

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Agronomía

**Inducción de partenocarpia en *Annona cherimola* Mill mediante la aplicación de ácido giberélico en la granja El Romeral, Guachapala - Azuay**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniera  
Agrónoma

**Autor:**

Mabel Andrea Ríos Cedillo

**Director:**

Segundo Moisés Maita Supliguicha

ORCID:  0000-0003-2716-6978

**Cuenca, Ecuador**

2023-07-25

### Resumen

*Annona cherimola* está entre las diez frutas de mayor potencial económico en Ecuador, pero existen limitaciones por sus características fisiológicas y morfológicas. Este estudio tuvo como objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de ácido giberélico para la obtención de frutos partenocárpicos en *A. cherimola* en la granja El Romeral. Para esto se seleccionaron 5 flores en estado fenológico hembra siendo la unidad experimental y se aplicaron 6 tratamientos de GA<sub>3</sub> (0, 90, 95, 100, 105 y 110 ppm) con 5 repeticiones en un diseño de bloques completos al azar, cada tratamiento se aplicó en 3 momentos: flor hembra, 30 y 60 días después de la primera aplicación. Las variables evaluadas fueron: peso del fruto, los diámetros polar y ecuatorial, número de semillas, peso de la pulpa y peso de las semillas. Se determinó que la aplicación de GA<sub>3</sub> durante tres periodos en chirimoya, reduce el número de semillas por fruto siendo los tratamientos de 90 y 105 ppm de GA<sub>3</sub> los más efectivos representando el 40% de frutos partenocárpicos recolectados a los 150 días. Además, mejora el porcentaje de frutos cuajados frente al control a los 60 días, las concentraciones de 95 y 105 ppm de GA<sub>3</sub> presentaron el 92% de frutos cuajados mientras que el control perdió todos sus frutos. Finalmente, la aplicación de GA<sub>3</sub> tuvo un efecto positivo en esta investigación sobre las variables estudiadas ya que los frutos del control se cayeron por completo a los 60 días después de la floración.

*Palabras clave:* frutas, flores, fitohormonas, semillas

### Abstract

*Annona cherimola* is among the ten fruits with the highest economic potential in Ecuador, but there are limitations due to its physiological and morphological characteristics. This study aimed to evaluate the effect of the application of gibberellic acid for the production of parthenocarpic fruits in *A. cherimola* in the farm El Romeral. For this, 5 flowers were selected in female phenological state being the experimental unit and 6 treatments of GA<sub>3</sub> (0, 90, 95, 100, 105 and 110 ppm) were applied with 5 repetitions in a random complete block design, each treatment was applied in 3 moments: female flower, 30 and 60 days after first application. The variables evaluated were: fruit weight, polar and equatorial diameters, number of seeds, pulp weight and seed weight. It was determined that the application of GA<sub>3</sub> during three periods in cherimoya, reduces the number of seeds per fruit, the treatments of 90 and 105 ppm of GA<sub>3</sub> being the most effective, representing 40% of parthenocarpic fruits collected at 150 days. In addition, the percentage of fruit set against the control improves at 60 days, the concentrations of 95 and 105 ppm of GA<sub>3</sub> had 92% of fruit set while the control lost all fruits. Finally, the application of GA<sub>3</sub> had a positive effect on the variables studied since the fruits of the control were completely dropped 60 days after flowering.

*Keywords:* routes, flowers, phytohormones, seeds

## Índice de contenido

1. Introducción .....	8
2. Objetivos.....	9
Objetivo general .....	9
Objetivos específicos: .....	9
3. Revisión de literatura.....	10
El cultivo de chirimoya ( <i>Annona cherimola</i> ) .....	10
Origen y taxonomía.....	10
Descripción morfológica .....	11
Tallo .....	11
Raíz.....	11
Hojas.....	11
Flores .....	11
Fruto.....	11
Semillas.....	12
Estados de florales de la chirimoya.....	12
Condiciones climáticas para el cultivo de chirimoya .....	13
Importancia económica del cultivo de <i>A. cherimola</i> .....	14
Producción de chirimoya en Ecuador.....	14
Fitohormonas .....	14
Giberelinas.....	15
Partenocarpia .....	15
Inductores de partenocarpia .....	16
Partenocarpia por aplicación exógena de GA <sub>3</sub> .....	16
Costos de aplicación.....	17
4. Materiales y métodos .....	18
Área de estudio .....	18
Características agroclimáticas .....	18
Antecedentes del huerto.....	18
Metodología para el objetivo 1 .....	19
Aplicación del tratamientos y evaluación.....	19
Época de aplicación de los tratamientos .....	19
Cantidad de biorregulador a aplicar .....	20

Variables a evaluar.....	21
Porcentaje de frutos cosechados.....	21
Porcentaje de frutos partenocárpicos.....	21
Metodología para el objetivo 2 .....	22
Determinación de los costos variables .....	22
Diseño experimental .....	22
5. Resultados y discusión .....	23
Efecto de la aplicación de GA <sub>3</sub> para obtener frutos partenocárpicos de chirimoya ( <i>Annona cherimola</i> ) .....	24
Porcentaje de frutos cuajados.....	24
Porcentaje de frutos partenocárpicos.....	26
Promedio del diámetro polar del fruto .....	28
Promedio del diámetro ecuatorial del fruto .....	29
Peso promedio del fruto a los 150 días .....	31
Número y peso de semillas por fruto.....	32
Peso de la pulpa .....	34
Determinar los costos variables de los tratamientos aplicados.....	34
6. Conclusiones .....	36
7. Recomendaciones.....	37
8. Referencias.....	38
9. Anexos.....	42

## Índice de figuras

Clasificación de los frutos por su forma.....	12
Etapas de desarrollo de la flor. ....	13
Ubicación de la granja El Romeral de la Universidad de Cuenca.....	18
Ubicación de los cinco árboles de chirimoya .....	19
Promedio del porcentaje de frutos cuajados en 5 periodos.....	26
Porcentaje de frutos partenocárpicos a diferentes concentraciones.....	27
Frutos de <i>A. cherimola</i> partenocárpicos por cada tratamiento a los 150 días .....	27
Diámetro polar del fruto .....	28
Diámetro ecuatorial del fruto.....	30
Toma de datos del diámetro polar (a) y diámetro ecuatorial (b) del fruto de chirimoya .....	31
Número de semillas por tratamiento a los 150 días .....	33
Peso de las semillas.....	33
Peso de la pulpa en frutos de chirimoya tratados con GA <sub>3</sub> .....	34

**Índice de tablas**

Clasificación taxonómica de <i>Annona cherimola</i> . Mill	10
Tratamientos aplicados	20
Cantidad de GA <sub>3</sub> a aplicar	20
Variables evaluadas	21
Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las diferentes variables analizadas	23
ANOVA para las diferentes variables	24
Pruebas de significancia para la variable porcentaje de frutos cuajados	25
Pruebas de significancia para la variable promedio del diámetro polar del fruto	28
Prueba de Tukey al 5% para la variable promedio del diámetro ecuatorial del fruto	29
Prueba de Tukey al 0,05% para la variable peso del fruto	31
Costo de aplicación de los tratamientos a los 150 días	35

## Introducción

El uso de tecnologías para inducción de partenocarpia se ha vuelto un pilar fundamental dentro de programas de producción de frutas a nivel nacional e internacional. Muchas frutas que se ofertan en el mercado como *Annona cherimola* presentan un gran número de semillas lo que genera cierto rechazo en el consumidor (Yáñez, 2018).

Es importante mencionar la importancia que se da al cultivo de chirimoya ya que según Yáñez (2018), se encuentra entre las diez frutas de mayor potencial económico que puede ser aprovechado en el Ecuador. Sin embargo, se presenta grandes limitaciones a nivel productivo por sus características fisiológicas ya que posee bajo porcentaje de cuajado (2,5%) debido a que sus flores poseen dicogamia protogínica. Sus frutos son deformes y en algunos casos poseen gran cantidad de semillas, esto repercute en el mercado porque estas características determinan el valor comercial del fruto. Además, a esta problemática se suma la baja incidencia de los agentes polinizadores (Apolonio et al., 2015).

Estudios recientes han demostrado que la manipulación del equilibrio de fitohormonas influye positivamente en la formación de frutos partenocárpicos y otras características fisiológicas generales ligadas al crecimiento y desarrollo de las plantas de la familia *Annonaceae* (Miranda et al., 2005). La inducción de partenocarpia se debe a la acumulación de suficientes niveles de fitohormonas en el ovario para que se desarrolle el fruto sin necesidad de semillas (Leider et al., 2017).

Se busca alternativas para obtener frutos sin semillas en chirimoya mediante la aplicación exógena de ácido giberélico para estimular el crecimiento del ovario al interior de la flor (Sáez, 2016). La aplicación de GA<sub>3</sub> durante la floración favorece al desacoplamiento del periodo de polinización efectiva promoviendo la partenocarpia (Guillem, 2020).

En el contexto desarrollado, esta investigación pretende conseguir un exitoso porcentaje de frutos de *A. cherimola* partenocárpicos con características morfológicas aceptables en el mercado nacional destacando la simetría y buen tamaño, mediante la aplicación de GA<sub>3</sub> (Apolonio et al., 2015). Este experimento se desarrollará en condiciones de campo abierto lo que permitirá determinar el efecto real de este biorregulador, juntamente con las condiciones ambientales de la zona. A su vez, favorecer la economía de los productores que se dedican a la comercialización de este cultivo de alto potencial económico.

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación GA<sub>3</sub> en la inducción de partenocarpia en *Annona cherimola* Mill en la granja El Romeral, Guachapala – Azuay.

### Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de GA<sub>3</sub> para la obtención de frutos partenocárpicos en *Annona cherimola* en la granja El Romeral.
- Determinar los costos variables de los tratamientos aplicados.

## Revisión de literatura

**El cultivo de chirimoya (*Annona cherimola*)**

*Annona cherimola* Mill (chirimoya) es una especie perteneciente a la familia *Annonaceae* del género *Annona*, siendo la especie más representativa de entre las 120 especies de este género (Perrone et al., 2022).

Las especies de la familia *Annonaceae* se caracterizan por tener frutos con gran número de semillas por peso del fruto que representan del 10 al 12% del peso total del fruto Toledo et al. (2019). La polinización manual presenta ciertas desventajas incluyendo el mayor uso de mano de obra y un importante aumento del número promedio de semillas por fruto, por esta razón han surgido técnicas en base a aplicaciones de reguladores de crecimiento vegetal en chirimoya (*A. cherimola*) y atemoya (*A. cherimola* x *A. squamosa*) con el fin de aumentar el cuajado, producción de frutos partenocárpicos y mejorar el estado físico y cualidades químicas de la fruta (Toledo et al., 2019).

