por espiga. El menor valor correspondió a T1: Testigo.

Por otra parte, para el número de frutos totales por espiga, se observó en T6: PA + FB el mayor número, con 6442.67 frutos, superando estadísticamente a los demás tratamientos que mostraron entre 1456.00 y 4222.67 frutos por racimo. El menor número de frutos totales por racimo se

CONTENIDO DE ACEITE POR RACIMO (%)

En la Tabla 10, se presentan los valores del contenido de aceite por racimo en respuesta a los tratamientos en estudio. En esta variable, el análisis de varianza determinó que los tratamientos alcanzaron significancia estadística en el nivel 0.05, con un coeficiente de variación de 22.34

%. En T5: PA + Q se produjo mayor contenido de aceite, con 55.67 %, en ausencia de diferencias significativas respecto a los demás tratamientos, a excepción de T1: Testigo, que presentaron contenidos de aceite entre 33.85 y 47.67 %. Todos los tratamientos se ubicaron por encima de T1: Testigo, que mostró un contenido de aceite de 25.07 %.

Los resultados obtenidos en la presente investigación marcan indicios sobre el efecto de los tratamientos en el desarrollo del racimo. De este modo, al combinarse la polinización asistida con la fertilización balanceada, se incrementó sustancialmente el peso del racimo. Esto se puede atribuir a un efecto significativo producto de una correcta ejecución de la polinización asistida, la cual depende de la experiencia que tenga el polinizador al momento de realizar esta acción. Además, se puede especular que posiblemente, existió una baja compatibilidad entre el quitosano y el polen aplicado. Respecto a esto, Berumen *et al.* (2015), mencionan que existe cierta compatibilidad del quitosano con otros insumos aplicados en los sistemas de producción agrícola, por lo que es importante la previa evaluación antes de combinar insumos en la producción aceitera (Delgado & Salas, 2006).

Derivado del peso del racimo, se pudo apreciar estructuras como las espigas, las cuáles se apreciaron más desarrolladas al combinar la polinización asistida con la fertilización balanceada, potenciándose en un 164.21 % el peso de las espigas, respecto al testigo sin ningún tratamiento. Sin embargo, al analizarse el peso del pedúnculo, la ausencia de diferencias significativas, muestran que esta estructura se desarrolló más al aplicarse los diferentes tratamientos, siendo posiblemente un efecto de un mayor desarrollo de los frutos en las espigas, de manera que la planta al tener mayor peso que soportar, estimula el crecimiento del pedúnculo para evitar la caída de los frutos (Díaz-Oviedo, 2020).

En contraste con lo anterior, el peso de las espigas, se incrementó con el mencionado tratamiento, lo que aportó a un mayor peso del racimo, consecuentemente, esta situación dio paso a la obtención de mayor cantidad de frutos. Esto se fundamenta, al analizarse el desarrollo de los frutos en los racimos, de manera que la combinación de la fertilización balanceada con la polinización asistida, produjo más frutos totales, a consecuencia de más frutos internos, externos y partenocárpicos, sin embargo, también produjo más frutos abortados, pero estos pueden aprovecharse aun para la producción de aceite (Lizarazo-Salcedo & Alfonso-Carvajal, 2011; García, Ríos, & Álvarez, 2016). Esto se asemeja a los resultados de Porras, Briceño,

y Molina (2006), quienes demostraron un efecto significativo de la polinización artificial en guanábana, obteniendo un mayor porcentaje de cuajado de fruto (69.9%) con relación a la polinización natural (20.6%) y por tanto se notó una tendencia a aumentar el número de frutos por árbol, con menor tamaño y mejor forma cuando se realiza esta práctica.

Un factor a considerar para la obtención de altos rendimientos en el cultivo de palma aceitera, es el llenado de frutos, sin embargo, la ocurrencia de este depende del grado de polinización que se tenga en las flores del cultivo de palma. Es por ello, que la polinización artificial juega un rol protagónico para el llenado de frutos. Esto se ve fundamentado, al evidenciarse que, al combinarse la polinización asistida, con el quitosano y la fertilización balanceada, se disminuyó en un 95.19% los alveolos vacíos, sin embargo, la ausencia de diferencias significativas con la sinergia entre la polinización asistida y fertilización balanceada, descarta un efecto significativo de la adición de quitosano. Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Mohammadia, Rastgooa, & Izadib (2017), quienes en *Phoenix dactylifera* L, al utilizar una fuente de polen endógena bajo un plan de fertilización balanceado, logró incrementar el porcentaje de polinización por encima del 75%, lo que concuerda con Labarca, Portillo, & Narváez (2007), quienes sostienen que, en la palma

aceitera, la polinización es más deficiente en plantas jóvenes, como las utilizadas en el presente estudio. Además, estos autores indican que la inducción manual de la polinización de las flores de este cultivo, es una de las prácticas que promueve la obtención de más almendras aprovechables para la extracción de aceite.

