



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**EVALUACIÓN DE BRASINOESTEROIDES EN LA  
FRUCTIFICACIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao*) BAJO  
CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO, SIMÓN BOLÍVAR –  
GUAYAS**

**AUTOR**

**GUEVARA MUÑOZ CRISTOPHER ANTONIO**

**TUTOR**

**ING. CARRASCO SCHULDT ANGEL**

**MILAGRO, ECUADOR**

**2026**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE BRASINOESTEROIDES EN LA FRUCTIFICACIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao*) BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO, SIMÓN BOLÍVAR – GUAYAS, realizado por el estudiante GUEVARA MUÑOZ CRISTOPHER ANTONIO; con cédula de identidad N° 0929369569 de la carrera AGRONOMIA, Ciudad Universitaria Milagro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

---

ING. CARRASCO SCHULDT ANGEL, M.Sc  
TUTOR

Milagro, 17 de abril del 2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE BRASINOESTEROIDES EN LA FRUCTIFICACIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao*) BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO, SIMÓN BOLÍVAR – GUAYAS**”, realizado por el estudiante **GUEVARA MUÑOZ CRISTOPHER ANTONIO**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

**GAVILANEZ LUNA FREDDY, Ph.D**  
**PRESIDENTE**

---

**ING. CESAR PEÑA HARO, M.Sc**  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

**ING. COLON CRUZ ROMERO, M.Sc**  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Ciudad, 17 de abril del 2026

## DEDICATORIA

A mi madre, Martha Cecilia Muñoz Chuiza

Con profundo amor, respeto y gratitud dedico este trabajo, fruto de años de esfuerzo, aprendizaje y perseverancia. Usted ha sido el pilar fundamental en mi vida, la persona que con su amor incondicional, su sacrificio y su apoyo constante me ha acompañado en cada paso de este camino.

Gracias por creer en mí incluso en los momentos en que las dificultades parecían mayores, por sus palabras de aliento, por su paciencia y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la constancia para alcanzar los sueños.

Cada logro que hoy alcanzo lleva consigo una parte de todo lo que usted ha hecho por mí, porque sin su apoyo, su confianza y su amor incondicional, este momento no habría sido posible.

Hoy culmina una etapa importante de mi vida, y este logro no solo me pertenece a mí, sino también a usted, quien ha sido mi guía, mi inspiración y mi mayor motivación para seguir adelante.

Con todo mi cariño y eterna gratitud, le dedico este trabajo, como un pequeño homenaje a todo lo que significa para mí.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, por concederme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación académica. Su guía y bendiciones han sido fundamentales para mantenerme firme ante cada desafío y perseverar hasta alcanzar esta meta.

Deseo expresar mi más profunda gratitud a mi madre y a mi hermano, quienes han sido un apoyo constante a lo largo de este camino. A mi madre, por su amor incondicional, su sacrificio y su incansable dedicación, siendo siempre el pilar fundamental que me ha impulsado a seguir adelante. A mi hermano, por su compañía, comprensión y palabras de aliento, que han sido de gran motivación en los momentos más exigentes de esta etapa.

A mi familia, por su cariño, su confianza y por brindarme siempre su apoyo y ánimo para continuar persiguiendo mis objetivos.

De manera muy especial, deseo recordar y agradecer a mi padre, quien, aunque hoy no se encuentra físicamente conmigo, permanece siempre presente en mi corazón. Su ejemplo, sus enseñanzas y el amor que me brindó continúan siendo una fuente permanente de inspiración para seguir esforzándome y honrar su memoria a través de cada uno de mis logros.

Finalmente, extiendo mi agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron y acompañaron este proceso, permitiendo que hoy pueda alcanzar esta importante meta en mi vida.

### **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo, **GUEVARA MUÑOZ CRISTOPHER ANTONIO**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **EVALUACIÓN DE BRASINOESTEROIDES EN LA FRUCTIFICACIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao*) BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO, SIMÓN BOLÍVAR – GUAYAS**. para optar el título de INGENIERO AGRÓNOMO. por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Atentamente,

Milagro, 17 de abril del 2026

---

**GUEVARA MUÑOZ CRISTOPHER ANTONIO**  
**C.I 0929369569**

## RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de gran importancia económica y social; sin embargo, su productividad se ve limitada por factores abióticos como el estrés hídrico, especialmente en sistemas productivos que carecen de riego tecnificado. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de brasinoesteroides sobre la floración, el cuajado de frutos, el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de cacao bajo condiciones de estrés hídrico, generado por la ausencia de un sistema de riego y la realización de riegos manuales esporádicos una vez al mes mediante manguera. La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos: T1 (testigo sin aplicación), T2 (0,4 L/ha), T3 (0,8 L/ha) y T4 (1,2 L/ha) de brasinoesteroides. Se evaluaron variables relacionadas con la floración (número de flores y flores fecundadas), características del fruto (peso de mazorca y número de semillas por mazorca), rendimiento total (kg/ha) y análisis económico mediante la relación beneficio–costo. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamientos. El tratamiento T4 registró el mayor número de flores (516 por planta), flores fecundadas (69 por planta), mayor peso de mazorca (452,6 g) y el mayor rendimiento total (1.752,71 kg/ha). Los tratamientos T3 y T4 no presentaron diferencias estadísticas en rendimiento, superando significativamente al testigo. En el número de semillas por mazorca, los tratamientos con brasinoesteroides mostraron valores similares entre sí, pero superiores al tratamiento sin aplicación. El análisis económico evidenció que el tratamiento T4 alcanzó la mayor relación beneficio–costo (3.33), demostrando su viabilidad económica. Se concluye que la aplicación de brasinoesteroides, especialmente a dosis de 1,2 L/ha, constituye una alternativa eficaz para mitigar los efectos del estrés hídrico y mejorar el desempeño productivo y económico del cultivo de cacao en sistemas sin riego tecnificado.

**Palabras clave:** cacao, brasinoesteroides, estrés hídrico, floración, rendimiento, relación beneficio–costo.

## ABSTRACT

Cacao (**Theobroma cacao** L.) is a crop of great economic and social importance; however, its productivity is limited by abiotic factors such as water stress, especially in production systems lacking drip irrigation. This study aimed to evaluate the effect of different doses of brassinosteroids on flowering, fruit set, yield, and profitability of cacao cultivation under water stress conditions, generated by the absence of an irrigation system and sporadic manual irrigation once a month using a hose. The research was conducted using a completely randomized experimental design with four brassinosteroid treatments: T1 (control, no application), T2 (0.4 L/ha), T3 (0.8 L/ha), and T4 (1.2 L/ha). Variables related to flowering (number of flowers and fertilized flowers), fruit characteristics (ear weight and number of seeds per ear), total yield (kg/ha), and economic analysis using the benefit-cost ratio were evaluated. The results showed statistically significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between treatments. Treatment T4 recorded the highest number of flowers (516 per plant), fertilized flowers (69 per plant), ear weight (452.6 g), and total yield (1,752.71 kg/ha). Treatments T3 and T4 showed no statistically significant differences in yield, significantly exceeding the control. Regarding the number of seeds per ear, the brassinosteroid treatments showed similar values to each other, but higher than the treatment without application. The economic analysis showed that treatment T4 achieved the highest benefit-cost ratio (3.33), demonstrating its economic viability. It is concluded that the application of brassinosteroids, especially at a dose of 1.2 L/ha, is an effective alternative for mitigating the effects of water stress and improving the productive and economic performance of cacao cultivation in systems without drip irrigation.

**Keywords:** cacao, brassinosteroids, water stress, flowering, yield, cost-benefit ratio.).

## INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
Autorización de Autoría Intelectual.....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
INDICE GENERAL .....	ix
INDICE DE TABLA.....	xi
INDICE DE ANEXOS .....	xii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1 Antecedentes del problema.....	13
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	14
1.3 Justificación de la investigación .....	15
1.4 Delimitación de la investigación .....	15
1.5 Objetivo general .....	15
1.6 Objetivos específicos .....	15
1.7 Hipótesis.....	15
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 Estado del arte .....	16
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática .....	17
2.3 Marco Legal Ecuador .....	22
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 Enfoque de la investigación.....	23
3.2 Metodología.....	23
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
4.1 Determinar el efecto de diferentes dosis de brasinoesteroides .....	31
4.2 Evaluar el impacto de brasinoesteroides en el rendimiento de cacao.....	34

4.3 Analizar la relación beneficio-costo de la aplicación de brasinoesteroides	35
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	37
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	39
6.1 Conclusiones .....	39
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	41
Anexos .....	47

**INDICE DE TABLA**

<b>Tabla 1</b> .Variable Independiente .....	24
<b>Tabla 2</b> . Variable dependiente .....	24
<b>Tabla 3</b> . Tratamientos a evaluar .....	25
<b>Tabla 4</b> . Delimitación de la parcela experimental.....	26
<b>Tabla 5</b> . Tabla de ANOVA.....	30
<b>Tabla 6</b> . Número de flores .....	31
<b>Tabla 7</b> . Flores fecundadas.....	32
<b>Tabla 8</b> . Peso de mazorca .....	33
<b>Tabla 9</b> . Número de semilla por mazorca .....	34
<b>Tabla 10</b> . Rendimiento total .....	35
<b>Tabla 11</b> . Analisis costo/beneficio.....	36

**INDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1</b> Tabla Promedio de número de mazorca por árbol .....	47
<b>Anexo 2</b> Tabla: Numero de Flores por árbol.....	47
<b>Anexo 3</b> Tabla. Flores fecundadas (n) por árbol.....	48
<b>Anexo 4</b> Tabla: Peso de mazorcas.....	48
<b>Anexo 5</b> Tabla Número de grano por mazorcas .....	49
<b>Anexo 6</b> Tabla. Costo fijo de cacao establecida .....	51
<b>Anexo 7</b> Tabla Costos variable de los tratamientos.....	51
<b>Anexo 8.</b> Figura Croquis de campo .....	52
<b>Anexo 9</b> Figura 1 Instalación de parcelas experimentales .....	53
<b>Anexo 10</b> Figura 2 Señalización de tratamientos en parcelas .....	53
<b>Anexo 11</b> Figura 1 Aplicación de los tratamientos en parcelas .....	54
<b>Anexo 12</b> Figura 4 Aplicación de los tratamientos en estudios.....	54
<b>Anexo 13</b> Figura 5 Aplicación en diferentes tratamientos.....	55
<b>Anexo 14</b> Figura 6 Aplicación de fertilizantes edáficos.....	55
<b>Anexo 15</b> Figura visita del tutor .....	56
<b>Anexo 16</b> Figura Peso de 100 semilla de cacao.....	56

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes del problema

El cacao (*Theobroma cacao*) es un cultivo de gran importancia económica en Ecuador, especialmente en la provincia de Guayas, donde la producción se ve afectada por condiciones adversas como el estrés hídrico. Este estrés limita el desarrollo, la floración y la fructificación, reduciendo el rendimiento y la calidad del cultivo. Para mitigar estos efectos, se han estudiado reguladores de crecimiento vegetal, entre ellos los brasinoesteroides, compuestos naturales que actúan como fitohormonas y que han demostrado estimular procesos fisiológicos clave como la germinación, floración, maduración y resistencia al estrés en diversas especies vegetales (Sharma et al., 2014).