Este cultivo presenta diversos problemas a nivel fisiológico, entre ellos, el amarre de los frutos de manera natural es muy bajo, entre 5 y 10%. Por otra parte, la especie presenta una marcada dicogamia protagónica que afecta directamente la producción de frutos, también se ha determinado que el éxito de los polinizadores naturales es deficiente, lo que ha hecho que se generen nuevas técnicas como la polinización manual para incrementar el rendimiento y calidad. Según Apolonio et al. (2015) esto se debe a que la autofertilización en este género es insignificante y la aplicación de estas técnicas asegura la formación de frutos de excelente calidad comercial.

**Origen y taxonomía**

Es una de las especies más difundida en los países subtropicales Gentile et al. (2020). Es un árbol frutal muy difundido en los países tropicales y subtropicales, siendo una especie originaria de los Andes de América del Sur de 700 a 2400 m.s.n.m. (Perrone et al., 2022) en el sur de Ecuador y norte de Perú (Duchi, 2017) y se cultiva en las zonas subtropicales de los valles interandinos semiáridos (Tineo, 2019).

La taxonomía de la chirimoya (Tabla 1) es la siguiente:

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica de Annona cherimola. Mill*

Categoría	Taxón
Reino	Vegetal
Subreino	Embriophyta
División	Spermatophyta

Subdivisión	Angiospermae
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Ranales
Familia	Annonaceae
Subfamilia	Annonoideae
Género	Annona
Especie	<i>Annona cherimola</i> Mill

---

### **Descripción morfológica**

La chirimoya es un árbol semicaduco que puede alcanzar entre 4 a 8 metros de altura que posee un tronco grueso y semicaduco corto, con copa amplia redondeada (Duchi, 2017).

#### **Tallo**

Posee una forma cilíndrica con corteza gruesa de color grisáceo verdosa con vetas poco aparentes (Rodríguez, 2013).

#### **Raíz**

Su sistema radicular es ramificado y superficial, este puede originar de dos a tres pisos de raíces de diferentes niveles, pero poco profundas (Rodríguez, 2013).

#### **Hojas**

Posee hojas alternas, simples, enteras y lisas, poseen forma oblonga lanceolada. Su tamaño es de 10 a 25 cm de longitud con 4 a 8 cm de ancho (Rodríguez, 2013). Su peciolo es relativamente corto y en la zona de inserción al tallo es hueco (Duchi, 2017).

#### **Flores**

Sus flores son hermafroditas, colgante compuesto por estambres y pistilos que son la parte masculina y femenina respectivamente. Cada flor está compuesta por tres pétalos grandes verdes carnosos y tres pétalos pequeños (Duchi, 2017). Su desarrollo es solitario o en grupo de tres, la mismas que presentan una dicogamia marcada (Andino, 2014).

#### **Fruto**

Es un sincarpo, su pulpa es de color blanco y el color del fruto varía de verde claro a verde oscuro dependiendo la variedad. Su forma es de corazón o cónico, cuenta con 10 a 25 cm de longitud y 15 cm de ancho con un peso aproximado que oscila entre 150 a 1000 gramos. Se caracteriza también por estar formado por la unión de pistilos con el receptáculo tipo sincarpo y cuando el óvulo no se fecunda o el polen no cubre el cono pistilar, el carpelo al que corresponde no se desarrolla causando deformaciones en la fruta (Rodríguez, 2013).

Los frutos se clasifican por su forma como se muestra en la Figura 1 en 5 categorías: lisa, impresa, mammillata, tuberculata y umbonata (Andino, 2014).

**Figura 1**

*Clasificación de los frutos por su forma.*



Fuente: (Andino, 2014).

**Semillas**

Son aplanadas, ovaladas y su color puede variar de acuerdo al grado de madurez de la fruta que van desde color amarillento, marrón hasta ser de color negro por completo (Duchi, 2017).

**Estados de florales de la chirimoya**

En la flor de la chirimoya se encuentran agrupados los pistilos formando una pirámide que muestran tres caras que se conocen como cono estigmático, en su base se encuentra el grupo de estambres de color blanco cuando las flores son hembras o pre hembras. La flor pasa por cuatro etapas determinantes en su desarrollo (Figura 2).

1. Flor cerrada: Cuando se encuentra en botón floral, esta permanece así entre 30 a 40 días hasta que se desarrolle.
2. Flor pre hembra: Esta transición ocurre después de las 8:00am hasta las 13:00 horas del primer día, en esta etapa la flor se encuentra semi abierta y el polen está disponible para la extracción para labores de polinización manual.
3. Flor hembra: Este proceso ocurre desde las 14:00 horas del primer día con duración de 2 días cuando los pétalos están regularmente separados y es el estado óptimo para extraer el polen.
4. Flor macho: Esto ocurre entre las 16:00 a 18:00 horas cuando los pétalos de la flor están completamente abiertos y es cuando la flor expulsa el polen. En este estado no se recomienda recolectar el polen ya que están resacos (Tineo, 2019).

**Figura 2**

*Etapas de desarrollo de la flor.*



Fuente: (Andino, 2014)

### **Condiciones climáticas para el cultivo de chirimoya**

El cultivo se adapta a condiciones climáticas templado seco y templado semihúmedo a altitudes que van desde los 1500 a los 2600 m.s.n.m (Duchi, 2017). Su proceso de defoliación inicia en los meses junio a septiembre y la floración inicia en los meses de noviembre a enero y sus picos de producción es entre el mes de mayo a julio (Yáñez, 2018). La temperatura óptima de crecimiento oscila entre 15 y 25 ° C, pero cuando el rango de temperaturas no son las óptimas la calidad del fruto disminuye de manera significativa, no es resistente a heladas por lo que se afecta el cuajado de los frutos. Existen efectos colaterales cuando la temperatura aumenta drásticamente afectando las hojas y frutos expuestos al sol (García et al., 2010).

En cuanto a la humedad relativa, la chirimoya se adapta a rangos que van desde el 50 al 85%. Sin embargo, las humedades altas ayudan al proceso de germinación del grano de polen mejorando de manera significativa el cuajado de la fruta. Por otra parte, la precipitación óptima se encuentra en rangos de 675 a 1000 mm anuales que generalmente se presentan en los meses de octubre a mayo.

Es importante también tener en cuenta que los vientos fuertes pueden dañar la forma de crecimiento del árbol, de su copa e incluso puede tumbar por completo al árbol. Cuando existe

excesivo viento, el proceso de floración y cuajado de los frutos se llegan a alterar ya que se reduce el porcentaje de humedad (Rodríguez, 2013).

### **Importancia económica del cultivo de *A. cherimola***

#### **Producción de chirimoya en Ecuador**

Los niveles de producción de chirimoya (*Annona cherimola*) en Ecuador son relativamente bajos debido a que a nivel institucional no se pone el debido énfasis en la generación de tecnologías para la resolución de problemáticas existentes en torno a este cultivo, tales como: frutos de baja calidad y uniformidad, polinización natural inefectiva, pocos picos de producción anual debido a los largos periodos de reposo requeridos por la planta y el difícil manejo de los árboles ya que estos son muy altos Yáñez (2018). La concentración de cosechas se da en pocos meses del año con largos periodos de reposo de las plantas, sumado al ataque de la posta de la fruta, ocasionando que los agricultores de la zona tengan baja rentabilidad e ingresos económicos en esta actividad (Andino, 2014). Sin embargo, la chirimoya es considerado como un cultivo con grandes expectativas para consumo nacional y exportación ya que el Ecuador tiene potencialidades para este cultivo según Duchi (2017).

La producción de chirimoya está concentrada en las provincias de Imbabura, Tungurahua, Pichincha, Azuay y Loja, y para el año 2016 el número de árboles cosechados fue de 21224, con una producción total de 238 toneladas métricas representando el 1% de producción agrícola en el Ecuador (Guale & Vera, 2021).

#### **Fitohormonas**

El proceso de desarrollo de las plantas está fuertemente controlado por el balance hormonal (Martínez, 2015). Esto se debe a que las semillas de las especies frutales tienen una fuerte relación con el crecimiento del fruto y la producción de fitohormonas tales como las auxinas y giberelinas que son las responsables del incremento de la masa del fruto (Toledo et al., 2019). El número y distribución de los óvulos fecundados son determinantes en la simetría de los frutos ya que esta es una característica que da el valor comercial al fruto de chirimoya (Apolonio et al., 2015).

Según Iranza (2015), el desarrollo de frutos sin semillas depende principalmente de las hormonas que se sintetizan por la capacidad sumidero que otorga, esto se podría mejorar con técnicas agronómicas adecuadas que mejoren la disponibilidad de carbohidratos o que aumenten la capacidad sumidero de los frutos como la aplicación de auxinas de síntesis. Sin embargo, Lobo (2007) menciona que la producción de plantas sin semillas se puede obtener mediante la manipulación de las bases genéticas mediante técnicas de hibridación interespecíficas como lo demostró en su artículo titulado "Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual" donde se realizó hibridación interespecífica de la familia *Solanaceae* entre los taxa de la sección *Lasiocarpa* indicando que las combinaciones

viables son hibridaciones de *Solanum quitoense* x *Solanum hirtum* empleando el método de rescate de embriones donde se obtuvo plantas sin semillas.

Las semillas de los frutales tienen una fuerte relación con el crecimiento del fruto, así como en la producción de fitohormonas como las auxinas y giberelinas que son las responsables del incremento de la masa del fruto. El número y distribución de los óvulos fecundados son determinantes en la simetría de los frutos ya que esta es una característica que da el valor comercial al fruto de chirimoya (Apolonio et al., 2015).

### **Giberelinas**

Las giberelinas son compuestos naturales que intervienen en el crecimiento vegetal, su nombre proviene de un hongo del género *Gibberella* (Matailo & Matute, 2022). Según Camayo (2019), las giberelinas presentes en las plantas son fitohormonas encargadas de regular diferentes procesos del desarrollo de las plantas y se encargan de modular respuestas de crecimiento tales como la germinación de las semillas, crecimiento del tallo, frutos partenocárpicos, elongación de la raíz, expansión foliar y la floración. Sólo las giberelinas biológicamente activas cumplen con estas funciones ya que, por otro lado, las giberelinas no bioactivas están presentes en los tejidos vegetales como precursores de las formas bioactivas o como metabolitos desactivados.

### **Partenocarpia**

La partenocarpia hace referencia a la producción de frutos sin semillas, característica asociada generalmente a la ausencia de fecundación (Martínez, 2015) y en función del mecanismo se clasifican en dos tipos de partenocarpia: obligada o estimulativa. La partenocarpia obligada hace referencia al cuajado de frutos sin estímulos externos ya que estas variedades están relacionadas a la esterilidad gamética absoluta tanto masculina como femenina. Por otra parte, la partenocarpia estimulativa está relacionada con la esterilidad gamética relativa y es aquella que requiere estímulos para la producción de frutos, puede ser mediante la polinización, germinación de polen o crecimiento de tubo polínico sin fecundación (Chouza, 2010).