La inexistencia de diferencias significativas entre los tratamientos para el porcentaje de aceite en los racimos, podría explicarse al observarse que según reportes de la literatura mencionan que los principales factores que condicionan la obtención de racimos y aceite en el cultivo de palma aceitera es el estrés hídrico, de modo que en condiciones de sequía la producción de racimos de poca, y por consiguiente el aceite obtenido (Rosero, 2014; Marroquín, 2016). La práctica de riego representa una alternativa para atenuar los efectos adversos del déficit hídrico, dirigido a estabilizar las fluctuaciones de la producción, lograr un incremento en la productividad y planificar de manera más confiable el funcionamiento de la planta extractora (Barrios *et al.*, 2011).

Con los hallazgos de esta investigación se puede recalcar la importancia de la polinización asistida en el cultivo de palma aceitera, y a la vez exhortar a realizar investigaciones que combinen esta técnica con otras tecnologías agrícolas para promover el rendimiento y

productividad de este cultivo de considerable importancia económica para el país.

Indicamos las siguientes conclusiones:

- En todos los tratamientos a excepción de T1: Testigo, se registraron porcentajes de polinización similares, por encima de 90.00%.
- El tratamiento T6: PA + FB, potenció el rendimiento del cultivo de palma aceitera, produciendo racimos de mayor peso, con más espigas, las mismas que presentaron mayor peso y menor número de alveolos vacíos a consecuencia de un mayor llenado de frutos, con más frutos tanto internos, externos y partenocárpicos.
- Los tratamientos en estudio, permitieron cosechar racimos con contenido de aceite semejantes, sin embargo, superaron a T1: Testigo, destacándose T5: PA + Q que posibilitó la obtención de 122.06% más de aceite que en el testigo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguinaga, D. (2015). Análisis de la cadena productiva palma africana – aceite – biodiesel, para la comercialización progresiva de eco diésel en el país. Universidad Andina Simón Bolívar Sede Ecuador. Quito-Ecuador. 120 p.
- Alvarado, A., Guzmán, N., Chinchilla, C., & Escobar, R. (2007). El programa de clonación de variedades compactas de palma aceitera por ASD de Costa Rica: realidades y potencial comercial. *Palmas* 28(1): 256-264.
- Arrobo, N. (2006). Extracción de nutrimentos en la producción anual de racimos y hojas podadas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). Híbrido Ténerav INIAP en tres edades diferentes de cultivo y dos épocas de muestreo. INIAP. Santo Domingo de los Tsáchilas-Ecuador. 4p.
- Barrios, R., Del Valle, M., Rivas, E., Fariñas, J., Salazar, J., & Rodríguez, G. (2011). Efecto del déficit hídrico sobre el ciclo productivo de la palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Agronomía Tropical* 61(4): 267-274.
- Bautista, S., Hernández, A., Velázquez, M., Bosquez, E., & Sánchez, 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.
- Berumen, G., Coronado, L., Ochoa, A., Chacón, M., & Gutiérrez, P. (2015). Efecto del quitosano en la

inducción de resistencia contra *Colletotrichum sp.* en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy Atkins. *Investigación y Ciencia* 23(66): 16-21.

Bhaskara, M., Arul, J., & Couture, L. (1999). Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* , 208–1216.

Boonlertnirun, S., Sarobol, E., & Sooksathan, I. (2006). Effects of molecular weight of chitosan on yield potential of rice cultivar Suphan Buri 1. *Kasetsart Journal (Natural Science)* 40(3): 854-61.

Cabrera, J., & Zuaznábar, R. (2010). Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización nitrogenada en un experimento de Larga Duración con 24 cosechas acumuladas. *Cultivos Tropicales* 31(1): 93-100.

Calderón, B. (2021). Efecto de Quitomax sobre el crecimiento y producción del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador. 63 p.

Carrillo, M., Cevallos, V., Cedeño, C., Gualoto, M. F., Navarrete, M., Ortega, D., . . . Zambrano, W. (2015). Manual del cultivo de la palma aceitera. INIAP EET Santo Domingo. Santo Domingo de los Tsáchilas-Ecuador. 100 p.