Investigaciones recientes en cacao han evidenciado que la aplicación de brasinoesteroides puede aumentar la cantidad de flores, mejorar el cuaje y la producción de mazorcas, incluso bajo condiciones ambientales adversas. Por ejemplo, (Castro, 2021) reportó que dosis de 1000 cc/ha de brasinoesteroides aplicadas en tres momentos específicos incrementaron significativamente el número de flores y el rendimiento en cacao en la zona de Milagro, Guayas. A pesar de estos avances, la información sobre su uso específico bajo estrés hídrico es limitada, lo que representa una oportunidad para evaluar su potencial en mejorar la fructificación en condiciones de déficit de agua.

Además, estudios en otras fitohormonas han demostrado que la bioestimulación puede mejorar la formación de frutos y la productividad en cacao, lo que sugiere que los brasinoesteroides podrían tener un efecto similar o complementario. (Chamba, 2024) Sin embargo, es necesario validar estos efectos en condiciones reales de estrés hídrico y en las condiciones agroecológicas de Simón Bolívar, Guayas.

Por lo tanto, esta investigación busca llenar ese vacío, evaluando el efecto de diferentes dosis de brasinoesteroides en la fructificación del cacao bajo estrés hídrico, con el fin de optimizar el manejo agronómico y mejorar la productividad del cultivo.

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### ***1.2.1 Planteamiento del problema***

El estrés hídrico es uno de los principales factores que limitan la producción de cacao en la provincia de Guayas, afectando negativamente la floración, el cuaje y la fructificación, lo que reduce el rendimiento y la rentabilidad del cultivo. Aunque los brasinoesteroides son fitohormonas que han mostrado potencial para mejorar el desarrollo y la resistencia de las plantas, su efecto específico sobre la fructificación del cacao bajo condiciones de estrés hídrico no ha sido suficientemente estudiado en la región de Simón Bolívar. Esto genera incertidumbre sobre la efectividad y las dosis óptimas para su aplicación, dificultando su adopción por los productores (Castro Zambrano, 2021; Echavarría, 2020).

En la provincia del Guayas, el cultivo de cacao enfrenta una limitación crítica: el estrés hídrico, que impacta negativamente en la floración, el cuaje y la fructificación, traduciéndose en menores rendimientos y rentabilidad para los productores. Estudios recientes demuestran que el cacao es altamente sensible a la sequía, mostrando reducciones drásticas en fotosíntesis, conductancia estomática y crecimiento bajo déficit hídrico. (Osorio Zambrano et al., 2021a)

A pesar de que las fitohormonas del grupo de los brasinoesteroides han sido identificadas como promotoras del desarrollo vegetal y la resistencia al estrés abiótico en diversos cultivos, su aplicación específica en cacao bajo condiciones de estrés hídrico en la región de Simón Bolívar-Guayas carece de estudios publicadas que determinen las dosis óptimas, la frecuencia de aplicación y su impacto real sobre rendimiento y calidad del grano. Este vacío de información genera incertidumbre en los productores, quienes no cuentan con evidencia local suficiente para adoptar estas tecnologías con seguridad. (Sustr et al., 2019; Díaz Sánchez & Dueñas Alvarado, 2022)

### ***1.2.2 Formulación del problema***

¿Cuál es el efecto de la aplicación de brasinoesteroides en la fructificación del cacao (*Theobroma cacao*) bajo condiciones de estrés hídrico por déficit en Simón Bolívar, Guayas?

### **1.3 Justificación de la investigación**

Esta investigación es importante porque busca aportar soluciones agronómicas para mitigar los efectos negativos del estrés hídrico en la producción de cacao, uno de los cultivos más relevantes para la economía local.

La aplicación de brasinoesteroides podría mejorar la floración y fructificación, incrementando el rendimiento y la rentabilidad para los productores. Además, al optimizar el uso de fitohormonas naturales, se promueve una agricultura más sostenible y resiliente frente al cambio climático. Los resultados servirán como base científica para recomendaciones técnicas y políticas de manejo, contribuyendo al desarrollo científico y tecnológico en el sector cacaotero.

### **1.4 Delimitación de la investigación**

La investigación se realizará en plantaciones de cacao ubicadas en el cantón Simón Bolívar, provincia de Guayas, durante los meses de agosto del 2025 a enero 2026, evaluando el efecto de brasinoesteroides en la fructificación bajo condiciones de estrés hídrico en plantas adultas de cacao. Población beneficiaria serán los estudiantes de la universidad Agraria del Ecuador, los productores de cacao de los sectores aledaños de la investigación

### **1.5 Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación de brasinoesteroides en la fructificación del cacao (*Theobroma cacao*) bajo condiciones de estrés hídrico en Simón Bolívar, Guayas.

### **1.6 Objetivos específicos**

Determinar el efecto de diferentes dosis de brasinoesteroides en la cantidad de flores y frutos cuajados en cacao bajo estrés hídrico.

Evaluar el impacto de la aplicación de brasinoesteroides en el rendimiento y calidad de las mazorcas de cacao.

Analizar la relación beneficio-costo de la aplicación de brasinoesteroides en condiciones de estrés hídrico.

### **1.7 Hipótesis**

La aplicación de brasinoesteroides en diferentes dosis mejora significativamente la fructificación y el rendimiento del cacao (*Theobroma cacao*) bajo condiciones de estrés hídrico por déficit de humedad en Simón Bolívar, Guayas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del arte

La base teórica sobre el uso de brasinoesteroides (BRs) en la agricultura, especialmente en el cultivo de cacao, se fundamenta en el papel de las fitohormonas en la regulación del crecimiento vegetal. Los brasinoesteroides, en particular, son reconocidos por su capacidad para promover el desarrollo de órganos reproductivos, mejorar la producción y aumentar la resistencia a condiciones de estrés hídrico (Díaz, 2022).

La investigación científica sobre brasinoesteroides (BRs) ha crecido en la última década debido a su papel determinante en la regulación del crecimiento vegetal, el desarrollo reproductivo y la tolerancia al estrés abiótico. Los BRs son reconocidos por mejorar la división celular, la elongación de tejidos, la absorción de nutrientes y la resistencia al estrés hídrico, factores claves en cultivos perennes como el cacao (Díaz, 2022; Kumar et al., 2023).

En el contexto del cacao, diversos estudios indican que la aplicación de reguladores fito-hormonales de crecimiento pueden influir positivamente en la formación de mazorcas, tamaño de semillas y rendimiento del cacao (Gutierrez et al., 2023).

En los últimos años, se ha investigado principalmente el efecto de hormonas vegetales en condiciones de estrés, incluyendo el estrés hídrico, que afecta significativamente la producción de cacao (Borjas-Ventura et al., 2020)

Algunos autores han enfocado sus estudios en la aplicación de reguladores en dosis variables y han encontrado que dosis óptimas pueden mejorar significativamente los parámetros de producción sin efectos adversos (Toro et al., 2023)

Los brasinosteroides (BRs) Investigaciones recientes destacan su eficacia a bajas concentraciones y su carácter ecológico, lo que los convierte en una opción sostenible para incrementar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Entre las formas más activas se encuentran el brasinólido (BL), el 24-epibrasinólido (EBL) y el 28-homobrasinólido (HBL), los cuales actúan promoviendo la división y elongación celular, la absorción de nutrientes, la floración y la resistencia al estrés biótico y abiótico. Su aplicación en diferentes especies frutales ha evidenciado aumentos significativos en el crecimiento vegetativo, el rendimiento y los atributos

de calidad de los frutos, además de fortalecer los mecanismos de defensa de las plantas (Kumar et al., 2023)

Investigaciones recientes sobre brasinosteroides (BRs) han demostrado su potencial como reguladores fisiológicos en diversos cultivos agrícolas, El 24-epibrasinólido destaca como el compuesto más empleado en estudios experimentales, con efectos positivos tanto en etapas pre-cosecha como post-cosecha. Los resultados indican que los tratamientos pre-cosecha con BRs incrementan el rendimiento de los cultivos y mejoran parámetros de calidad del fruto. Estos hallazgos sugieren que los BRs son una herramienta prometedora para optimizar la productividad y la calidad poscosecha de cultivos frutales, y plantean la necesidad de ampliar su estudio en especies climatéricas como el cacao, especialmente en su relación con la floración, el desarrollo del fruto y la resistencia al estrés ambiental y biótico.(Garrido-Auñón et al., 2024)

## **2.2 Bases científicas y teóricas de la temática**

### ***2.2.1 Importancia fisiológica y ecológica del cacao***

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es muy sensible al déficit hídrico; estudios en clones comerciales han mostrado que, bajo estrés, los árboles reducen intensamente su fotosíntesis debido al cierre estomático y la ineficiencia del fotosistema II, lo que limita la producción (Osorio Zambrano et al., 2021b)

Adicionalmente, la radiación y la temperatura ambiental afectan fuertemente la fisiología del cacao: incrementos en temperaturas y radiación pueden alterar la integridad de membranas y la eficiencia fotónica, lo cual representa un desafío ante el cambio climático (Zambrano et al., 2024)

Desde el punto de vista del manejo agronómico, el cacao requiere suelos con suficiente retención hídrica y climas tropicales. En escenarios con déficit hídrico, la abscisión floral y la caída de botones son muy comunes, limitando el rendimiento potencial (Huerta Guillén, 2022)

El cacao es un árbol perenne cuya fisiología comprende procesos críticos como la fotosíntesis, la formación de flores y cuajado de frutos, regulados por variables ambientales y nutricionales. (Zhang et al., 2023).

Bajo estrés hídrico, se observa una reducción en la tasa fotoinhibitoria y alteración de la conductancia estomática, lo cual afecta la producción de mazorcas.

Zhang et al., (2023) Los brasinoesteroides han demostrado en otros cultivos su capacidad de regular estos procesos, aunque aún es poco explorada su aplicación en cacao.