En general, las frutas sin semillas tienen menor peso, longitud y diámetro en comparación con los frutos con semillas, estas características resultan muy deseables si la calidad no se ve afectada negativamente (Toledo et al., 2019). Sin embargo, se ha reportado afecciones en las características organolépticas, azúcares solubles y totales, acidez y color de frutos en la cosecha a causa de la ausencia de la semilla según Mesejo et al. (2010) y estas características podrían representar una importante limitante en su comercialización (Guillem, 2020).

### **Inductores de partenocarpia**

La inducción de la partenocarpia es una práctica de alto valor comercial utilizada en diferentes cultivos de interés, ya que su propósito es eliminar o disminuir la presencia de semillas sin afectar la productividad y calidad de los frutos Chouza (2010). Esta característica mejora la calidad de los frutos en varios aspectos ya que representa una ventaja para el consumidor cuando no hay semillas que podrían ser duras o tener sabor desagradable (Martínez, 2015). La partenocarpia se puede obtener mediante diferentes métodos como: aplicación de sustancias químicas que pueden ser reguladores, inhibidores de desarrollo, entre otras Chouza (2010). Por otra parte, la aplicación exógena de GA<sub>3</sub> permite desacoplar el periodo de polinización efectiva, evitando la fecundación del óvulo provocando la partenocarpia en numerosas especies de cítricos, uva y níspero japonés (Guillem, 2020). Con la aplicación exógena de hormonas vegetales se puede superar el umbral de concentración hormonal necesario para el cuajado de frutos, para la inducción de partenocarpia se aplica citoquininas y poliaminas, pero las auxinas y giberelinas han sido las predominantes en la regulación del proceso de cuaje de frutos y la combinación de estos dan lugar a frutos sin semillas (Martínez, 2015).

### **Partenocarpia por aplicación exógena de GA<sub>3</sub>**

La polinización natural y la combinación de 10 y 100 mg/L de GA<sub>3</sub> no dio resultados eficientes ya que la fructificación no fue suficiente, mientras que la polinización natural más 1000 mg/L de GA<sub>3</sub> dio como resultado un cuajado medio del 5%, 25% y 90% en *Annona squamosa*. En contraste, la polinización manual más 1000 mg/L de GA<sub>3</sub> fue el más efectivo y resultó en la fruta más grande, por lo que los autores recomiendan que este tratamiento aplicado a atemoya 'Gefner' puede ser una alternativa para la producción de frutos partenocárpicos (Toledo et al., 2019).

En la aplicación de ácido giberélico GA<sub>3</sub> para obtener frutos sin semillas es indispensable considerar el método y épocas de aplicación, se conoce que el éxito de este regulador de crecimiento se da en concentraciones que van desde 50 hasta 500 ppm (Varela et al., 2018). Sin embargo, los factores hortícolas que regulan la efectividad del GA<sub>3</sub> para producir frutos partenocárpicos en algunas especies siguen sin estar claros todavía.

La aplicación exógena de ácido giberélico en pre y post-antesis en vid, ha inducido con éxito la partenocarpia en relación a los factores de aplicación de GA<sub>3</sub> como la concentración, momento de aplicación, estado de desarrollo de las flores y condiciones climáticas. Sin embargo, la aplicación de GA<sub>3</sub> para inducir partenocarpia resulta complejo cuando la fertilidad del polen es alta (Chouza, 2010).

La aplicación a diferentes concentraciones de GA<sub>3</sub> (50, 100 y 200 ppm) en flores emasculadas repercute directamente en las características morfológica, la relación pulpa/peso del fruto y

Brix en pulpa y cáscara. También, la longitud, diámetro y peso de frutos partenocárpicos es menor en comparación a frutos sin aplicación de GA<sub>3</sub>, pero a mayores concentraciones se produce mejores resultados en relación al desarrollo de frutos sin semillas según Varela et al. (2018).

Las respuestas a estímulos externos resultan variables debido a la amplia divergencia genética en las variedades estudiadas, en el estudio realizado por Toledo et al., (2019) se ha reportado que la polinización natural más 1000 mg/L de GA<sub>3</sub> produjo frutos partenocárpicos de atemoya variedad Gefner, mientras que esta misma concentración con polinización manual resultó en un menor número de semillas por 100 g de fruta y pulpa sin afectar la calidad de fruto en variedad Lessard Thai.

### **Costos de aplicación**

Para el cálculo de los costos de aplicaciones de ácido giberélico, se debe considerar la cantidad utilizada en gramos y en mililitros, para ello se toma en cuenta la cantidad de todos los tratamientos y por otra parte la mano de obra necesaria para la aplicación los tratamientos (Yáñez, 2018).

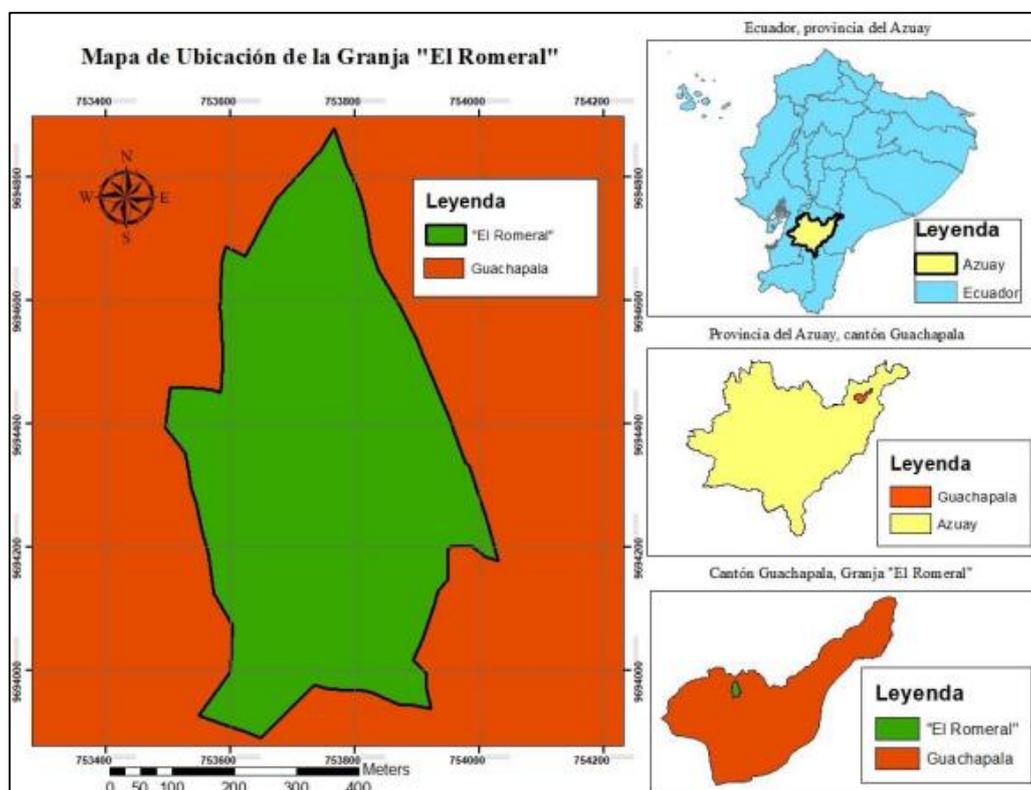
## Materiales y métodos

### Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la granja El Romeral de la Universidad de Cuenca (Figura 3), ubicada en el cantón Guachapala a 45 km del cantón Cuenca, Azuay en coordenadas 9694168,6 N; 753882,3 E en la zona 17 hemisferio sur del sistema UTM, en un huerto de chirimoya (*A. cherimola*) de 16 años (Días, 2010).

### Figura 3

*Ubicación de la granja El Romeral de la Universidad de Cuenca*



Fuente: (González, 2019)

### Características agroclimáticas

La zona de estudio está ubicada a 2200 m.s.n.m. y tiene una pluviosidad anual promedio de 500 a 1000 mm con temperatura media anual de 15 a 18 °C según un estudio realizado por Días, (2010) y humedad relativa de 79% (Borja & Cornejo, 2022).

### Antecedentes del huerto

Los árboles que se usaron en la investigación (Figura 4) son de la variedad Cumbe injertado sobre portainjerto de chirimoya nacional, con una distancia de plantación de 3,5 m entre plantas y 5 m entre hileras plantadas en un diseño de plantación rectangular, la plantación cuenta con un sistema de conducción en copa abierta y con riego por goteo.

**Figura 4***Ubicación de los cinco árboles de chirimoya*

Fuente: Google Earth

### **Metodología para el objetivo 1**

#### **Aplicación del tratamientos y evaluación**

Previa la aplicación de los tratamientos se realizó la defoliación manual y la poda de producción con tijeras y sierra de podar en los 5 árboles de chirimoya previamente seleccionados a los cuales se los marcó con cinta, y a los 7 días de la poda se aplicó Dormex al 0,5% (cianamida hidrogenada 52%) para uniformizar la brotación. Luego de 71 días de la poda de producción, en la etapa de floración de los árboles se seleccionaron flores con las características del estado fenológico hembra, las cuales fueron marcadas con cintas de diferentes colores representando cada tratamiento a aplicar.

Posteriormente, se aplicó los 6 tratamientos de GA<sub>3</sub> con una piseta en el interior de las flores en estado fenológico hembra, cada aplicación se lo realizó con dos chorros. La primera aplicación se hizo al inicio del experimento, la segunda a los 30 días y la tercera a los 60 días después de la primera aplicación sobre el fruto cuajado con la piseta. Se seleccionaron 5 flores en estado de hembra por cada tratamiento ubicadas en la parte media del árbol, siendo ésta la unidad experimental, lo que da un total de 30 flores por árbol. Se utilizó 5 repeticiones por lo que se requirió un total de 150 flores para el experimento. La evaluación final se realizó a los 150 días de la primera aplicación de tratamientos.

#### **Época de aplicación de los tratamientos**

Se aplicó los 6 tratamientos de GA<sub>3</sub> en tres momentos por cada tratamiento: aplicación en flor estado hembra 0 días, 30 y 60 días después de la primera aplicación tal como se describe en

la Tabla 2. Los tratamientos utilizados fueron: 0, 90, 95, 100, 105, 110 ppm, cada uno con su respectivo color de referencia.