Castro, L. (2012). Comportamiento de cuatro clones de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). en el proceso de aclimatación en la fase de pre vivero. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador. 69 p.

- Corley, R., & Tinker, P. (2009). La palma de aceite. Cuarta Edición. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de aceite. Bogota-Colombia. 84 p.
- Cortés, C., Penagos, B., Leguizamón, G., & Toca, J. (2017). Corte y recolección de racimos de palma de aceite. Cenipalma. Bogotá-Colombia. 64 p.
- Cruzate, G., & Casas, R. (2009). Extracción de nutrientes en la agricultura Argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 44: 21-26.
- Defang, Z., Xinrong, L., & Renjie, T. (2012). Application of Bioactive Coatings Based on Chitosan for Soybean Seed Protection. *International Journal of Carbohydrate Chemistry* 2012: 1-5.
- Delgado, R., & Salas, A. (2006). Consideraciones para el desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela. *gronomía Tropical* 56(3): 289-323.
- Díaz-Oviedo, D. (2020). Comparación de estructura de costos con aplicación de hormonas en la conformación de racimos en palma de aceite comercial (Var. Irho Cabaña) en la plantación agropecuaria Macolla S.A.S. Universidad de los Llanos. Villavicencio-Colombia. 62 p.
- Escobar, E., & Alvarado, A. (2011). Mejoramiento genético de palma de aceite palmas y producción de semillas de alto rendimiento. ASD de Costa Rica. San José-Costa Rica. 13 p.
- Falcón, R., Rodríguez, A., Ramírez, M., Rivero, D., Martínez, B., & Cabrera, J. (2010). Chitosans as

bioactive macromolecules to protect economically relevant crops from their main pathogens. *Biotechnología Aplicada* 27(4): 305–309.

García, M., Ríos, L., & Álvarez, J. (2016). La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. *Idesia (Arica)* 34(3): 53-68.

González, B., & Alvarado, P. (2017). Análisis de la producción de aceite de palma africana en el Ecuador. Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 81 p.

González, L., Jiménez, M., Castillo, D., Paz, I., Cambara, A., & Falcón, A. (2018). Respuesta agronómica del pepino a la aplicación de QuitoMax en condiciones de organoponía. *Revista Centro Agrícola* 45(3): 27-31.

Gutiérrez-Soto, M., Torres-Acuña, J., & Araya-Alfaro, J. (2014). Uso de winrhizo® en la cuantificación de las raíces y su aplicación en la palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.). *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 181-188.

Ibarra-Ruales, L., & Reyes-Cuesta, R. (2015). Crecimiento en vivero de las palmas aceiteras *Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis* y *Elaeis guineensis* x *Elaeis guineensis* en Tumaco Colombia. *Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 16(2): 239-250.

Labarca, M., Portillo, E., & Narváez, Z. (2007). Relación entre las inflorescencias, el clima y los polinizadores en el cultivo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacquin) en el sur del lago de

- Maracaibo. Revista de la Facultad de Agronomía 24(2): 303-320.
- Lárez, C. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. Avances en Química 1(2): 15-21.
- Lárez, C. (2008). Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. Revista UDO Agrícola 8 (1): 1-22.
- Lizarazo-Salcedo, I., & Alfonso-Carvajal, O. (2011). Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite "*Elaeis guineensis*" e híbrido O x G. Revista de Ingeniería (33): 124-130.
- Macas, J., & Chiriguay, C. (2017). Informe anual de actividades Programa del cultivo de palma aceitera, 2017. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Joya de los Sachas-Ecuador. 28 p.
- Mahdavi, B., & Rahimi, A. (2013). Seed priming with chitosan improves the germination and growth performance of ajowan (*Carum copticum*) under salt stress. EurAsian Journal of BioSciences 7:69–76.
- Marroquín, M. (2016). Determinación del potencial de producción de aceite de los materiales genéticos en plantaciones de tres y cuatro años de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq): Deli por Nigeria y Deli por Ghana. Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad de Guatemala-Guatemala. 135 p.
- Martínez, L., Castro, I., Díaz, L., & Núñez, M. (2007). Influencia del tratamiento a semillas con quitosana

en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Cultivos Tropicales 28(4): 79-82.

Mathews, J., Lee, A., Clarence, P., Chung, M., & Rao, S. (2004). Contenido de aceite en el racimo y mesocarpio del fruto de la palma de aceite, y algunos de sus factores fisiológicos y agronómicos. Palmas 25(4):11-29.