Desde el punto de vista agroecológico, el cacao requiere condiciones tropófilas: temperaturas entre 24 °C y 28 °C, precipitación anual alta (>1 500 mm) y suelos con buena capacidad hídrica (Santos et al., 2014) En Simón Bolívar – Guayas, estas condiciones se ven interrumpidas por períodos de sequía, lo cual condiciona severamente la fructificación del cultivo. En este escenario, los brasinoesteroides podrían mejorar la tolerancia al estrés hídrico y optimizar la eficiencia del uso del agua.

Las etapas reproductivas del cacao (*Theobroma cacao*) comprenden el desarrollo desde la emergencia de la inflorescencia (BBCH 5) hasta la fructificación y maduración final (BBCH 8), tomando entre 110 y 150 días después de la floración, con una prolongación hasta 210 días según fines de calidad del fruto (Kumari et al., 2018)

La fructificación del cacao es sensible a factores climáticos y fisiológicos: sequía reduce rápidamente la floración, mientras la humedad, temperatura óptima y aporte de nutrientes favorecen el cuajado. Además, fitohormonas como auxinas, ABA y citoquininas regulan la retención floral y el desarrollo del fruto. (Montoya Naranjo, 2022)

El cacao presenta un intenso aborto floral: hasta 95% de flores no se convierten en frutos debido a abscisión precoz, limitada polinización y alta competencia por recursos. El proceso depende de equilibrio hormonal como ABA e IAA, que modulan la retención de flores o provocan caída temprana. (Claus et al., 2018)

### **2.2.2 *Brasinoesteroides en el cacao y su mecanismo de acción***

Los BRs estimulan rutas de señalización que mejoran la capacidad antioxidante de la planta, regulan genes de defensa frente a especies reactivas de oxígeno y ayudan a mantener la integridad celular en condiciones de estrés (Ahammed et al., 2020)

En cacao, se ha postulado que la aplicación exógena de BRs podría favorecer la floración, retener flores y aumentar el cuajado al modular hormonas endógenas como auxinas y ácido abscísico (Díaz Sánchez & Dueñas Alvarado, 2022; Díaz Sánchez, 2022). Además, los BRs pueden reforzar la resiliencia

radicular, lo que mejora la absorción de agua y nutrientes bajo condiciones adversas (Usmani et al., 2025).

Por ejemplo, en frutales como la fresa, la aplicación foliar de BRs (BB16 y EP24) bajo estrés hídrico o salino incrementó peso seco, superficie radicular, número de frutas de calidad y contenido de clorofila. (Furio, Salazar, Mariotti-, et al., 2022)

Aunque los estudios con cacao son aún escasos, en otros cultivos los BRs se aplican a concentraciones bajas (por ejemplo, 0,05–0,2 mg/L) durante etapas críticas como floración o cuajado para maximizar su impacto sin generar fitotoxicidad

De manera más innovadora, análogos funcionales de BR han sido desarrollados para mejorar la estabilidad, persistencia y eficacia. En soja, el análogo DI-31 aumentó la tolerancia a la sequía, mejoró la relación agua-rendimiento y estimuló la defensa antioxidante con apenas aplicaciones foliares (Pérez-Borroto et al., 2022)

Los brasinoesteroides (BRs), compuestos polihidroxilados similares a hormonas vegetales, activan rutas fisiológicas que incrementan la respuesta antioxidativa y estabilidad celular bajo. (Zhang et al., 2023). En cultivos como soja, la aplicación de EBR (epibrasinolida) mostró mejoras en anatomía radicular y actividad de enzimas antioxidantes frente al déficit hídrico (Ribeiro et al., 2019). Aunque en cacao se ha explorado poco su uso, los mecanismos observados en otras especies abren la vía para su aplicación foliar o edáfica en cacao.

Integrar BRs con fertilización NPK balanceada podría potenciar la nutrición y resiliencia del cultivo, ya que los BRs regulan la expresión de genes jóvenes relacionados con la homeostasis del agua y nutrientes (Zhang et al., 2023). Aplicaciones combinadas – por ejemplo, BRs con biochar o compost – han demostrado mejorar la retención hídrica y absorción de nutrientes en otros cultivos, lo que sugiere posibles beneficios en cacao bajo condiciones de sequía.

Los brasinoesteroides (BRs) son fitohormonas esteroides que modulan crecimiento, división celular y respuesta al estrés (Ahammed et al., 2020). A nivel molecular, activan cascadas de señalización que regulan genes antioxidativos y homeostáticos, contribuyendo a la protección celular durante períodos de sequía.

En aplicaciones foliares sobre cacao, se piensa que los BRs podrían estimular rutas de defensa antioxidante y mantener integridad celular, tal como se

ha demostrado en otros cultivos agronómicos bajo estrés hídrico, incrementando la tolerancia y eficiencia fotosintética. (Lima y Lobato, 2017)

### **2.2.3 Dosis recomendadas y evaluaciones técnicas**

Ensayos en soja y frutales aplican BRs en concentraciones entre 0,05–0,2 mg L<sup>-1</sup> con resultados positivos en crecimiento y rendimiento (Lima & Lobato, 2017). Normalmente, se aplican durante floración o justo antes del cuajado, con una frecuencia de 10–14 días, optimizando el balance agua y fotosíntesis.

La aplicación exógena de dos compuestos BRs (BB16 y EP24) a plantas de fresa bajo condiciones de estrés hídrico y salino promovió un mayor peso seco, mayor longitud y superficie radicular, más hojas y área foliar, mayor producción de frutos de calidad comercial, y mejoras en contenido de clorofila y otros indicadores de vigor vegetativo, (Furio, Salazar, Mariotti-Martínez, Martínez-Zamora, Coll, & Díaz-Ricci, 2022)

Su aplicación exógena en cultivos frutales ha mostrado aumentos en el cuajado de frutos, peso y azúcar acumulada, aunque los autores enfatizan que aún existe falta de conocimiento respecto a la dosis, momento ideal de aplicación y su efecto sobre especies específicas, (Aryal & Alferez, 2025)

### **2.2.4 Métodos de aplicación y sinergia nutricional**

La aplicación de brasinoesteroides (BRs) puede realizarse por vía edáfica (suelo), foliar o mediante aplicaciones combinadas, y la vía elegida condiciona la velocidad y el tipo de respuesta de la planta. Las aplicaciones edáficas (por riego o al suelo) favorecen la arquitectura radicular y la absorción de agua y nutrientes, lo cual mejora la toma sostenida de elementos esenciales y la resiliencia frente a estrés hídrico; varios estudios y revisiones recientes muestran que los BRs modulan la expresión de transportadores y la morfología de la raíz, incrementando la eficiencia en adquisición de N y micronutrientes (Usmani et al., 2025)

La combinación de BRs con fertilización NPK balanceada ha demostrado sinergia: se potencia la retención hídrica, la absorción radicular y la fotosíntesis, mientras que se fortalece el cuajado de frutos (Gutierrez et al., 2023). Estas sinergias podrían ser estrategias eficaces en cacao sometido a estrés hídrico.

### **2.2.5 Regulación genética y fisiológica**

Los brasinoesteroides (BRs) interactúan con la vía ABA bajo estrés hídrico, modulando proteínas clave como BIN2, BES1/BZR1 y factores como RD26. Esto permite equilibrar el crecimiento y la respuesta al sequía mediante degradación selectiva o inhibición transcripcional durante periodos adversos. PMC+1(Nolan et al., 2017).

Los BRs regulan directamente la apertura y cierre estomático, incluso en ausencia de ABA, e inhiben la producción de especies reactivas que ABA induce para cerrar estomas. Además, mejoran la eficiencia del fotosistema II, el intercambio gaseoso y la actividad antioxidante, incluso bajo déficit hídrico. PMC+1PubMed (Lima & Lobato, 2017)

Los brasinoesteroides promueven la tolerancia al estrés mediante aumento de la capacidad fotosintética y estabilidad celular, lo que puede traducirse en mayores tasas de cuajado y desarrollo de fructificación, al reducir daños por oxidación e incrementar biomasa y tolerancia al déficit hídrico. (Anwar et al., 2018)

### **2.2.6 Análisis beneficio-costo de la aplicación de brasinoesteroides bajo condiciones de estrés hídrico**

Desde el punto de vista del costo, aunque la aplicación de BRs representa un costo adicional para el productor (insumo + aplicación), los beneficios potenciales en rendimiento y calidad del cultivo pueden justificar la inversión, siempre que los incrementos sean suficientes y persistentes. (Basit et al., 2021)

Sin embargo, el análisis riguroso de beneficio-costo para aplicaciones de BRs aún es limitado en la literatura agronómica, especialmente en sistemas tropicales y cultivos perennes como el cacao. Mientras que revisiones sobre biostimulantes señalan que la reducción de insumos agroquímicos y el aumento de tolerancia al estrés pueden mejorar la rentabilidad a largo plazo(Di Sario et al., 2025)

Desde el punto de vista económico, la aplicación de BRs tiene un costo asociado, pero sus beneficios pueden justificarse si mejora la resistencia al estrés y reduce pérdidas de cosecha. En cultivos como frutales, se ha documentado que la inversión en BRs puede aumentar la producción y mejorar la calidad del fruto

## 2.3 Marco Legal Ecuador

Constitución de la República del Ecuador (2008)

**Artículo 74:** Reconoce el derecho a un ambiente sano y equilibrado, obligando al Estado a regular actividades que puedan afectar recursos como agua y suelo (Constitución, 2008, art. 74).

**Artículo 281:** Establece la soberanía alimentaria, incluida la producción agrícola sostenible bajo prácticas responsables (Constitución, 2008, art. 281).

**Artículo 397:** Otorga autoridad al Estado para regular sustancias tóxicas, incluidos insumos agroquímicos y bioestimulantes (Constitución, 2008, art. 397). (Constitucion de la Republica del Ecuador, 2008)

Acuerdo Ministerial No. 913 (2016) – Creación de AGROCALIDAD

Designa a AGROCALIDAD como autoridad nacional para el registro, regulación y control de fertilizantes biológicos, orgánicos, minerales, coadyuvantes y reguladores de crecimiento (Acuerdo 913, 2016) Derecho Ecuador. Esta norma respalda la investigación de brasinosteroides como reguladores de crecimiento. (Agrocalidad, 2016)

Decreto Ejecutivo No. 183 (2008) – Agroquímicos Agrícolas

Regula el acceso, uso y registro de agroquímicos con vista a la soberanía alimentaria y preservación ambiental. Incluye sustancias activas y (Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, 2021) reguladores naturales utilizados en investigación agrícola (Decreto 183, 2008) .