**Tabla 2**

*Tratamientos aplicados*

N.º tratamiento	Biorregulador	Dosis (ppm)	Momento de aplicación	Color referencial (Marca en flores)
1	Testigo	0	Flor hembra 30 DDAT 60 DDAT	Negro
2	GA <sub>3</sub>	90	Flor hembra 30 DDAT 60 DDAT	Amarillo
3	GA <sub>3</sub>	95	Flor hembra 30 DDAT 60 DDAT	Azul
4	GA <sub>3</sub>	100	Flor hembra 30 DDAT 60 DDAT	Rojo
5	GA <sub>3</sub>	105	Flor hembra 30 DDAT 60 DDAT	Verde
6	GA <sub>3</sub>	110	Flor hembra 30 DDAT 60 DDAT	Violeta

*Nota.* GA<sub>3</sub>: Ácido giberélico; DDAT: Días después de la aplicación del tratamiento

### Cantidad de biorregulador a aplicar

Las soluciones de GA<sub>3</sub> que se empleó en cada tratamiento se prepararon en el laboratorio de la Granja El Romeral. Para ello, se transformó las concentraciones de ppm a g/L usando la siguiente fórmula:  $g/L = (ppm \times 0,1) / \% \text{ i.a}$

Posteriormente, se pesó el ácido giberélico en gramos en la balanza digital para diluir en agua (Tabla 3) y colocarla en las pisetas de cada tratamiento mezclando bien para que la solución se homogenice por completo. Cada concentración se fraccionó para ¼ de litro de agua para evitar desperdiciar producto en cada aplicación.

**Tabla 3**

*Cantidad de GA<sub>3</sub> a aplicar*

Producto	Nombre comercial	% I. A	Concentraciones de GA <sub>3</sub> (ppm)	Cantidad (g/L)
			00	0,00
GA <sub>3</sub>	New Gibb	10	90	0,90
			95	0,95

100	1,00
105	1,05
110	1,10

*Nota.* GA<sub>3</sub>: Ácido giberélico; ppm = partes por millón.

### **Variables a evaluar**

A los 150 días de la primera aplicación se realizó la cosecha y conteo manual de todos los frutos cuajados de cada tratamiento. Posteriormente, se realizaron las mediciones de los frutos obtenidos de cada tratamiento, como primer parámetro se midieron los diámetros polar y ecuatorial con un calibrador, el peso del fruto con una balanza digital en el laboratorio posterior a su cosecha a los 150 días, se hizo el conteo del número de semillas por fruto, luego se calculó el peso de la pulpa de los frutos y por último, se pesó las semillas de cada fruto en unidad de gramos (Tabla 4), que fueron previamente lavadas para eliminar por completo los residuos de la pulpa. Los diámetros polar y ecuatorial que son expresados en centímetros, se midieron a los 30, 60, 90, 120 y 150 días de la primera aplicación de tratamientos.

**Tabla 4**

*Variables evaluadas*

Tipo	Variable	Unidad
Variable dependiente	Diámetro polar	cm
	Diámetro ecuatorial	cm
	Peso del fruto	g
	Semillas por fruto	U
	Peso de la pulpa	g
	Peso de semillas por fruto	g
	Frutos cuajados	%
	Frutos partenocárpicos	%
Variable independiente	Concentración de GA <sub>3</sub>	ppm

*Nota.* ppm: partes por millón.

### **Porcentaje de frutos cosechados.**

Se realizó el cálculo del porcentaje de todos los frutos cosechados por tratamiento a los 150 días después de la primera aplicación usando la fórmula:

$$\% \text{Frutos cosechados} = (\text{Total de frutos cosechados} / \text{Total de frutos}) \times 100$$

### **Porcentaje de frutos partenocárpicos.**

De igual manera se realizó el cálculo del porcentaje de todos los frutos partenocárpicos por tratamiento a los 150 días después de la primera aplicación usando la fórmula:

$$\% \text{Frutos partenocárpicos} = (\text{Total de frutos partenocárpicos} / \text{Total de frutos}) \times 100$$

## **Metodología para el objetivo 2**

### **Determinación de los costos variables**

Para la evaluación de los costos totales de la investigación se determinó los costos variables de los insumos utilizados y la mano de obra, esto para una hectárea. Para los costos de los insumos utilizados se evaluó el costo comercial del producto de GA<sub>3</sub>. Posteriormente se realizó una comparación entre los costos totales por cada tratamiento para determinar el tratamiento menos costoso.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) donde se aplicaron seis tratamientos (0, 90, 95, 100, 105, 110 ppm GA<sub>3</sub>). Se utilizaron 5 bloques que consistió en un árbol cada uno. Cada repetición constó de 5 flores, siendo ésta la unidad experimental que fueron tomadas al azar en estado fenológico hembra a manera de subréplica

Los datos de las variables: número de frutos cosechados a los 150 días de la primera aplicación, peso del fruto, los diámetros polar y ecuatorial (a los 30, 60, 90, 120 y 150 días), número de semillas por fruto, peso de la pulpa (incluida la corteza) y el peso de las semillas del fruto fueron analizadas en el programa estadístico Infostat.

### Resultados y discusión

En la presente investigación se realizó el análisis de homogeneidad y homocedasticidad de varianzas mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilk y Levene para determinar la homocedasticidad en el programa estadístico Infostat y comprobar si los datos se ajustan a la curva normal cumplir con los supuestos requeridos por ANOVA. En la Tabla 5 se puede observar el valor p de las variables en los diferentes periodos de la investigación, de acuerdo a estos valores, las variables frutos cuajados a los 30, 90, 120 y 150 días y el diámetro polar a los 90 días no cumplen con los supuestos requeridos por el ANOVA por lo que se aplicaron pruebas no paramétricas, mientras que las variables que cumplieron con el supuesto de normalidad ( $p > 0,05$ ) se analizaron con pruebas paramétricas verificando también el cumplimiento de la precondition de homocedasticidad.

**Tabla 5**

*Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las diferentes variables analizadas*

Variables	Período	Normalidad ( $p > 0,05$ )
Frutos cuajados	30 días	0,0179
	60 días	0,4620
	90 días	0,0003
	120 días	0,0350
	150 días	0,0132
Diámetro polar del fruto	30 días	0,8887
	60 días	0,1329
	90 días	0,0035
	120 días	0,8624
	150 días	0,7863
Diámetro ecuatorial del fruto	30 días	0,4235
	60 días	0,5800
	90 días	0,0625
	120 días	0,8377
	150 días	0,3879
Peso del fruto	150 días	0,0714
Número de semillas	150 días	0,6510
Peso de la pulpa	150 días	0,4054
Peso de las semillas	150 días	0,1036

*Nota:* Para valores  $p > 0.05$  se asume normalidad de los residuos.

## Efecto de la aplicación de GA<sub>3</sub> para obtener frutos partenocárpicos de chirimoya

### (*Annona cherimola*)

Con las variables que cumplen con la normalidad se realizó un ANOVA como se muestra en la Tabla 6, para el primer objetivo, y analizar si existen o no diferencias significativas entre los tratamientos. Mientras que, para las variables que no presentaron normalidad se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

**Tabla 6**

*ANOVA para las diferentes variables*

Variable	Valor <i>p</i>
Diámetro polar del fruto 30	<0,0001
Diámetro polar del fruto 120	0,3739
Diámetro polar del fruto 150	0,5676
Diámetro ecuatorial del fruto 30	<0,0001
Diámetro ecuatorial del fruto 120	0,2869
Diámetro ecuatorial del fruto 150	0,5005
Peso del fruto	0,0714
Peso de la pulpa	0,5315
Peso de las semillas	0,4985

### Porcentaje de frutos cuajados

Al realizar el ANOVA para la variable porcentaje de frutos cuajados a los 60 días se logró determinar que existen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo los mejores tratamientos con la aplicación de ácido giberélico en concentraciones de 90, 95, 105 y 110 ppm, siendo la concentración de 95 ppm de GA<sub>3</sub> la que mejor resultados obtuvo con 96% de frutos cuajados de chirimoya, mientras que en el testigo (0 ppm) se obtuvo únicamente el 20% de frutos cuajados (Tabla 7). Para los periodos de 30, 90, 120 y 150 días se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis la cual, para el periodo de 30, 90, 120 y 150 días se observó diferencias significativas entre los tratamientos con p-valor de 0,0066. Con esto, se puede afirmar que la aplicación de ácido giberélico aumenta considerablemente el porcentaje de frutos cuajados en diferentes periodos de aplicación siendo este el mejor tratamiento para el cuajado de los frutos de chirimoya.

**Tabla 7***Pruebas de significancia para la variable porcentaje de frutos cuajados*

Tratamientos	Medias				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
0 (control)	20	00 B	00 B	00 B	00 B
90 ppm	92	84 A	64 A	44 A	44 A
95 ppm	96	92 A	68 A	41 A	48 A
100 ppm	92	80 A	68 A	38 A	36 A
105 ppm	96	92 A	72 A	34 A	40 A
110 ppm	88	88 A	72 A	31 A	56 A

*Nota:* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) para la prueba paramétrica

En la Figura 5 se observa que la aplicación de diferentes concentraciones de ácido giberélico (90, 95, 100, 105 y 110 ppm) mejora el porcentaje frutos cuajados en contraste al control ya que en este tratamiento a los 60 días se perdieron los frutos en su totalidad.