Mohammadia, N., Rastgooa, S., & Izadib, M. (2017). The strong effect of pollen source and pollination time on fruit set and the yield of tissue culture-derived date palm (*Phoenix dactylifera* L.) trees cv. Barhee. Scientia Horticulturae 224: 343-350.

Molina, J., Colina, M., Rincón, D., & Vargas, J. (2017). Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a). Revista de Investigación Agraria y Ambiental 8(2): 151-165.

Morales, D., Torres, L., Jerez, E., Falcón, A., & Amico, J. (2015). Efecto del Quitomax en el crecimiento y rendimiento del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Cultivos Tropicales 36(3): 133-143.

Nge, K., Nwe, N., & Stevens, W. (2006). Chitosan as a growth stimulator in orchid tissue culture. Journal of Plant Science, 1185-1190.

Nieto, C., & Orellana, V. (2011). Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. Cuenca-Ecuador. 132 p.

Ouyang, S., & Langlai, X. (2003). Effects of chitosan on nutrient qualities and some agronomic characters

of non-heading Chinese cabbage. *Plant Physiology Communications* 39(1): 21-4.

Pérez, F., Müller, H., Peralta, F., & Gouin, H. (2009). Ping pong sobre fertilización en cultivos regionales. *Fertilizar Asociación Civil* 13: 28-30.

Pichyangkura, R., & Chadchawan, S. (2015). Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Biostimulants in Horticulture*, 49–65. doi:doi:10.1016/j.scienta.2015.09.031

Porras, D., Briceño, W., & Molina, A. (2006). Efecto de la polinización artificial en el cuajado de frutos de la guanábana (*Annona muricata* L.) en la zona norte del Estado Táchira, Venezuela. *Revista científica UNET* 18(1): 1-8.

Rendón, J., Ocampo, J., & Urrea, R. (2013). Estudio sobre polinización y biología floral en *Passiflora edulis* f. *edulis* Sims, como base para el premejoramiento genético. *Acta Agronómica* 62 (3): 232-241 .

Rodríguez, A., Ramírez, M., Falcón, A., Bautista, S., Ventura, E., & Valle, Y. (2017). Efecto del Quitomax® en el rendimiento y sus componentes del cultivar de arroz (*Oryza sativa* L.) var. INCA LP 5. . *Cultivos Tropicales* 38(4): 156-159.

Rosero, G. (2014). Efecto de la polinización asistida en medio líquido en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. *Palmas* 35(4): 11-19.

Rosero, G., & Santacruz, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en la conformación del racimo

en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. Revista Palmas 35(4): 11-19.

Ruperto, Z. (2005). Manual técnico para el cultivo de la palma aceitera. Proyecto de Desarrollo Alternativo Tocache-Uchiza (PRODATU). Lima-Perú. 104 p.

Salachna, P., & Zawadzińska, A. (2014). Effect of chitosan on plant growth, flowering and corms yield of potted freesia. Journal of Ecological Engineering 15(3): 97–102.

Sánchez, E. (2012). Análisis de rentabilidad de un cultivo de palma aceitera híbrida (OxG) en la provincia de Orellana. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. 151 p.

Sierra-Márquez, J., Sierra-Márquez, L., & Olivero-Verb, J. (2017). Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). Agronomía Mesoamericana 28(2):523-534.

Terán, J. (2013). Potencialidades para la industrialización a partir de la producción agrícola en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. II Congreso Científico Internacional UNIANDES “Impacto de las investigaciones universitarias”. 21 p.

Toan, N., & Hanh, T. (2013). Application of chitosan solutions for rice production in Vietnam. African Journal of Biotechnology 12(4): 382-4.

Vera-Chang, J., Cabrera-Verdezoto, R., Morán-Morán, J., Neira-Rengifo, K., Haz-Burgos, R., Vera-Barahona, J., . . . Cabrera-Verdesoto, C. (2016). Evaluación de tres métodos de polinización artificial en clones de

cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51. IDESIA (Chile) 34(6): 35-40.

Zambrano, R., Kuffo, G., Alcívar, B., & Intriago, J. (2016). Efecto de la alimentación con lodo de palma (*Elaeis guineensis*) sobre la producción de leche. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 25(1): 50-54.

Descubre tu próxima lectura

Si quieres formar parte de nuestra comunidad,
regístrate en <https://www.grupocompas.org/suscribirse>
y recibirás recomendaciones y capacitación



   @grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com

compAs
Grupo de capacitación e investigación pedagógica



@grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com

ISBN: 978-9942-33-497-8



@grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com

compas
Grupo de capacitación e investigación pedagógica