Manual Técnico **AGROCALIDAD (2021)** – Registro y Control de Insumos

Define los procedimientos técnicos para registrar y controlar fertilizantes, enmiendas, coadyuvantes y productos afines en el país (Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, 2021)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque utilizado fue de tipo cuantitativo, ya que se recopiló datos numéricos relacionados con el número de flores producidas por planta bajo la aplicación de diferentes concentraciones de Brasinoesteroides. Posteriormente, estos datos se analizaron mediante pruebas estadísticas para determinar si existe diferencias significativas entre tratamientos.

##### 3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

Tipo de investigación: Esta fue una investigación experimental y aplicada, ya que se manipuló un factor (dosis de brasinoesteroides) con el fin de observar su efecto sobre una variable dependiente (Fructificación), aplicando conocimientos científicos en un contexto real del campo agrícola.

*Alcance de la investigación:* tuvo un enfoque explicativo, porque buscó entender y demostrar la relación causa-efecto entre brasinoesteroides y la fructificación del cultivo de cacao.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

En esta investigación se evaluó el efecto de diferentes dosis del producto V8THOR sobre el desarrollo de las plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Para ello, se aplicó cuatro niveles de dosis, permitiendo observar la respuesta fisiológica y productiva del cultivo bajo cada tratamiento. Esta estrategia permitió identificar la dosis más eficiente en condiciones controladas, contribuyendo a optimizar el uso de bioinsumos en sistemas agrícolas sostenibles.

#### 3.2 Metodología

##### 3.2.1 Variables

En este estudio, se consideró variables independientes como dependientes, establecidas en función del objetivo general la misma que se detalla a continuación:

##### 3.2.1.1 Variable independiente:

En este caso, la variable independiente es la fitohormona brasinoesteroides, aplicada mediante el producto comercial V8THOR.

##### 3.2.1.2 Variables dependientes:

Número de flores por planta

Flores fecundadas por planta

Número de mazorcas por planta

Peso promedio de las mazorcas (g)  
 Número de semillas por mazorca  
 Rendimiento total (kg/ha)  
 Relación beneficio-costo (B/C) de cada tratamiento

### 3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

**Tabla 1 .Variable Independiente**

<i>Variable</i>	<i>Tipo</i>	<i>Nivel de medida</i>	<i>Descripción</i>
<i>Brasinoesteroides</i>	<i>Cuantitativa</i>	<i>Razón</i>	<i>Dosis de producto comercial: 0,4; 0,8 y 1,2 l/ha.</i>

*Elaborado por: Guevara, 2026*

**Tabla 2. Variable dependiente**

<i>Variables</i>	<i>Tipo</i>	<i>Nivel de medida</i>	<i>Descripción</i>
Número de flores por planta	Cuantitativa	Razón	Conteo del número total de flores durante el periodo de evaluación.
Número de flores fecundadas por planta	Cuantitativa	Razón	Conteo de flores que lograron fecundarse
Número de mazorcas	Cuantitativa	Razón	Conteo de mazorcas producidas por planta.
Peso de mazorcas	Cuantitativa	Razón	Peso en gramos de una muestra representativa
Número de semillas/mazorca	Cuantitativa	Razón	Conteo del número de semillas en cada mazorca.
Rendimiento total	Cuantitativa	Razón	Producción total estimada por hectárea expresada en kilogramos de cacao seco.

*Elaborado por: Guevara, 2026*

### 3.2.3 Tratamientos

En la presente investigación se evaluó cuatro tratamientos, definidos por la aplicación de diferentes dosis del bioestimulante V8THOR, compuesto por brasinoesteroides. Estos tratamientos, indicados en la tabla 3, tienen como finalidad

analizar el efecto diferencial de cada concentración sobre el desarrollo floral, el cuajado de frutos y el rendimiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo condiciones de campo. Se realizó dos aplicaciones con un intervalo de 14 días, ya que el producto contiene Ácidos giberelicos,(100ppm) Auxinas,(100ppm), Citoquinina (100ppm), Aminoácidos (4%), Extractos de algas(12%), Brasinoesteroides (120ppm) y Potasio (2,5%) .

**Tabla 3.Tratamientos a evaluar**

Tratamiento	Dosis (L/ha)	Frecuencia de Aplicación	Repeti	Descripción
T1	0	-----	5	Testigo
T2	0.4	14 días	5	Dosis intermedia
T3	0.8	14 días	5	Dosis recomendada
T4	1.2	14 días	5	Dosis alta

***Elaborado por: Guevara, 2026***

***La dosis de producto comercial es de 0,5 l/ha, recomendado hasta cuatro ciclo en el año.***

### ***3.2.4 Diseño experimental***

Para llevar a cabo este ensayo se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Cada unidad experimental consistió en una parcela con un ancho de 9.0 m y una longitud de 12.0 m. Las demás indicaciones físicas del experimento se detallan en la tabla 4 y el croquis de campo se puede observar en el anexo 1.

**Tabla 4 Delimitación de la parcela experimental**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Número de tratamientos:	4	
Número de repeticiones:	5	
Número de parcelas:	20	
Longitud de parcela	12	m
Ancho de parcela	9	m
Distancia de tratamiento y repeticiones	3	m
Área total de las parcelas por tratamientos:	108	m <sup>2</sup>
Distancia entre plantas:	3	m
Distancia entre hileras:	3	m
Área útil de la parcela:	6	m <sup>2</sup>
Area total del experimento	2592	m <sup>2</sup>

Elaborado por: Guevara, 2026

### **3.2.5 Recolección de datos**

#### **3.2.5.1 Recursos**

##### **a) Materiales**

Producto V8THOR (brasinoesteroides)

Insumos agrícolas para el manejo del cultivo (fertilizantes, herramientas menores, protectores, etc.)

Hojas de campo para el registro de datos

Etiquetas, marcadores y bolsas para muestras

##### **b) Bibliográficos**

Artículos científicos sobre el uso de brasinoesteroides en cultivos

Manual técnico del producto V8THOR

Literatura sobre fisiología del cacao y estrés hídrico

Libros y revistas indexada

### **c) Equipos**

Equipos de aspersión foliar manual

Balanzas de precisión para pesar mazorcas y semillas

Computadora con software estadístico (InfoStat)

Medidores de humedad y pH del suelo

### **d) Recursos humanos**

Tesista (responsable del diseño, aplicación y análisis del experimento)

Tutor (seguimiento metodológico y validación científica)

### **3.2.5.2 Métodos y técnicas**

La metodología para la recolección de datos se estructura en dos fases principales: aplicación de tratamientos **y** evaluación de variables, de acuerdo al diseño experimental planteado.

#### **Manejo del experimento**

Se realizaron todas las labores culturales para el buen desarrollo del cultivo entre ellas las siguientes:

**Control de Plagas:** El control fitosanitario se realizó una aplicación de insecticida diazinón en dosis de 400mm/200l de agua, ya que se encontró presencia de hormigas y cochinillas en el tronco del árbol. Las aplicaciones se efectuaron con mochila de aspersión manual, utilizando boquillas de cono hueco para garantizar una distribución uniforme.

**Manejo de Malezas:** El control de malezas fue realizado de manera manual, durante el desarrollo del trabajo se realizó controles utilizando machete tipo roza, en las parcelas experimentales para evitar competencia por agua, nutrientes y luz.

**Manejo de Riego:** El estrés hídrico observado en el cultivo de cacao se debió principalmente a la ausencia de un sistema de riego tecnificado, lo que obligó a realizar riegos de forma esporádica, aproximadamente una vez al mes, frecuencia claramente insuficiente para cubrir los requerimientos hídricos del cultivo, especialmente en un suelo de textura franca y bajo las condiciones climáticas de la zona de Simón Bolívar, Guayas; el estrés hídrico no fue inducido artificialmente, sino que respondió a una condición real de manejo del sistema productivo, caracterizada por riegos tardíos y poco frecuentes, lo que justificó plenamente la evaluación del efecto de los brasinoesteroides como reguladores fisiológicos

capaces de mitigar parcialmente los efectos negativos del déficit hídrico sobre la fructificación del cacao.

Fertilización: La fertilización se realizó en dos momentos principales: Primera aplicación (inicio del experimento), se aplicará la dosis base de fertilización, 150 g de fertilizantes completo 8-20-20, en media luna a 50 cm de distancia del tronco. Segunda aplicación (1 mes después del inicio del experimento): Se efectuará un refuerzo nutricional con formula ferticacao producción con dosis de 200g por árbol.

### **Aplicación de tratamientos**

Los tratamientos consisten en la aplicación foliar del producto V8THOR, que contiene brasinoesteroides, en cuatro dosis distintas: 0.0 L/ha, 0.4L/ha, 0,8 L/ha y 1.2 L/ha.

La aplicación se realizó mediante bomba de mochila, calibrados para asegurar la correcta dosificación por unidad de superficie.

Las aplicaciones se efectuó en dos aplicaciones con intervalo de 14 días a partir del inicio de campo, durante la etapa reproductiva del cultivo.

Cada tratamiento fue aplicado a un número de tres árboles por tratamiento, distribuidas de manera aleatoria dentro de las parcelas según el Diseño Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA).

Se garantizó el manejo agronómico y control de plagas en todas las parcelas para evitar sesgos.

### **Evaluación de variables**

Las siguientes variables fueron evaluadas durante el ciclo productivo del cacao:

#### **a) Número de mazorcas por planta**

Se realizó un conteo directo del número total de mazorcas formadas y cosechadas por planta dentro de cada unidad experimental. Esta variable permitió evaluar la productividad individual de los árboles en respuesta a los tratamientos aplicados

#### **b) Numero de flores por árbol**

El número de flores por árbol corresponde a la cantidad total de flores emitidas por cada planta de cacao durante el período de evaluación. Esta variable se utilizó como un indicador del potencial reproductivo del cultivo y de la capacidad

de floración del árbol, la cual está estrechamente relacionada con la futura formación de frutos. Para su determinación, se contabilizaron manualmente todas las flores emergidas en el tronco y en las ramas principales de cada árbol evaluado

#### **c) Número de flores fecundadas**

Para esta evaluación se registraron únicamente aquellas flores que formaron pequeños frutos visibles después del proceso de fecundación y que permanecieron adheridos al árbol durante la etapa inicial de desarrollo. No obstante, es importante señalar que, aunque estas flores fueron consideradas fecundadas por haber iniciado la formación del fruto, muchas de ellas no alcanzaron la madurez fisiológica debido a la incidencia de factores fitosanitarios y fisiológicos e hídricos.

#### **d) Peso promedio de las mazorcas (g)**

Se seleccionó aleatoriamente 5 mazorcas maduras por parcela, cada mazorca fue pesada con una balanza digital de precisión, se calculó el peso promedio en gramos.