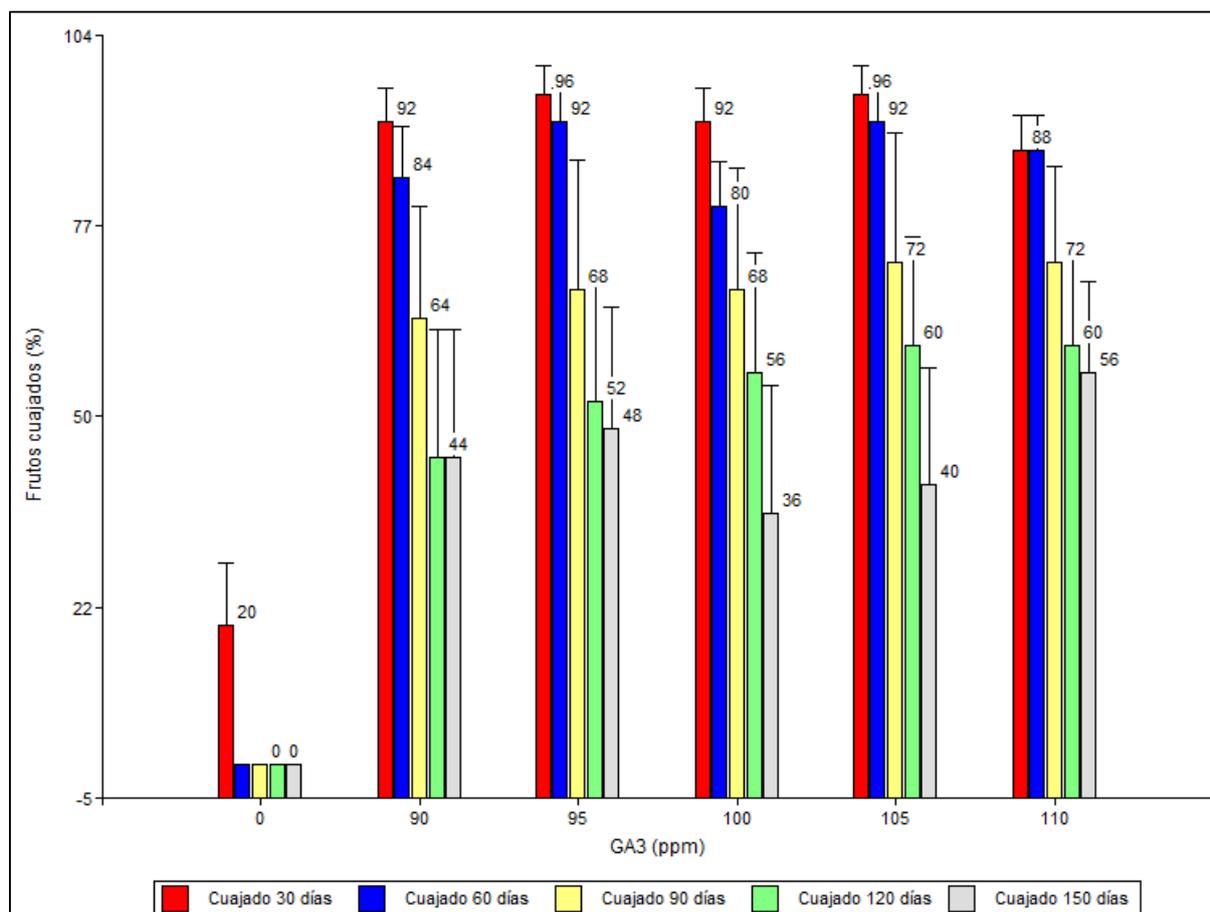
Se encontró que la aplicación de ácido giberélico de 95 ppm y 105 ppm a los 30 días da un porcentaje de cuajado del 96%. Por otra parte, a los 60 días se puede observar que el porcentaje de cuajado con la aplicación de 95 ppm se redujo al 92% mientras que el tratamiento control se redujo al 0% de frutos cuajados y para los 150 días el porcentaje de frutos cuajados disminuyó hasta el 56% con aplicación de 95 ppm de GA<sub>3</sub>.

Según Tumiur & Devi (2018), la aplicación de GA<sub>3</sub> en tomate de árbol (*Solanum betaceum*) no tiene efecto sobre el porcentaje promedio de frutos cuajados ya que el tratamiento control tiene el mayor porcentaje de la formación de los frutos con el 9,40% mediante 6 aplicaciones de GA<sub>3</sub> hasta los 32 días, mientras que, a diferencia de esta investigación el tratamiento control (0 ppm GA<sub>3</sub>) tuvo el porcentaje más bajo de frutos cuajados con el 20% en contraste del 96% con la aplicación de ácido giberélico con una aplicación de GA<sub>3</sub> en el mismo periodo. Sin embargo, los autores Toledo et al. (2019) indican que el uso de polinización natural en combinación de concentraciones muy bajas de GA<sub>3</sub> no dan resultados suficientes en cuanto a la fructificación, mientras que la combinación de polinización manual y 1000 mg/L GA<sub>3</sub> da como resultados un cuajado medio de 5% en frutos de *Annona squamosa* L. a los 150 días de la aplicación de los tratamientos. Sin embargo, se pudo determinar que la aplicación de bajas concentraciones de GA<sub>3</sub> y polinización manual da un mayor porcentaje de cuajado entre 36 y 56% en un mismo período de tiempo en frutos de *Annona cherimola*. Ante esto, los autores explican que el cuajado de frutos de muchas especies es un rasgo complejo y se encuentra asociado a la capacidad de producir fitohormonas en frutos y semillas. Por otra parte, de Oliveira et al. (2018) lograron determinar un porcentaje del 85% del cuaje de frutos de *Annona*

sin polinización artificial a los 35 días después de la antesis en concentraciones de 1000 mg/L de GA<sub>3</sub> con aplicaciones en cuatro momentos, considerando también que hubo una caída en la semana 10 y 14, teniendo así un comportamiento similar a esta investigación en concentraciones más bajas de GA<sub>3</sub>. Los autores destacan que el porcentaje de fructificación se atribuye a factores como las condiciones climáticas ya que la temperatura y humedad relativa están correlacionadas con la viabilidad de granos de polen y el GA<sub>3</sub> actúa sobre el cuajado y fructificación efectiva en varias especies.

**Figura 5**

*Promedio del porcentaje de frutos cuajados en 5 periodos*



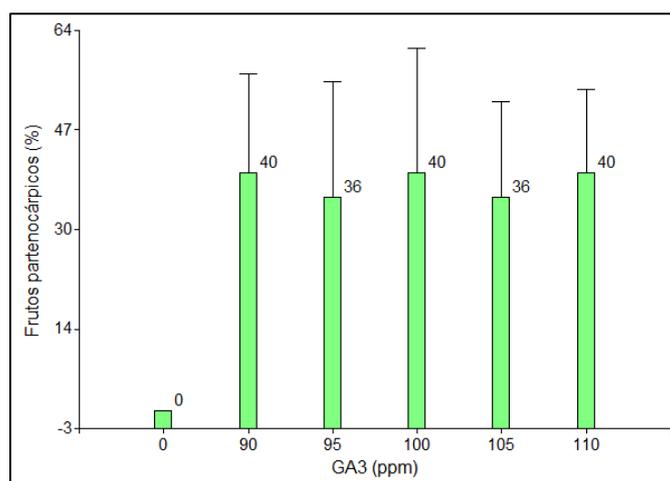
**Porcentaje de frutos partenocárpicos**

El ANOVA indicó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos con ácido giberélico (Figura 6), mientras que esta variable no se pudo evaluar en el control debido a la ausencia de frutos en este tratamiento a los 150 días. El análisis del porcentaje de frutos partenocárpicos (Figura 7), se realizó al momento de la recolección de frutos a los 150 días. Estos resultados contrastan con la investigación realizada por Yáñez, (2018) ya que, con la misma especie en estudio y época de aplicación, T3 (1000 ppm GA<sub>3</sub>) y T2 (500 ppm de GA<sub>3</sub>) a los 90 días lograron obtener el 100% de frutos partenocárpicos, esto se puede atribuir a que

em esta investigación se aplicó concentraciones más altas de GA<sub>3</sub>. Sin embargo, se sabe que el manejo de diferentes concentraciones de GA<sub>3</sub> modifica el índice de partenocarpia como indica Guillem (2020) donde se ha reportado que la aplicación repetida, hasta 3 veces de 50 ppm de GA<sub>3</sub> en época de floración en estado de botón floral hasta la antesis, no alcanzó diferencias significativas en la obtención de frutos partenocárpico de 0,35 paletines/rama frente al control. Mientras que en el estudio realizado por Chouza (2010), se determinó el efecto de la aplicación simple y doble de GA<sub>3</sub> (100 mg/L) sobre la presencia y número promedio de semillas por fruto en mandarina “Nancy” en estado floral 59 de escala BBCH logró disminuir significativamente el número de semillas verdaderas y totales en relación al control lo que coincide con esta investigación, ya que la aplicación de concentraciones de ácido giberélico fue significativo en comparación que el tratamiento control. Estos autores mencionan también que se logró mantener el rendimiento en número de frutos promedio producidos por planta en el tratamiento de simple aplicación de GA<sub>3</sub>.

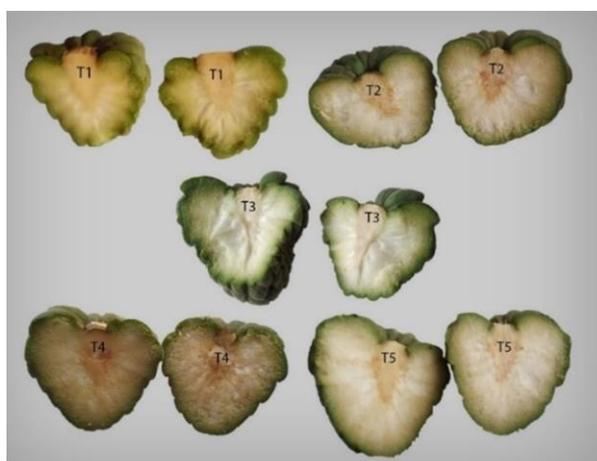
**Figura 6**

*Porcentaje de frutos partenocárpico a diferentes concentraciones*



**Figura 7**

*Frutos de A. cherimola partenocárpico por cada tratamiento a los 150 días*



### Promedio del diámetro polar del fruto

Una vez realizado el ANOVA la variable diámetro polar del fruto (Figura 8) y comprobar la significancia se analizaron los datos mediante la prueba Tukey al 5% (Tabla 8) para los periodos (30, 60, 120 y 150 días) mientras que para la variable en el periodo de 90 días se analizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos a los 30 días ya que la aplicación de ácido giberélico en diferentes concentraciones actúa sobre el aumento del diámetro polar de los frutos de chirimoya en contraste al testigo (0 ppm GA<sub>3</sub>) que tuvo un promedio de 0,29 cm de diámetro mientras que el mejor tratamiento con ácido giberélico tuvo un promedio de 0,79 cm de diámetro en concentración de 90 ppm de GA<sub>3</sub>.