#### **c) Número de semillas por mazorca**

De las mismas mazorcas seleccionadas para el pesaje, se abrió y contó manualmente las semillas, se obtuvo un promedio por mazorca y por tratamiento.

#### **d) Rendimiento total (kg/ha)**

La variable rendimiento total se determinó mediante el peso de los granos secos obtenidos en cada unidad experimental al final del período de evaluación. Para ello, las mazorcas maduras fueron cosechadas durante el ciclo productivo evaluado, posteriormente se realizó el proceso de beneficio que incluyó la extracción de las almendras, el secado y la determinación del peso final del grano seco. El peso registrado en cada parcela fue extrapolado a kilogramos por hectárea (kg/ha) considerando el área de cada unidad experimental, con el fin de estimar el rendimiento productivo bajo cada tratamiento aplicado

#### **e) Relación beneficio-costos (B/C)**

Se calculó al final del ensayo considerando, ingresos (valor comercial del cacao producido (kg \* precio promedio de mercado), suma de costos directos de aplicación del V8THOR (producto, mano de obra, equipo) y otros costos agronómicos relevantes, la fórmula fue:

$$B/C = \frac{\text{Valor de la producción (USD)}}{\text{Costo total de tratamiento (USD)}}$$

### 3.2.7 Análisis estadístico

Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. En los casos de identificar diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey al 5 % de probabilidad. El procesamiento se realizó con el software estadístico InfoStat. En la tabla 5 se detalla el esquema de ANOVA para este ensayo.

**Tabla 5 . Tabla de ANOVA**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Fórmula</b>	<b>GL</b>
Tratamientos	$(t-1)$	3
Repeticiones	$(r-1)$	4
Error	$(t-1)(R-1)$	12
Total	$(t*R)-1$	19

Elaborado por, Guevara, 2026

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Determinar el efecto de diferentes dosis de brasinoesteroides en la cantidad de flores y frutos cuajados en cacao bajo estrés hídrico.

#### 4.1.1 Número de flores por planta

En la Tabla 6 se presentan los valores promedio del número de flores por planta de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de brasinoesteroides. De acuerdo la aplicación de la prueba de comparación de medias de Tukey, el tratamiento T4 (brasinoesteroides a 1,2 L/ha) registró el mayor número de flores, con un promedio de 516,00, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. Le siguió el tratamiento T3 (0,8 L/ha), con 477,00 ubicándose en un segundo grupo estadístico.

Por su parte, el tratamiento T2 (0,4 L/ha) presentó un valor intermedio de 416,00 mientras que el testigo (T1) mostró el menor número de flores, con 366,00 diferenciándose significativamente de todos los tratamientos con aplicación de brasinoesteroides.

El coeficiente de variación (CV) de 0,25 % indica baja variabilidad experimental, lo que refleja una alta precisión en la medición de esta variable y una adecuada conducción del experimento.

**Tabla 6 Número de flores por planta**

Tratamiento	Dosis	Número de flores
T1 Testigo	0,0 L/ha	366 d
T2 Brasinoesteroides	0,4 L/ha	416 c
T3 Brasinoesteroides	0,8 L/ha	477 b
T4 Brasinoesteroides	1,2 L/ha	516 a
CV		0,25%

Medias con letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0.05$ ).

Elaborado por: Guevara, 2026

#### 4.1.2 Número de flores fecundada por planta

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio del número de flores fecundados por planta de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de brasinoesteroides. Según la prueba de comparación de medias de Tukey, el tratamiento T4 (brasinoesteroides a 1,2 L/ha) alcanzó el mayor número de flores fecundados, con un promedio de 69 frutos por planta, diferenciándose estadísticamente del resto de tratamientos. El tratamiento T3 (0,8 L/ha) registró

66,2 flores fecundadas, ubicándose en un grupo estadístico inferior, pero significativamente superior a las dosis más bajas.

Por su parte, el tratamiento T2 (0,4 L/ha) presentó un valor intermedio de 59 flores fecundados, mientras que el testigo (T1) mostró el menor número de flores fecundados, con 53 frutos por planta, evidenciando la influencia positiva de la aplicación de brasinoesteroides sobre el proceso de cuajado.

El coeficiente de variación (CV) de 0,59 % indica una baja variabilidad experimental, lo que confirma la confiabilidad de los resultados obtenidos y la adecuada respuesta del cultivo a los tratamientos evaluados.

**Tabla 7 Flores fecundadas por planta**

Tratamiento	Dosis	Flores fecundados
T1 Testigo	0,0 L/ha	53,0 d
T2 Brasinoesteroides	0,4 L/ha	59,0 c
T3 Brasinoesteroides	0,8 L/ha	66,2 b
T4 Brasinoesteroides	1,2 L/ha	69,0 a
CV		0,59%

Medias con letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0.05$ ).

Elaborado por: Guevara, 2026

#### **4.1.3 Peso promedio de las mazorcas (g)**

En la Tabla 8 se presentan los valores promedio del peso de mazorca de cacao en función de la aplicación de diferentes dosis de brasinoesteroides. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ), de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey.

El tratamiento T4 (brasinoesteroides a 1,2 L/ha) registró el mayor peso de mazorca, con un promedio de 452,6 g, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. Le siguió el tratamiento T3 (0,8 L/ha), con 450 g, ubicándose en un grupo estadístico inferior, pero significativamente superior a las dosis más bajas.

El tratamiento T2 (0,4 L/ha) presentó un peso intermedio de 447 g, mientras que el testigo (T1) alcanzó el menor peso de mazorca, con 437 g, evidenciando que la ausencia de brasinoesteroides limita el desarrollo y llenado del fruto.

El coeficiente de variación (CV) de 0,18 % indica una muy baja variabilidad experimental, lo que refleja una alta precisión en la medición de esta variable y confirma la confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Tabla 8 Peso de mazorca (g).**

Tratamiento	Dosis	Peso de mazorca (g)
T1 Testigo	0,0 L/ha	437 d
T2 Brasinoesteroides	0,4 L/ha	447 c
T3 Brasinoesteroides	0,8 L/ha	450 b
T4 Brasinoesteroides	1,2 L/ha	452,6 a
CV		0,18%

Medias con letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0.05$ ).

Elaborado por: Guevara, 2026

#### **4.1.4 Número de mazorca por árbol**

Los resultados obtenidos en la variable número de mazorcas por árbol se presenta en la tabla 9. En la que indica que hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T4 (Brasinoesteroides 1,2 L/ha) presentó el mayor promedio con 21,90 mazorcas por árbol, superando a los demás tratamientos. Por su parte, los tratamientos T3 (Brasinoesteroides 0,8 L/ha) y T2 (Brasinoesteroides 0,4 L/ha) registraron valores promedio de 19,66 y 18,50 mazorcas por árbol, respectivamente, ubicándose en el grupo B, lo que sugiere que estas dosis favorecieron la formación de frutos, aunque sin diferencias significativas entre sí. En contraste, el T1 (testigo absoluto) presentó el menor número de mazorcas con 16,40 por árbol, ubicándose en el grupo C, lo cual evidencia una menor producción de frutos en ausencia de la aplicación de brasinoesteroides. El coeficiente de variación fue de 0,18%, lo que refleja una baja variabilidad entre las repeticiones y confiabilidad en los resultados obtenidos.

**Tabla 9 Número de mazorca por árbol**

Tratamiento	Dosis	Número de mazorca por árbol
T1 Testigo	0,0 L/ha	16,40 c
T2 Brasinoesteroides	0,4 L/ha	18,50 b
T3 Brasinoesteroides	0,8 L/ha	19,66 b
T4 Brasinoesteroides	1,2 L/ha	21,90 a
CV		5,66%

Medias con letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0.05$ ).

Elaborado por: Guevara, 2026

#### **4.1.5 Número de semillas por mazorca**

En la Tabla 10, se presentan los valores promedio del número de semillas por mazorca de cacao en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de

brasinoesteroides. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ ), según la prueba de comparación de medias de Tukey.

Los tratamientos con aplicación de brasinoesteroides T4 (1,2 L/ha), T3 (0,8 L/ha) y T2 (0,4 L/ha) registraron valores similares de 44,8, 44,2 y 43,4 semillas por mazorca, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos, al agruparse bajo la misma letra (A). Esto indica que, independientemente de la dosis aplicada, el uso de brasinoesteroides favoreció el número de semillas por fruto.

En contraste, el tratamiento testigo (T1) presentó el menor número de semillas por mazorca, con 40,4 semillas, diferenciándose significativamente de los tratamientos con brasinoesteroides (grupo B), lo que evidencia el efecto positivo de estos bioestimulantes sobre el proceso de fecundación y desarrollo de semillas.

El coeficiente de variación (CV) de 3,19 % indica una variabilidad experimental aceptable, confirmando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

**Tabla 10 Número de semilla por mazorca**

Tratamiento	Dosis	Número de semillas por mazorca
T1 Testigo	0,0 L/ha	40,4 a
T2 Brasinoesteroides	0,4 L/ha	43,4 a
T3 Brasinoesteroides	0,8 L/ha	44,2 a
T4 Brasinoesteroides	1,2 L/ha	44,8 a
CV		3,19%

Medias con letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ).

Elaborado por: Guevara, 2026

## 4.2 Evaluar el impacto de la aplicación de brasinoesteroides en el rendimiento de cacao.

### 4.2.1 Rendimiento total (kg/ha)

En la Tabla 11 se presentan los valores promedio del rendimiento total de cacao en función de la aplicación de diferentes dosis de brasinoesteroides. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas, según la prueba de comparación de medias de Tukey, el tratamiento T4 (brasinoesteroides a 1,2 L/ha) alcanzó los mayores rendimientos, con valores de 1752,71kg/ha).

El tratamiento T2 (0,4 L/ha) y T3 (0,8l/ha) presentaron valores estadísticamente iguales de rendimientos con 1400,95 kg/ha, y 1552,05 kg/ha respectivamente ubicándose en el grupo B. En contraste, el testigo (T1) registró el

menor rendimiento, con 1132,71 kg/ha, mostrando diferencias estadísticas respecto a todos los tratamientos con aplicación de brasinoesteroides (grupo C).

El coeficiente de variación (CV) de 6,40 % indica una variabilidad experimental moderada y aceptable, lo que refleja una adecuada precisión del experimento y confirma la respuesta positiva del cultivo a la aplicación de brasinoesteroides, aun bajo condiciones de estrés hídrico.

**Tabla 11 Rendimiento total (kg/ha/ciclo)**

Tratamiento	Dosis	Rendimiento kg/ha
T1 Testigo	0,0 L/ha	1132,71 c
T2 Brasinoesteroides	0,4 L/ha	1400,95 b
T3 Brasinoesteroides	0,8 L/ha	1552,05 b
T4 Brasinoesteroides	1,2 L/ha	1752,71 a
CV		6,40%

Medias con letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0.05$ ).

Elaborado por: Guevara, 2026

### **4.3 Analizar la relación beneficio-costo de la aplicación de brasinoesteroides en condiciones de estrés hídrico.**

#### **4.3.1 Relación beneficio-costo (B/C) de cada tratamiento**

La Tabla 12 presenta el análisis beneficio–costo de los tratamientos evaluados con diferentes dosis de brasinoesteroides en el cultivo de cacao. Los resultados evidencian que la aplicación de este bioestimulante incrementó de manera progresiva la rentabilidad del sistema productivo, a pesar del aumento en los costos variables asociados a la dosis aplicada.

El costo fijo parcial se mantuvo constante en todos los tratamientos (USD 1.008,8/ha), mientras que el costo variable aumentó conforme se incrementó la dosis de brasinoesteroides, alcanzando valores de USD 94,4, USD 116,8 y USD 139,2 para los tratamientos T2, T3 y T4, respectivamente. Como resultado, el costo total de producción se elevó gradualmente desde USD 1.008,8/ha hasta USD 1.148,0/ha en el tratamiento de mayor dosis.

No obstante, este incremento en los costos fue ampliamente compensado por el aumento en el rendimiento del cultivo, el cual pasó de 1.357,27 kg/ha en el tratamiento de menor rendimiento a 2.150,4 kg/ha en el tratamiento T4. Este comportamiento se reflejó directamente en el ingreso bruto, que se incrementó

desde USD 4.189,10/ha hasta USD 6.636,91/ha, considerando un precio de venta constante de USD 140 por quintal.

El tratamiento T4, alcanzó el mayor valor de B/C (5,78), lo que indica que por cada dólar invertido se obtuvo un retorno de USD 5,78.

**Tabla 12 Análisis costo/beneficio**

Concepto	Testigo	T2	T3	T4
Costo fijo parcial	1.008,80	1.008,80	1.008,80	1.008,80
Costo variable	0,00	94,40	116,80	139,20
Costo total de producción	1.008,80	1.103,20	1.125,60	1.148,00
Rendimiento (kg/ha/año)	1.132,71	1.400,95	1.552,05	1.752,71
Rend. Ajust. (kg/ha/año)	1.019,44	1.260,86	1.396,85	1.577,44
Rendimiento (qq/ha)	22,47	27,80	30,79	34,78
Precio de venta\$/qq	110,00	110,00	110,00	110,00
Ingreso bruto \$/ha)	2.472,18	3.057,63	3.387,41	3.825,36
Beneficio neto \$/ha)	1.463,38	1.954,43	2.261,81	2.677,36
Relación (B/C)	2,45	2,77	3,01	3,33

Elaborado por: Guevara, 2026

## 5. DISCUSIÓN

La presente investigación demostró que la aplicación de brasinoesteroides tuvo un efecto positivo y significativo sobre los principales componentes reproductivos y productivos del cultivo de cacao bajo condiciones de estrés hídrico. En general, se observó una respuesta dosis-dependiente, en la que las dosis media y alta mostraron los mayores beneficios agronómicos y económicos. El incremento significativo en el número de flores por planta observado en los tratamientos con brasinoesteroides, especialmente en T4 (1,2 L/ha), coincide con lo reportado por Díaz (2022) y Kumar et al. (2023), quienes señalan que los brasinoesteroides estimulan la división y elongación celular, así como la diferenciación de órganos reproductivos. Bajo condiciones de estrés hídrico, estos efectos resultan particularmente relevantes, ya que el déficit de agua suele limitar la inducción floral y provocar aborto de flores en cacao. El menor número de flores registrado en el tratamiento testigo confirma que la ausencia de reguladores fisiológicos limita la capacidad reproductiva del cultivo en escenarios de estrés, tal como lo indican Borjas-Ventura et al. (2020), quienes reportan una reducción significativa en la floración del cacao bajo estrés abiótico. De manera similar, el mayor número de flores fecundadas por planta en los tratamientos con brasinoesteroides evidencia una mejora en el proceso de cuajado. Este resultado puede atribuirse a la capacidad de los brasinoesteroides para regular el balance hormonal, mejorar la viabilidad del polen y favorecer la retención de flores fecundadas, tal como lo señalan Gutiérrez et al. (2023). La superioridad del tratamiento T4 sugiere que dosis más elevadas potencian estos mecanismos fisiológicos sin generar efectos adversos.

El aumento significativo en el peso promedio de las mazorcas observado en los tratamientos con brasinoesteroides concuerda con lo reportado por Toro et al. (2023), quienes indican que dosis adecuadas de reguladores de crecimiento favorecen el llenado del fruto y la acumulación de biomasa. Bajo estrés hídrico, este efecto puede estar relacionado con una mayor eficiencia en la absorción y movilización de nutrientes, así como con una mejor regulación estomálica inducida por los brasinoesteroides (Kumar et al., 2023). En cuanto al número de semillas por mazorca, los resultados muestran que todos los tratamientos con brasinoesteroides superaron significativamente al testigo, sin diferencias estadísticas entre dosis.

Este comportamiento sugiere que incluso dosis bajas de brasinoesteroides son suficientes para estimular el proceso de fecundación y desarrollo de semillas, lo cual coincide con lo señalado por Garrido-Auñón et al. (2024), quienes destacan la alta eficacia de los brasinoesteroides a bajas concentraciones. El mayor rendimiento se registró en el tratamiento T4 (Brasinoesteroides 1,2 L/ha) con 1752,71 kg/ha, ubicándose en el grupo estadístico a, lo que evidencia un efecto positivo de la dosis más alta en la productividad del cultivo. Por su parte, los tratamientos T3 (0,8 L/ha) y T2 (0,4 L/ha) presentaron rendimientos de 1552,05 kg/ha y 1400,95 kg/ha, respectivamente, ubicándose en el grupo b, lo que indica que ambas dosis intermedias no presentaron diferencias estadísticas entre sí, aunque sí superaron significativamente al testigo. En contraste, el T1 (testigo absoluto) registró el menor rendimiento con 1132,71 kg/ha, ubicándose en el grupo c, lo que evidencia que la ausencia de aplicación de brasinoesteroides limita el potencial productivo del cultivo. El coeficiente de variación (CV = 6,40 %) indica una adecuada precisión experimental. Estos resultados sugieren que la aplicación de brasinoesteroides contribuye a mejorar el rendimiento del cacao, posiblemente al favorecer procesos fisiológicos relacionados con la regulación hormonal, el cuajado de frutos y la tolerancia a condiciones de estrés. En este sentido, diversos estudios señalan que los brasinoesteroides actúan como reguladores fisiológicos capaces de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y mitigar los efectos negativos del estrés abiótico en las plantas (Gutiérrez et al., 2023; Borjas-Ventura et al., 2020).

El análisis beneficio–costo evidenció que, a pesar del incremento progresivo de los costos variables asociados a las dosis de brasinoesteroides, los ingresos brutos y beneficios netos aumentaron de manera proporcional al rendimiento. El tratamiento T4 presentó la mayor relación beneficio/costo (3,33), indicando una alta rentabilidad del uso de brasinoesteroides en dosis elevadas. Estos resultados concuerdan con Kumar et al. (2023), quienes destacan el carácter ecológico y económicamente viable de los brasinoesteroides, así como su potencial para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos. En el contexto del cacao, los resultados del presente estudio confirman que la aplicación de brasinoesteroides no solo mejora los parámetros agronómicos, sino que también representa una alternativa económicamente rentable para mitigar los efectos del estrés hídrico.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

El brasinoesteroides aplicado tuvo un efecto positivo y significativo sobre la floración, el cuajado de frutos, el desarrollo de mazorcas y el rendimiento del cultivo de cacao bajo condiciones de estrés hídrico, provocado por la falta de un sistema de riego y la realización de riegos esporádicos manuales (una vez al mes).

El tratamiento T4 (1,2 L/ha) presentó los mejores resultados agronómicos, registrando el mayor número de flores por planta, mayor número de flores fecundadas, mayor peso de mazorca y el mayor rendimiento total (1.752,71kg/ha).

En cuanto al número de semillas por mazorca, los tratamientos con brasinoesteroides (T2, T3 y T4) no mostraron diferencias estadísticas entre sí, pero sí superaron significativamente al testigo, lo que confirma que la aplicación del bioestimulante favorece la fecundación y el desarrollo de semillas aun bajo condiciones de disponibilidad limitada de agua.

El tratamiento testigo, sin aplicación de brasinoesteroides, presentó los valores más bajos en todas las variables evaluadas, demostrando que el estrés hídrico generado por la ausencia de riego tecnificado afecta negativamente la floración, el cuajado de frutos y el rendimiento del cacao.

El análisis económico evidenció que, a pesar del incremento en los costos variables por la aplicación de brasinoesteroides, el tratamiento T4 alcanzó la mayor relación beneficio–costo (3,33).

### 6.2 Recomendaciones

Se recomienda la aplicación de brasinoesteroides, particularmente en dosis de 1,2 L/ha, como una estrategia fisiológica eficaz para mitigar los efectos del estrés hídrico en plantaciones de cacao. Su uso favorece procesos fisiológicos como la división celular, elongación y regulación estomática, mejorando la tolerancia de la planta. En condiciones de déficit hídrico, estos compuestos ayudan a mantener la actividad fotosintética y el equilibrio hormonal. Esto se traduce en una mejor retención de flores y desarrollo de frutos bajo condiciones adversas.

Para productores de cacao que manejan el cultivo en condiciones de secano o con riego deficiente, se sugiere incorporar brasinoesteroides dentro del manejo agronómico. Estos bioestimulantes contribuyen a mejorar la eficiencia en el uso del

agua por parte de la planta. También permiten mantener un crecimiento más estable durante periodos de sequía prolongada. Su uso es especialmente útil en sistemas tradicionales donde no se dispone de tecnología de riego.

Se recomienda complementar la aplicación de brasinoesteroides con prácticas de conservación de humedad del suelo para maximizar su efecto. El uso de coberturas vegetales ayuda a reducir la evaporación y mejora la retención de agua en el suelo. La incorporación de materia orgánica incrementa la capacidad de almacenamiento hídrico y la estructura del suelo. Asimismo, un adecuado control de malezas evita la competencia por agua y nutrientes.

Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar la interacción entre brasinoesteroides y diferentes frecuencias de riego. Esto permitirá identificar combinaciones óptimas que maximicen la eficiencia del uso del agua. También es importante analizar su efecto bajo distintos métodos de riego, como goteo o aspersión.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AS., . R., Sharma, S., Das, S., & Thakur, S. (2024). Brassinosteroids: The promising plant growth regulators on vegetable crops: A review. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(7), 205–214. <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.V8.I7C.1464>
- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario, Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola (2021). <https://www.agrocalidad.gob.ec/coordinacion-general-de-salud-vegetal/>
- Agrocalidad. (2016). Servicios – Otro sitio realizado con WordPress. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <https://www.agrocalidad.gob.ec/>
- Aguirre, M. J. F. M. B. F., & Cadena, I. J. . S. Ramon. (2018). Efectividad de biofertilizantes y brasinoesteroides en *Stevia rebaudiana* Bert. *Agrociencia*, 52(2018), 609–621. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952018000400609&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952018000400609&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Ahammed, G. J., Li, X., Liu, A., & Chen, S. (2020). Brassinosteroids in Plant Tolerance to Abiotic Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(4), 1451–1464. <https://doi.org/10.1007/S00344-020-10098-0>
- Anwar, A., Liu, Y., Dong, R., Bai, L., Yu, X., & Li, Y. (2018). The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. *Biological Research*, 51(1), 46. <https://doi.org/10.1186/S40659-018-0195-2>
- Aryal, D., & Alferrez, F. (2025). Brassinosteroids: Biosynthesis, Signaling, and Hormonal Crosstalk as Related to Fruit Yield and Quality. *Plants* 2025, Vol. 14, Page 1865, 14(12), 1865. <https://doi.org/10.3390/PLANTS14121865>
- Basit, F., Chen, M., Ahmed, T., Shahid, M., Noman, M., Liu, J., An, J., Hashem, A., Al-Arjani, A. B. F., Alqarawi, A. A., Alsayed, M. F. S., Abd\_allah, E. F., Hu, J., & Guan, Y. (2021). Seed priming with brassinosteroids alleviates chromium stress in rice cultivars via improving ROS metabolism and antioxidant defense response at biochemical and molecular levels. *Antioxidants*, 10(7), 1089. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX10071089/S1>

- Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A., & Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 150–164. <https://doi.org/10.36610/J.JSAB.2020.080200150>
- Castro, Z. M. D. (2021). *Brasinoesteroides en el cuaje de flores y frutos de cacao (Theobroma cacao)*, MILAGRO GUAYAS [Tesis de grado]. Universidad Agraria del Ecuador.
- Chamba, S. J. Fabricio. (2024). *Efecto combinado de tres fitohormonas más aminoácidos sobre la formación del fruto en el cultivo de cacao El Triunfo*. Universidad Agraria del Ecuador.
- Claus, G., Vanhove, W., Damme, P. Van, Guy Smagghe, Claus, G., Vanhove, W., Damme, P. Van, & Guy Smagghe. (2018). Desafíos en la polinización del cacao: El caso de Costa de Marfil. *Pollination in Plants*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.75361>
- Constitución de la república del Ecuador, (2008). [moz-extension://85531271-0b9b-4b89-96ac-89ba277f2617/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.oas.org%2Fjuridico%2FPDFs%2Fmesicic4\\_ecu\\_const.pdf](moz-extension://85531271-0b9b-4b89-96ac-89ba277f2617/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.oas.org%2Fjuridico%2FPDFs%2Fmesicic4_ecu_const.pdf)
- Constitución de la república del ECUADOR 2008 Decreto Legislativo 0 Registro Oficial, Constitución de La Republica del Ecuador (2011). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Huerta Guillén, R. E. (2022). *Respuesta fisiológica y molecular de tres cultivares de Cacao (Theobroma cacao) al estrés hídrico* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5294>
- Di Sario, L., Boeri, P., Matus, J. T., & Pizzio, G. A. (2025). Plant Biostimulants to Enhance Abiotic Stress Resilience in Crops. *International Journal of Molecular Sciences* 2025, Vol. 26, Page 1129, 26(3), 1129. <https://doi.org/10.3390/IJMS26031129>
- Díaz Sánchez, C. J. (2022). *Uso de los Brasinoesteroides y su beneficio en el cultivo de Cacao (Theobroma cacao L.)* [Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11412>

- Fernandez V; Brown, P. H. (2025). La Absorción de Nutrientes en Fertilización Foliar | Intagri S.C. In Intagri S. C. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-absorcion-de-nutrientes-a-traves-de-la-fertilizacion-foliar>
- Furio, R. N., Salazar, S. M., Mariotti-Martínez, J. A., Martínez-Zamora, G. M., Coll, Y., & Díaz-Ricci, J. C. (2022). Brassinosteroid Applications Enhance the Tolerance to Abiotic Stresses, Production and Quality of Strawberry Fruits. *Horticulturae*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE8070572>
- García, J. I. B., Reinoso, T. J. M., & García, H. D. B. (2021). Evaluation of the chemical fertility of the soil in an initial productive Theobroma cacao system of the “Hermanos Briones” farm, Portoviejo - Ecuador. *ConcienciaDigital*, 4(3.1), 227–237. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.1.1825>
- Garrido-Auñón, F., Puente-Moreno, J., García-Pastor, M. E., Serrano, M., & Valero, D. (2024). Brassinosteroids: An Innovative Compound Family That Could Affect the Growth, Ripening, Quality, and Postharvest Storage of Fleshy Fruits. *Plants* 2024, Vol. 13, Page 3082, 13(21), 3082. <https://doi.org/10.3390/PLANTS13213082>
- Gutierrez, L. F. A., Alvarado, O. S. P., Reascos Castillo Jaime Fabrizzio, Ortiz, F. E. N., Portilla, N. A. R., & Rivera, M. M. A. (2023). Efecto sinérgico de la aplicación de biofertilizante y fertilizante nitrogenado en pasturas. *Pastos y Forrajes*, 46. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942023000100014](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942023000100014)
- Jaramillo, C. W. J. (2024). Aplicación de brasinoesteroides en la etapa inicial del desarrollo del cultivo de banano (*Musa acuminata* aaa), Milagro – Guayas. Universidad Agraria del Ecuador.
- Kumar, A., Rajan, R., Kaur, G., Singh, T., Chundurwar, K., Reddy, G. B. G., & Vamshi, T. (2023). Brassinosteroids: Orchestrating Resilience and Growth in Modern Fruit Production. *Plant Science Today*, 10(sp2), 46–52. <https://doi.org/10.14719/PST.2544>

- Kumari, S., Bakshi, P., Sharma, A., Wali, V. K., Jasrotia, A., & Kour, S. (2018). Use of Plant Growth Regulators for Improving Fruit Production in Sub Tropical Crops. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 7(3), 659–668. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.077>
- Lima, J. V., & Lobato, A. K. S. (2017). Brassinosteroids improve photosystem II efficiency, gas exchange, antioxidant enzymes and growth of cowpea plants exposed to water deficit. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23(1), 59–72. <https://doi.org/10.1007/S12298-016-0410-Y/METRICS>
- Montoya Naranjo, A. G. (2022). Evaluación de la floración de cacao (*Theobroma cacao* L.) en respuesta a la aplicación de algas marinas en el Cantón Urdaneta, Provincia de Los Ríos [Tesis, UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL - FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/63738>
- Mora, V. D. N. (2022). Importancia de los brasinoesteroides en la producción del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en zona tropical [Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13288>
- Nolan, T., Chen, J., & Yin, Y. (2017). Cross-talk of Brassinosteroid signaling in controlling growth and stress responses. *The Biochemical Journal*, 474(16), 2641. <https://doi.org/10.1042/BCJ20160633>
- Osorio Zambrano, M. A., Castillo, D. A., Rodríguez Pérez, L., & Terán, W. (2021a). Cacao (*Theobroma cacao* L.) Response to Water Stress: Physiological Characterization and Antioxidant Gene Expression Profiling in Commercial Clones. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.700855>
- Perez-Borroto, L. S., Guzzo, M. C., Posada, G., Peña Malavera, A. N., Castagnaro, A. P., Gonzalez-Olmedo, J. L., Coll-García, Y., & Pardo, E. M. (2022). A brassinosteroid functional analogue increases soybean drought resilience. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-022-15284-6>
- Ribeiro, D. G. dos S., Silva, B. R. S. da, & Lobato, A. K. da S. (2019). Brassinosteroids induce tolerance to water deficit in soybean seedlings: contributions linked to root anatomy and antioxidant enzymes. *Acta*

- Physiologiae Plantarum, 41(6), 1–11. <https://doi.org/10.1007/S11738-019-2873-2/METRICS>
- Romero Vergel, A. P., Camargo Rodriguez, A. V., Ramirez, O. D., Arenas Velilla, P. A., & Gallego, A. M. (2022). A Crop Modelling Strategy to Improve Cacao Quality and Productivity. *Plants* 2022, Vol. 11, Page 157, 11(2), 157. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11020157>
- Rusconi, M., & Conti, A. (2010). *Theobroma cacao* L., the Food of the Gods: A scientific approach beyond myths and claims. *Pharmacological Research*, 61(1), 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.08.008>
- Santos, I. C., De Almeida, A. A. F., Anhert, D., Da Conceição, A. S., Pirovani, C. P., Pires, J. L., Valle, R. R., & Baligar, V. C. (2014). Molecular, Physiological and Biochemical Responses of *Theobroma cacao* L. Genotypes to Soil Water Deficit. *PLOS ONE*, 9(12), e115746. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0115746>
- Sharma, H. S. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R., & Martin, T. (2014). Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26(1), 465–490. <https://doi.org/10.1007/S10811-013-0101-9/METRICS>
- Sustr, M., Soukup, A., & Tylova, E. (2019). Potassium in Root Growth and Development. *Plants* (Basel, Switzerland), 8(10). <https://doi.org/10.3390/PLANTS8100435>
- Toro, M., Calsina, R., Ogata-Gutiérrez, K., Gil-Polo, A., Ormeño-Orrillo, E., & Zúñiga-Dávila, D. (2023). Evaluation of the Presence of Arbuscular Mycorrhizae and Cadmium Content in the Plants and Soils of Cocoa Plantations in San Martin, Peru. *Diversity* 2023, Vol. 15, Page 246, 15(2), 246. <https://doi.org/10.3390/D15020246>
- Usmani, L., Shakil, A., Khan, I., Alvi, T., Singh, S., & Das, D. (2025). Brassinosteroids in Micronutrient Homeostasis: Mechanisms and Implications for Plant Nutrition and Stress Resilience. *Plants*, 14(4), 598. <https://doi.org/10.3390/PLANTS14040598>
- Zambrano, E. B., Barreto, G. C., & Jaimez, R. (2024). Efecto de la temperatura y la radiación sobre la respuesta fisiológica del cacao (*Theobroma cacao*