**Tabla 8**

*Pruebas de significancia para la variable promedio del diámetro polar del fruto*

Tratamientos	Medias				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
0 (control)	0,29 B	sd	sd	sd	sd
90 ppm	0,69 A	1,22 A	1,35 A	2,15 A	2,17 A
95 ppm	0,75 A	1,32 A	1,75 A	2,47 A	3,12 A
100 ppm	0,78 A	1,44 A	1,75 A	2,13 A	2,60 A
105 ppm	0,79 A	1,43 A	1,68 A	2,00 A	2,47 A
110 ppm	0,74 A	1,47 A	1,74 A	2,45 A	2,97 A

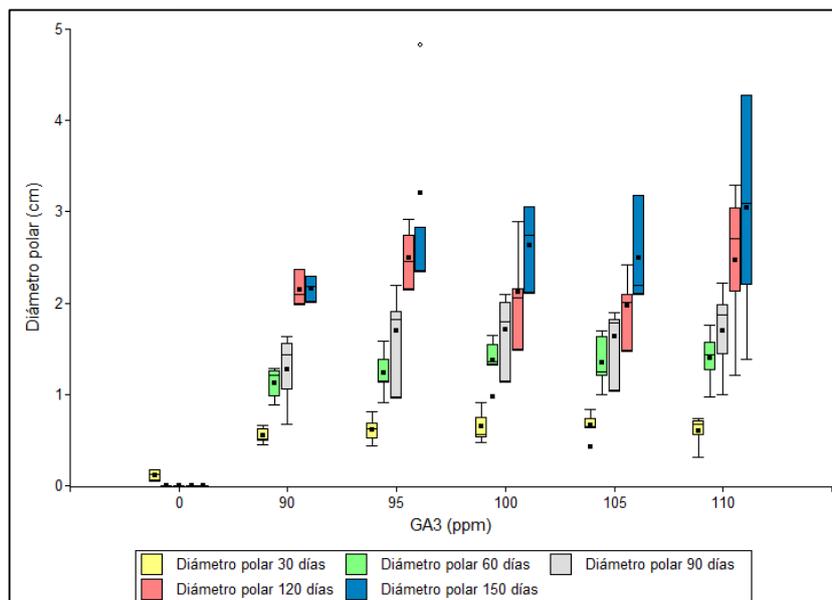
*Nota:* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) para la prueba paramétrica. "sd" indica que no existieron datos para este tratamiento por la ausencia de frutos.

En la Figura 8 se puede observar que la aplicación de ácido giberélico incrementó el diámetro polar de los frutos a los 30 días frente al testigo. Sin embargo, para las demás fechas de muestro no se detectaron diferencias entre las diferentes concentraciones de GA<sub>3</sub> no existen diferencias significativas, mientras que en el tratamiento testigo no existen datos por lo que todos sus frutos cayeron.

Estos resultados difieren con los encontrados por Matailo & Matute (2022), Yáñez (2018), Toledo et al. (2019) y Tumiur y Devi (2018) ya que en sus investigaciones se determinó que el control tuvo el mejor rendimiento en cuanto al incremento del diámetro polar y ecuatorial de los frutos frente a los tratamientos a diferentes concentraciones de ácido giberélico en diferentes especies mientras que en esta investigación se demostró que el control fue el peor tratamiento frente a los tratamientos con aplicaciones de GA<sub>3</sub>.

**Figura 8**

*Diámetro polar del fruto*



**Promedio del diámetro ecuatorial del fruto**

Una vez comprobada la normalidad y homocedasticidad de la variable diámetro ecuatorial del fruto, se aplicó un ANOVA la cual dio significancia estadística, posteriormente se analizaron los datos mediante la prueba Tukey al 5% (Tabla 9) a los 30, 60, 120 y 150 días y se encontró diferencias significativas entre los tratamientos a los 30 días, se pudo verificar que la aplicación de ácido giberélico a diferentes concentraciones aumenta el promedio del diámetro ecuatorial de los frutos de chirimoya frente al testigo que tuvo un promedio de 0,30 cm de diámetro mientras que el mejor tratamiento con ácido giberélico fue de 0,91 cm a una concentración de 100 ppm en un periodo de 30 días y a los 150 días el tratamiento que tuvo una mejor respuesta fue el tratamiento 2 (95 ppm GA<sub>3</sub>).

**Tabla 9**

*Prueba de Tukey al 5% para la variable promedio del diámetro ecuatorial del fruto*

Tratamientos	Medias				
	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
0 (control)	0,30 B	sd	sd	sd	sd
90 ppm	0,78 A	1,30 A	0,17 A	2,25 A	2,36 A
95 ppm	0,86 A	1,33 A	1,84 A	2,53 A	3,54 A
100 ppm	0,91 A	1,49 A	1,83 A	2,23 A	2,75 A
105 ppm	0,90 A	1,43 A	1,76 A	2,06 A	2,73 A
110 ppm	0,86 A	1,50 A	1,79 A	2,56 A	0,60 A

*Nota:* Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). “sd” indica que no existieron datos para este tratamiento por la ausencia de frutos.

En la Figura 9 se puede observar que la aplicación de ácido giberélico aporta al incremento del diámetro de los frutos en al menos 30 días (Figura 10). Sin embargo, las diferentes

concentraciones no muestran diferencias significativas. En el tratamiento control todos sus frutos cayeron después de la evaluación de los 30 días.

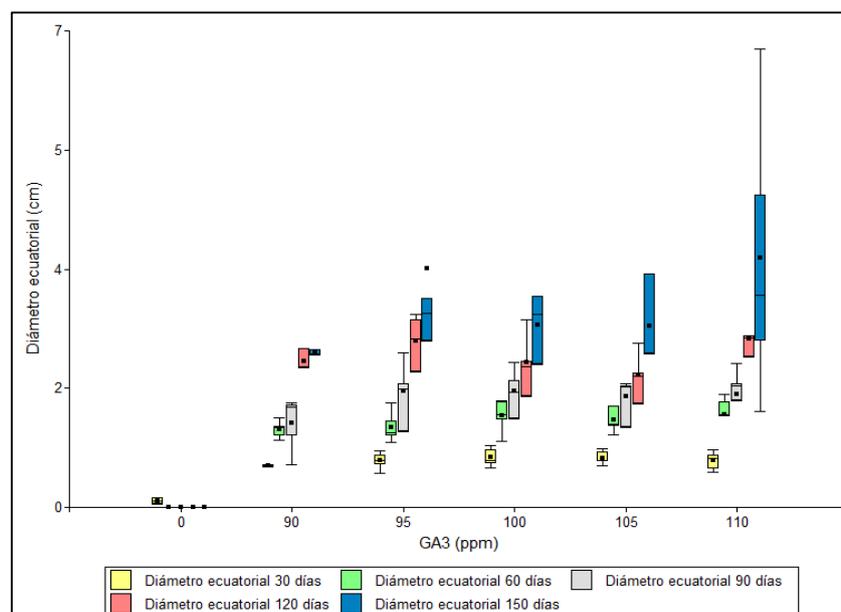
Según Yáñez (2018), todos los tratamientos con reguladores hormonales presentaron una tendencia de crecimiento de los frutos, es decir que tienen influencia en el incremento del diámetro polar y ecuatorial de los frutos de chirimoya a los 30 y 60 días, siendo T3 (1000 ppm de GA<sub>3</sub>) el que tuvo mayor efectividad superando al testigo con polinización manual.

Autores como Pereira et al. (2014) señalan que la aplicación de ácido giberélico asociados o no con ácido naftalenoacético en flores de atemoya 'Gefner' da como resultado frutos tardíos y con diámetros polar y ecuatorial más bajos a comparación de las obtenidas por polinización artificial pero, estos autores destacan que estos tratamientos tuvieron un efecto positivo sobre la obtención de frutos sin semillas, proporción de pulpa y contenido de sólidos solubles.

Por otra parte, los autores Mota et al. (2012) resaltan que no hubo efecto en la aplicación de ácido giberélico en el incremento del diámetro polar y ecuatorial en los frutos de *Annona squamosa*. Cabe destacar que en esta investigación la aplicación de GA<sub>3</sub> se la realizó en dosis de 1 g/L en cuatro repeticiones a los 13, 27, 41 y 54 días después de la primera aplicación con auxinas de tipo ácido indol butírico, ácido indol acético, ácido naftaleno acético y ácido diclorofenoxiacético combinado en tres concentraciones de GA<sub>3</sub> (150, 300 y 450 mg/L), además todos los tratamientos fueron aplicados sobre flores polinizadas de manera artificial. La diferencia con estos resultados es porque en esta investigación se analizó únicamente el efecto del ácido giberélico sin combinación con otros tratamientos hormonales sobre flores con polinización natural.

### Figura 9

Diámetro ecuatorial del fruto



**Figura 10**

*Toma de datos del diámetro polar (a) y diámetro ecuatorial (b) del fruto de chirimoya*



**Peso promedio del fruto a los 150 días**

Debido a que esta variable cumplió con la normalidad y homocedasticidad de los datos se realizó un ANOVA para la variable peso promedio del fruto con los datos recolectados al momento de la cosecha (150 días) como se puede observar en la Tabla 10, sin embargo, para el análisis se descartó el control ya que todos los frutos cayeron en este tratamiento.

**Tabla 10**

*Prueba de Tukey al 0,05% para la variable peso del fruto*

Tratamientos	Medias		
95 ppm	13,42	A	
110 ppm	9,96	A	B
100 ppm	7,77		B
105 ppm	7,49		B
90 ppm	6,05		B

*Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

Los resultados muestran que a los 150 días de la recolección de los frutos existen diferencias significativas en el peso promedio del fruto del mejor tratamiento a una concentración de 95 ppm de GA<sub>3</sub> con un peso promedio de 13,42 g y 110 ppm de GA<sub>3</sub> con peso promedio de 9,96 g frente a las demás concentraciones (100, 105 y 90), entre estas concentraciones no existen diferencias significativas en el peso promedio siendo el peso más bajo de 6,05 g del tratamiento a una concentración de 90 ppm de GA<sub>3</sub> a los 150 días. Se puede concluir que la aplicación de ácido giberélico aumenta el peso del fruto de chirimoya ya que en el tratamiento testigo todos los frutos se perdieron. Sin embargo Toledo et al. (2019) destaca que la polinización manual más 1000 mg/L de GA<sub>3</sub> promueve el incremento del tamaño y peso de

frutos en *Annonaceae* a los 150 días mientras que la polinización natural con la misma concentración de GA<sub>3</sub> los frutos tienen un menor peso y tamaño.

#### **Número y peso de semillas por fruto**

A la variable número de semillas por fruto se realizó un ANOVA y se determinó que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos con valor p de 0,35, además, para este análisis se ha descartado el control ya que a los 150 días los frutos de este tratamiento se cayeron.