L): estrategias de mejoramiento. *Ciencia y Tecnología*, 17(1), 24–32.  
<https://doi.org/10.18779/CYT.V17I1.713>

Zambrano, G. A. G. (2020). Aplicación de brasinoesteroides y sus análogos en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L), bajo riego en el sector San Agustín de Chilintomo- Guayas”. In Universidad Agraria el Ecuador. Universidad Agraria del Ecuador. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8216>

Zhang, Z., Chen, Z., Song, H., & Cheng, S. (2023). From plant survival to thriving: exploring the miracle of brassinosteroids for boosting abiotic stress resilience in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1218229. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2023.1218229/XML>

## ANEXOS

### Anexo 1 Tabla Promedio de número de mazorca por árbol\*

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	R5	Media
T1 Testigo	16,7	18,8	15,8	15,3	15,4	16,4
T2 Brasinoesteroides	19,8	19,3	17,9	17,6	17,9	18,5
T3 Brasinoesteroides	21,0	21,7	17,8	19,4	18,4	19,66
T4 Brasinoesteroides	21,4	22,5	19,5	23,5	22,6	21,9

\*Acumulado de dos cosechas consecutivas

Elaborado por: Guevara, 2026

### Número de mazorca

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Número de mazorca	20	0,87	0,80	5,66

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	97,76	7	13,97	11,95	0,0001
Tratamiento	79,01	3	26,34	22,53	<0,0001
Repeticiones	18,74	4	4,69	4,01	0,0273
Error	14,03	12	1,17		
Total	111,79	19			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,03025**

Error: 1,1691 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Brasinoesteroides 1,2L/h..	21,90	5	0,48	A
Brasinoesteroides 0,8L/h..	19,66	5	0,48	B
Brasinoesteroides 0,4L/h..	18,50	5	0,48	B
Testigo 0,0 L/ha	16,40	5	0,48	C

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

### Anexo 2 Tabla: Numero de Flores por árbol

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	R5	Media
T1 Testigo	360	370	355	380	365	366
T2 Brasinoesteroides	410	420	405	430	415	416
T3 Brasinoesteroides	470	480	465	495	475	477
T4 Brasinoesteroides	510	520	505	530	515	516

Elaborado por: Guevara, 2026

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Flores (n)	20	1,00	1,00	0,25

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	67328,75	7	9618,39	7694,71	<0,0001
Tratamiento	65703,75	3	21901,25	17521,00	<0,0001
Repetición	1625,00	4	406,25	325,00	<0,0001
Error	15,00	12	1,25		
Total	67343,75	19			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,09933**

Error: 1,2500 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4 Brasinoesteroides (1,2 ..	516,00	5	0,50 A
T3 Brasinoesteroides (0,8 ..	477,00	5	0,50 B
T2 Brasinoesteroides (0,4 ..	416,00	5	0,50 C
T1 Testigo (0,0 L/ha)	366,00	5	0,50 D

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

**Anexo 3 Tabla. Flores fecundadas (n) por árbol**

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	R5	Media
T1 Testigo	52	54	50	56	53	53
T2 Brasinoesteroides	58	60	57	61	59	59
T3 Brasinoesteroides	65	67	64	69	66	66
T4 Brasinoesteroides	68	70	67	71	69	69

Elaborado por: Guevara, 2026

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Flores fecundados (n)	20	1,00	1,00	0,59

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	835,60	7	119,37	895,29	<0,0001
Tratamiento	782,40	3	260,80	1956,00	<0,0001
Repetición	53,20	4	13,30	99,75	<0,0001
Error	1,60	12	0,13		
Total	837,20	19			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,68564**

Error: 0,1333 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4 Brasinoesteroides (1,2 ..	69,00	5	0,16 A
T3 Brasinoesteroides (0,8 ..	66,20	5	0,16 B
T2 Brasinoesteroides (0,4 ..	59,00	5	0,16 C
T1 Testigo (0,0 L/ha)	53,00	5	0,16 D

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

**Anexo 4 Tabla: Peso de mazorcas (g)**

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	R5	Media
T1 Testigo	430	435	438	440	442	437,0
T2 Brasinoesteroides	440	445	448	450	452	447,0
T3 Brasinoesteroides	445	448	450	452	455	450,0
T4 Brasinoesteroides	448	450	452	455	458	452,6

Elaborado por: Guevara, 2026

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj	CV
Peso mazorca	20	0,99	0,99	0,18	

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	988,65	7	141,24	214,54	<0,0001
Tratamiento	699,35	3	233,12	354,10	<0,0001
Repeticiones	289,30	4	72,33	109,86	<0,0001
Error	7,90	12	0,66		
Total	996,55	19			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,52352**

Error: 0,6583 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Brasinoesteroides 1,2L/h..	452,60	5	0,36 A
Brasinoesteroides 0,8L/h..	450,00	5	0,36 B
Brasinoesteroides 0,4L/h..	447,00	5	0,36 C
Testigo 0,0 L/ha	437,00	5	0,36 D

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

#### Anexo 5 Tabla Número de grano por mazorcas

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	R5	Media
T1 Testigo	42	38	39	41	42	40,4
T2 Brasinoesteroides	40	42	44	45	46	43,4
T3 Brasinoesteroides	41	43	45	46	46	44,2
T4 Brasinoesteroides	42	44	45	46	47	44,8

Elaborado por: Guevara, 2026

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj	CV
numero de semilla por mazo..	20	0,82	0,72	3,19	

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	104,40	7	14,91	7,85	0,0011
Tratamiento	57,20	3	19,07	10,04	0,0014
Repeticiones	47,20	4	11,80	6,21	0,0060
Error	22,80	12	1,90		
Total	127,20	19			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,58823**

Error: 1,9000 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Brasinoesteroides 1,2L/h..	44,80	5	0,62 A
Brasinoesteroides 0,8L/h..	44,20	5	0,62 A
Brasinoesteroides 0,4L/h..	43,40	5	0,62 A
Testigo 0,0 L/ha	40,40	5	0,62 B

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

**Apéndice 6. Rendimiento total (kg/ha/año)**

Tratamiento	R1	R2	R3	R4	R5	Media
T1 Testigo	1186,81	1219,12	1054,97	1081,64	1121,01	1132,7
T2 Brasinoesteroides	1399,06	1408,50	1368,54	1381,46	1447,21	1401,0
T3 Brasinoesteroides	1520,95	1662,83	1433,65	1609,13	1533,71	1552,0
T4 Brasinoesteroides	1583,73	1757,62	1563,74	1940,80	1917,67	1752,7

Elaborado por: Guevara, 2026

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento	20	0,91	0,86	6,40

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1099658,17	7	157094,02	18,01	<0,0001
Tratamiento	1023794,06	3	341264,69	39,12	<0,0001
Repeticiones	75864,11	4	18966,03	2,17	0,1338
Error	104678,88	12	8723,24		
Total	1204337,05	19			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=175,37377**

Error: 8723,2397 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Brasinoesteroides 1,2L/h..	1752,71	5	41,77	A
Brasinoesteroides 0,8L/h..	1552,05	5	41,77	B
Brasinoesteroides 0,4L/h..	1400,95	5	41,77	B
Testigo 0,0 L/ha	1132,71	5	41,77	C

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

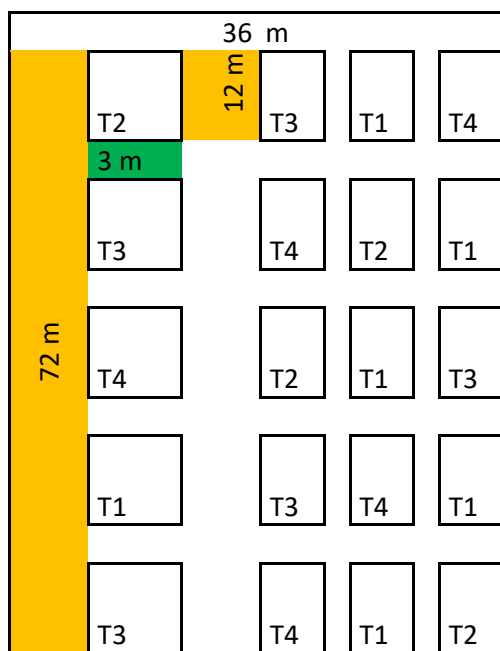
## Costo fijo 1 ha de cacao establecida

**Anexo 6 Tabla. Costo fijo de cacao establecida**

Actividad	Concepto	Unidades	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)
Control de malezas	Glufosinato de amonio	4 L	4	10	40
	Mano de obra (aplicación)	4 jornales	4	15	60
Riego	Gasolina	20 galones	20	2,52	50,4
Riego	Mano de obra	8 jornales	8	15	120
Control fitosanitario	Fungicida Oxitane	4 kg	4	15	60
	Mano de obra	4 jornales	4	15	60
Cosecha	Mano de obra	24 jornales	24	15	360
Poda	mano de obra	planta	0,15	1111	166,65
<b>Total costo de producción parcial</b>					<b>917,05</b>
Imprevisto 10%					<b>91,705</b>
Total costo de producción parcial					1008,755

**Anexo 7 Tabla Costos variable de los tratamientos**

Iten	Brasinoesteroides	Brasinoesteroides	Brasinoesteroides
	0,4L/ha	0,8L/ha	1,2L/ha
Dosis (l/ha)	0,8	1,6	2,4
Precio	28	28	28
Costo producto \$	22,4	44,8	67,2
Jornales	6	6	6
Costo jornal \$	12	12	12
Costo mano de obra	72	72	72
Costo variable	94,4	116,8	139,2

**Anexo 8. Figura Croquis de campo**

Elaborado por: Guevara, 2025

**Anexo 9** Figura 1 Instalación de parcelas experimentales

Elaborado por Guevara, 2026

**Anexo 10** Figura 2 Señalización de tratamientos en parcelas

Elaborado por Guevara, 2026

**Anexo 11** Figura 1 Aplicación de los tratamientos en parcelas



Elaborado por Guevara, 2026

**Anexo 12** Figura 3 Aplicación de los tratamientos en estudios



Elaborado por Guevara, 2026

**Anexo 13** Figura 4 Aplicación en diferentes tratamientos

Elaborado por Guevara, 2026

**Anexo 14** Figura 5 Aplicación de fertilizantes edáficos

Elaborado por Guevara, 2026

*Anexo 15 Figura 6 visita del tutor*



Elaborado por Guevara, 2026

*Anexo 16 Figura Peso de 100 semilla de cacao*



Elaborado por Guevara, 2026