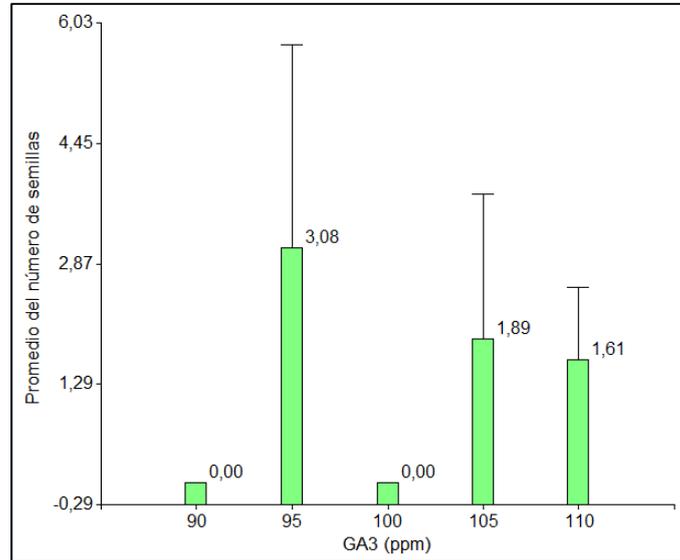
Si bien no pudo ser comparado estadísticamente con el control al no haber frutos de este tratamiento al final del experimento, comparado con el número de semillas típicamente encontrado en chirimoyas, las diferentes concentraciones de ácido giberélico tuvieron un efecto significativo en la reducción del número de semillas de los frutos de chirimoya al registrarse entre ninguna y 3 semillas por fruto (Figura 11). Estos resultados muestran una similitud con la investigación realizada por (Chagas et al., 2022) ya que la aplicación de GA<sub>3</sub> con una concentración de 1000 ppm dio un porcentaje de 17,44% de número de semillas a diferencia que este tratamiento fue aplicado conjuntamente con un adyuvante, con método de polinización manual y a una concentración más alta de GA<sub>3</sub>. Del mismo modo, Carneiro et al. (2016) lograron obtener un alto porcentaje de frutos de atemoya 'Gefner' sin semillas mediante la aplicación de GA<sub>3</sub> en concentraciones de 1000 y 1500 ppm con tres periodos de aplicación hasta los 130 días después de la antesis, es importante considerar que estos resultados difieren de la investigación debido a que se cosechó los frutos antes de su madurez fisiológica y se los mantuvo en condiciones controladas en el laboratorio a una temperatura constante de  $\pm 25$  °C hasta completa la madurez.

De acuerdo a Mesejo et al. (2010) la efectividad para inducir partenocarpia se da a concentraciones entre 25 y 1000 mg/L de GA<sub>3</sub> antes de la floración, pero algunos cultivares de loquat (*Eriobotrya japonica*) no desarrollan partenocarpia incluso cuando se aplican concentraciones tan altas de GA<sub>3</sub> como 500 o 1000 mg/L, en este estudio los árboles que fueron sometidos a tres aplicaciones con 100 mg/L desarrollaron más del 90 % de las panículas con casi 7 frutos sin semillas por panícula de menor tamaño.

Se puede observar que existe una diversidad de respuestas de las especies ante la aplicación de GA<sub>3</sub> en cuanto a la obtención de frutos partenocárpicos en diferentes especies bajo diferentes condiciones climáticas, esto pueden estar relacionadas al comportamiento de cada especie en sus diferentes etapas de desarrollo, y a las respuestas ante la aplicación exógena de giberelinas GA debido a que las respuesta y efectividad de los mismo están regulados mediante un modelo esquemático que implica la acción de varios componentes de señalización hormonal de varias hormonas como el etileno, auxinas, giberelinas y citoquininas tal como lo indica Stikić et al. (2015).

**Figura 11**

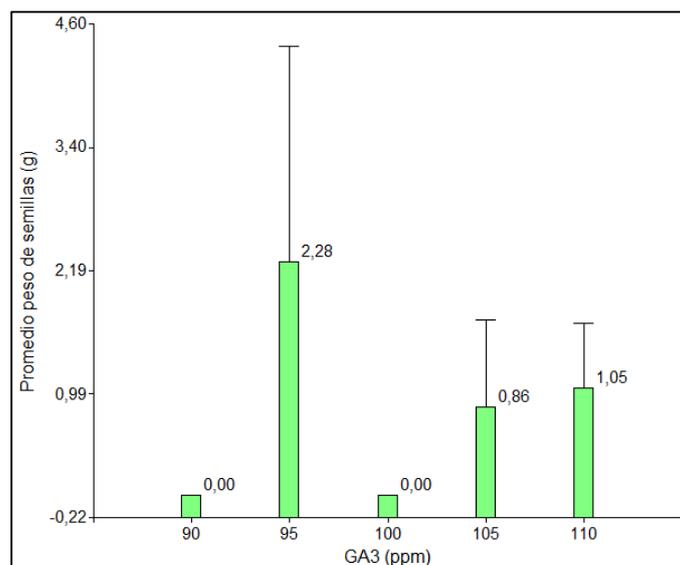
*Número de semillas por tratamiento a los 150 días*



Para el análisis del promedio del peso de las semillas de los tratamientos, se aplicó un ANOVA donde se logró determinar que no existen diferencias significativas con valor p de 0,1981 entre los tratamientos con aplicación de GA<sub>3</sub> a diferentes concentraciones (Figura 12), además, para este análisis no se consideró el tratamiento control, ya que no hubieron frutos para su respectivo análisis.

**Figura 12**

*Peso de las semillas*

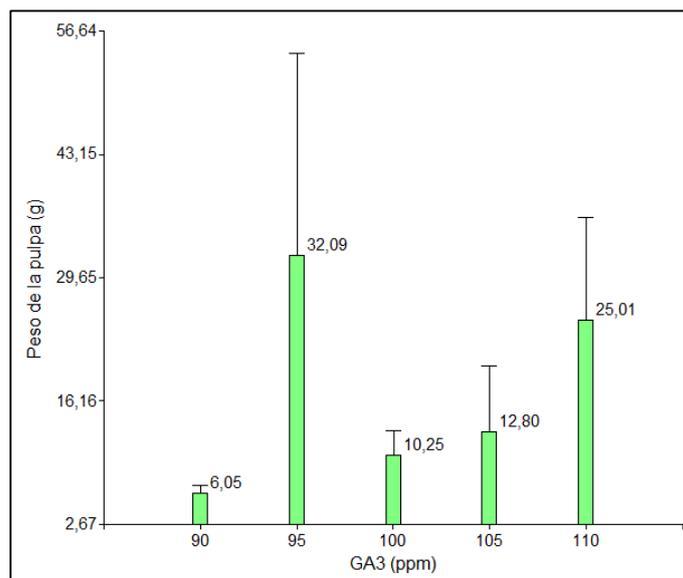


### Peso de la pulpa

De acuerdo al ANOVA realizado con los datos a los 150 días, la variable peso de la pulpa no tuvo diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos con valor p de 0,0603, para el análisis de esta variable no se consideró el tratamiento control como se puede observar en la Figura 13 debido a que todos sus frutos cayeron.

#### Figura 13

*Peso de la pulpa en frutos de chirimoya tratados con GA<sub>3</sub>*



#### Determinar los costos variables de los tratamientos aplicados.

Para el segundo objetivo de la investigación, se determinó los costos variables de producción donde se tomó en cuenta el valor de los insumos utilizados y la mano de obra en la aplicación de los tratamientos. Los valores se obtuvieron con respecto a una hectárea del cultivo de chirimoya donde la distancia de plantación es de 3,5 m entre plantas y 5 m entre hileras plantadas en un diseño de plantación rectangular, por lo que la densidad de siembra para efectos de este cálculo es de 571 árboles por hectárea.

Para determinar el costo de los gramos de GA<sub>3</sub> por tratamiento en relación a una hectárea primero se tomó en cuenta la cantidad de GA<sub>3</sub> en 250 ml de agua destilada por tratamiento que fueron aplicados en tres momentos (flor hembra, 30 y 60) considerando que el costo del producto comercial que se usó en el experimento fue New Gibb al 10% en presentación de 500 g con un costo de \$2,25 (Tabla 11). Del mismo modo se procedió en el cálculo del costo del agua destilada aplicada en tres momentos considerando que 1 litro de agua destilada cuesta \$1,80. Finalmente, se sumó los costos del GA<sub>3</sub>, de las pisetas y del agua destilada para determinar el costo total por tratamiento en relación a una hectárea.

**Tabla 11***Costo de aplicación de los tratamientos a los 150 días*

Descripción	g de GA <sub>3</sub> por árbol (30 flores)	Costo gr de GA <sub>3</sub> por hectárea	Costo de piseta	Agua destilada por hectárea	Total, USD/ha
T6 (0 ppm)	0,000	0,000	4,5	154,17	158,67
T1 (90 ppm)	0,135	0,347	4,5	154,17	159,02
T2 (95 ppm)	0,143	0,366	4,5	154,17	159,04
T3 (100 ppm)	0,150	0,385	4,5	154,17	159,06
T4 (105 ppm)	0,158	0,405	4,5	154,17	159,08
T5 (110 ppm)	0,165	0,424	4,5	154,17	159,10

*Nota.* Tratamiento 6: Control

Los costos de producción varían por cada tratamiento de acuerdo a la concentración utilizada para cada árbol, de este modo, el tratamiento 1 (90 ppm) es el más barato con un total de \$159,02 por hectárea para un total de 571 árboles según la densidad de plantación del cultivo de chirimoya, para este caso no se consideró al control porque en este tratamiento no se aplicó ningún tratamiento hormonal. El tratamiento 5 (110 ppm) fue el más costoso con un total de \$159,10 por hectárea. Como se puede observar en la Tabla 14, estos costos no tienen mucha diferencia entre sí ya que las dosis de aplicación fueron muy similares. Por lo tanto, se recomienda utilizar el tratamiento 1 (90 ppm GA<sub>3</sub>) para la inducción de partenocarpia ya que es el más barato (\$159,02) con una efectividad del 100% sobre la reducción del número de semillas del 60% del total de frutos recolectados en frutos de *A. cherimola*.

### Conclusiones

La aplicación de ácido giberélico ( $GA_3$ ) a diferentes concentraciones durante la floración, a los 30 y 60 días después de la primera aplicación en chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) redujo de manera significativa el número de semillas por fruto siendo los tratamientos 1 (90 ppm de  $GA_3$ ) y 3 (105 ppm de  $GA_3$ ) los que presentaron mayor efectividad en disminuir el número de semillas por fruto con un promedio de 0,00 representando el 40% de frutos recolectados a los 150 días.

En la investigación se logró determinar que la aplicación de  $GA_3$  mejora de manera significativa el porcentaje de frutos cuajados frente al control a los 60 días después de la floración, mientras que en el mismo periodo el control perdió todos sus frutos.

Los costos de aplicación de los tratamientos dependen directamente de la concentración de ácido giberélico y de los insumos utilizados. Sin embargo, la aplicación de  $GA_3$  no será recomendable ya que el aumento del diámetro polar y ecuatorial de los frutos recolectados no es adecuado para ser comercialmente rentable.

La aplicación de  $GA_3$  tuvo un efecto positivo en esta investigación sobre las variables estudiadas (diámetro polar y ecuatorial, peso del fruto, número y peso de las semillas, peso de la pulpa y frutos cuajados) ya que los frutos del control se cayeron por completo a los 60 días después de la floración.

Finalmente, se recomienda utilizar el tratamiento 1 (90 ppm  $GA_3$ ) para la inducción de partenocarpia ya que es el más barato (\$159,02) con una efectividad del 100% sobre la reducción del número de semillas del 60% del total de frutos recolectados en frutos de *A. cherimola*.

### Recomendaciones

Continuar la línea de investigación acerca de la aplicación de biorreguladores a diferentes dosis considerando otros métodos y épocas de aplicación sobre el cultivo de *A. cherimola* para la obtención de frutos partenocárpico.

Implementar esta investigación en un periodo de tiempo más amplio hasta la madurez fisiológica de los frutos para una correcta comparación de las características de los frutos y el rendimiento real de los frutos obtenidos para comprender si existe o no rentabilidad de esta técnica.

Aplicar esta metodología en árboles de chirimoya en diferentes condiciones climáticas ya que la temperatura y la humedad relativa son un componente clave en el comportamiento de esta especie en el momento de la polinización.

### Referencias

- Andino, F. (2014). Determinación de la eficiencia de cuatro niveles de flores polinizadas, utilizando dos métodos de polinización manual, en chirimoya (*Annona cherimola* Mill), Guachapala-Azuay-Ecuador [Universidad de Cuenca]. In *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21063/1/tesis.pdf>
- Apolonio, I., Castañeda, Á., Franco, O., Morales, E., & González, A. (2015). Influencia de la fuente de polen y su efectividad en la calidad de frutos de chirimoya (*Annona cherimola* MILL.). *Agronomía Costarricense* 39(1): 61-69. ISSN:0377-9424, 39(1), 61–69. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i1.19546>
- Borja, E., & Cornejo, R. (2022). *Generación de cartografía geopedológica a escala 1:2500 para la granja El Romeral, Guachapala - Azuay* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/39308/1/Trabajo de Titulacion.pdf>
- Camayo, G. (2019). Comportamiento germinativo de semillas de agraz *Vaccinium meridionale* Swartz con ácido giberélico (AG3) y el nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>). *Fundación Universitaria de Popayán*, 48. <http://unividaup.edu.co/repositorio/files/original/0ced074d23d0bd451858c2a782e6e31.pdf>
- Carneiro, R., Cristian, M., Pereira, T., Mendes, D. S., Sobral, R. S., Nietzsche, S., Mizobutsi, G. P., Hanielle, B., Ciências, D., Estadual, U., & Claros, D. M. (2016). Gibberellic acid induces parthenocarpy and increases fruit size in the ‘Gefner’ custard apple (*Annona cherimola* x *Annona squamosa*). *Australian Journal of Crop Science*, 10(3), 314–321. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.03.p6911>
- Chagas, P. C., Chagas, E. A., Crane, J. H., Vendrame, W., Chambers, A., Costa, B. N. S., & Neto, A. R. (2022). Effect of naphthalene acetic acid, gibberellic acid, and spray adjuvant alone or in conjunction with hand pollination on fruit set and quality of ‘LeahReese’ sugar apple (*Annona squamosa* L.). *Scientia Horticulturae*, 299, 111011. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111011>
- Chouza, X. (2010). Alternativas para la Producción de Partenocarpia en Mandarina “Montenegrina.” In *Ciencias Agrarias* (Vol. 9, Issue 1). Universidad de la República.
- Oliveira, V., Pereira, M., Nietzsche, S., Mendes, D., Mota, M., & Mizobutsi, G. (2018). Characterization of “Gefner” atemoya seedless fruits with GA<sub>3</sub> application. *Revista Brasileirade Ciências Agrarias*, 13(3), 1–9. <https://doi.org/10.5039/AGRARIA.V13I3A5562>

- Días, L. (2010). Estudio de impacto ambiental producido en la granja agrícola “El Romeral.” *Universidad de Cuenca Facultad de Ciencias Químicas*, 155.
- Duchi, M. (2017). Caracterización pomológica y agromorfológica de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.), existentes en el INIAP y Universidad de Cuenca. *Universidad de Cuenca Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Ingeniería Agronómica*, 169. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28100>
- García, W., Gúzman, B., Lino, V., Rojas, J., Hermoso, J., Guirado, E., Gonzáles, X., & Hormaza, I. (2010). Manual de Manejo Integrado del Cultivo de Chirimoyo. In *Proinpa* (pp. 46–48). Fundación para la promoción e investigación de productos andinos. <http://www.proinpa.org/tic/pdf/Frutales/Varios Frutales/pdf56.pdf>
- Gentile, C., Mannino, G., Palazzolo, E., Gianguzzi, G., Perrone, A., Serio, G., & Farina, V. (2020). Pomological, Sensorial, Nutritional and Nutraceutical Profile of Seven Cultivars of Cherimoya (*Annona cherimola* Mill). *Foods*, 10(1), 35. <https://doi.org/10.3390/foods10010035>
- González, F. (2019). “Evaluación de la sostenibilidad e impacto en la nutrición sostenible de la granja agrícola “El Romeral” de la Universidad de Cuenca. Universidad de Cuenca.
- Guale, I., & Vera, C. (2021). *Plan de Cadena de Exportación de la Pulpa de Chirimoya de Ecuador hacia Estados Unidos* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/59391/1/Tesis Vera Cabrera - Guale Duarte exportación Pulpa de Chirimoya.pdf>
- Guillem, A. (2020). *El desacoplamiento del periodo de polinización efectiva como método para obtener paltines en el aguacate ( Persea americana Mill .)*. Universitat Politècnica de València.
- Iranza, D. (2015). Control hormonal y nutricional de frutos partenocárpicos de níspero japonés (*Eriobotrya japonica* Lindl.). In *Universitat Politècnica de València*. Universitat Politècnica de València.
- Leider, C., Rubén, B., Carolina, C., & Camacho, E. (2017). Frutos Partenocárpicos una Revisión Literaria. *Universidad de Córdoba Facultad de Ciencias Agrícolas –FCA-ING.*, 354, 1–17.
- Lobo, M. (2007). Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos: una visión conceptual. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 7(2). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol7\\_num2\\_art:68](https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num2_art:68)
- Martínez, V. (2015). Identificación y caracterización de mutantes de tomate (*Solanum lycopersicum*) afectados en el desarrollo reproductivo y en la tolerancia a estreses abióticos. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas I*, 281(4), 1–30. <http://nadir.uc3m.es/alejandro/phd/thesisFinal.pdf%5Cnhttp://scholar.google.com/schol>

- ar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Universidad+de+murcia#0
- Matailo, B., & Matute, J. (2022). *Evaluación del efecto del ácido giberélico (GA3) para inducir partenocarpia en frutos de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav) en la granja El Romeral, Guachapala - Azuay* [Universidad de Cuenca].  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/40308/1/Trabajo-de-Titulación.pdf>
- Mesejo, C., Reig, C., Martínez, A., & Agustí, M. (2010). Parthenocarpic fruit production in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) by using gibberellic acid. *Scientia Horticulturae*, 126(1), 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.009>
- Miranda, D., Basto, D., Agudelo, S., Barreto, J., Guzmán, J., García, E., & Fernely, L. (2005). Inductores de Floración. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 129–179.
- Mota, J., Toledo, M., Nietzsche, S., Guimarães, J., Rocha, G., & Fernandes, T. (2012). Uso de fitorreguladores no desenvolvimento de frutos na atemoieira (*Annona cherimola* x *A. squamosa* cv. Gefner). *Revista Ceres*, 59(5), 636–645. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000500009>
- Pereira, M., Crane, J., Nietzsche, S., Montas, W., & Santos, M. (2014). Reguladores de crescimento na frutificação efetiva e qualidade de frutos partenocárpicos de atemoia “Gefner.” *Pesq. Agropec. Bras*, 281–289. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000400006>
- Perrone, A., Yousefi, S., Salami, A., Papini, A., & Martinelli, F. (2022). Botanical, genetic, phytochemical and pharmaceutical aspects of *Annona cherimola* Mill. *Scientia Horticulturae*, 296, 110896. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.110896>
- Rodriguez, M. (2013). Estudio de la chirimoya y propuesta de repostería de autor. *Universidad Internacional Del Ecuador Escuela de Gastronomía*, 218.  
<https://doi.org/10.1190/segam2013-0137.1>
- Sáez, M. (2016). Usos de Giberelinas de Síntesis en la Fruticultura Chilena. *Universidad de Chile Facultad de Ciencias Agronómicas, August*, 52.
- Stikić, R., Jovanović, Z., Vucelić, B., Marjanović, M., & Savić, S. (2015). Tomato: A model species for fruit growth and development studies. *Botanica Serbica*, 39(2), 95–102.
- Tineo, J. (2019). Manejo del Cultivo del chirimoyo en Valles Interandinos del Perú. *X Congreso Latinoamericano de Agronomía*, 85.
- Toledo, M., Nietzsche, S., Crane, J., Montas, W., Siqueira, C., & Rocha, J. (2019). Gibberellic acid combined with hand pollination increases ‘red’ and ‘lessard thai’ sugar apple fruit quality and produced parthenocarpic ‘gefner’ atemoya fruits. *Ciencia Rural*, 49(9), 10. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20180353>
- Tumiur, G., & Devi, Y. (2018). Effect of hormones gibberelin (Ga 3 ) to produce

parthenocarpy fruit on tomato tree (*Solanum Betaceum*, Cav) . *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/420/1/012074>

Varela, Ó., Livera, M., Muratalla, A., & Carrillo, J. (2018). Inducción de partenocarpia en *Opuntia* spp. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(1), 3–11. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.3-11>

Yáñez, G. (2018). Mejoramiento del amarre y obtención de frutos partenocárpicos en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) mediante el uso de reguladores de crecimiento. In *Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Agrícolas, Carrera de Ingeniería Agronómica*. Universidad Central del Ecuador Facultad.

## Anexos

### Trabajo en campo

#### Reconocimiento del lugar y selección de árboles



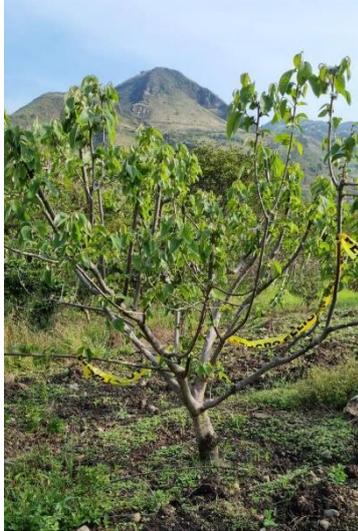
#### Poda de árboles y defoliación manual



**Preparación y aplicación de Dormex**



**Floración de árboles, selección y marcación de flores**



## Monitoreo y toma de datos en campo





**Cosecha de frutos a los 150 días**



**Trabajo en laboratorio**

## Materiales y preparación de soluciones de GA<sub>3</sub>



## Frutos partenocárpicos de chirimoya





Medición de variables

