

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE BIOESTIMULANTES SOBRE EL CRECIMIENTO Y  
METABOLITOS SECUNDARIOS BAJO ESTRÉS HIDRICO EN *IPOMEA*  
*TRICOLOR* CAV.

Tesis

Que presenta JESÚS GAMALIEL CARVAJAL DOMÍNGUEZ

como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA


Saltillo, Coahuila

Marzo 2025

EFFECTO DE BIOESTIMULANTES SOBRE EL CRECIMIENTO Y  
METABOLITOS SECUNDARIOS BAJO ESTRÉS HIDRICO EN *IPOMEA*  
*TRICOLOR* CAV.

Tesis

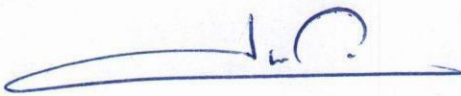
Elaborada por JESÚS GAMALIEL CARVAJAL DOMÍNGUEZ como requisito  
parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la  
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría

  
Dr. José Antonio González Fuentes

Director de Tesis

  
Dr. Armando Robledo Olivo


Asesor

  
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor

  
Dr. Eduardo Alberto Lara Reimers

Asesor

  
Dr. Antonio Flores Naveda.  
Subdirector de Postgrado  
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Marzo 2025

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios, por darme fortaleza cada día y recordarme mi valía en los momentos en los que me sentí mentalmente agotado.**

**A mi madre, Celene del Socorro Domínguez Laínes, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida. Le agradezco profundamente por la educación y el amor incondicional que siempre me brindó.**

**A mi hermano, Hermilo Carvajal Domínguez, por su respaldo inquebrantable en cada desafío que la vida me presentó.**

**A mi padre, Gamaliel Carvajal Núñez, a quien, pese a las circunstancias que nos impidieron compartir momentos esenciales, le expreso mi gratitud de todo corazón por todo lo que me ha dado.**

**A mis abuelas, Eriberta Laines y Juana, por inculcarme el respeto hacia la madre tierra, el amor por la naturaleza y el conocimiento de las plantas medicinales.**

**A mi abuelo, Hermilo Domínguez Valencia, por enseñarme a trabajar la tierra y por transmitirme el respeto y el cariño hacia los animales.**

**A mis tíos y primos: Carito, Miguel, Fernanda, Sofía, Jesús, Trancita, Anyelo, Riger, Rodin, Ronnie, Chapis, Julissa, Vanessa, Jackson, Bety, Rodin Jr., Vaquita, Nairobi, Laura, Karen, Edwin, Fabián.**

**A mis amigos: Emilce, Yoni, Carlos, Héctor, Gabriel, Kari, Alejandra, Pato, Lautty, Yan, Sebas, Axel, Andrés, Efraín, Diego, Andrinolo, Lucas, Pita, Jorge, Clara, Karina, Oscar Marines, René, Páez, Romo, Abraham, Pepe, Darío, Soto, Marco, Alejandro, Cristian, Favian, Salas, Cirilo, Ricardo, Ponce, Toro, Erasmo, Braulia, Silva, Carmen, Omar, Fabricio, Marco y Nicol.**

**Gracias a todos por ser parte de mi vida y por su apoyo incondicional.**

## **DEDICATORIA**

Al Dr. José Antonio González Fuentes, por confiar en mí potencial y brindarme todas las herramientas necesarias para la realización de mi investigación y estancia académica.

Al Dr. Eduardo Lara Reimers, por inspirarme en la metodología y apoyarme en el seguimiento a lo largo del trabajo de investigación.

Al Dr. Armando Robledo Olivo, por motivarme y demostrarme su apoyo en todo momento.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por ser parte fundamental de mi comité y equipo de trabajo.

A mi Alma Terra Mater, a mis compañeros de la UAAAN y amigos de la UNLP que me recibieron y compartieron conmigo en Saltillo, Argentina Perú y Brasil.

A CONAHCYT por apoyarme y confiar en mi investigación.

A Dios, a mi Familia y Amigos por hacer todo esto posible.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE .....	v
RESÚMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general .....	3
Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Descripción Botánica y Características Morfológicas de <i>Ipomea tricolor</i> .....	4
Usos Tradicionales y Potenciales de <i>Ipomoea tricolor</i> .....	5
Metabolitos secundarios .....	5
Antocianinas .....	6
Bioestimulación .....	6
Acido Ascorbico .....	7
Acido Giberélico .....	8
Ácido Salicílico .....	8
Déficit de presión de vapor (DPV) .....	9
Contenido Relativo de Agua (RWC %) .....	10
Potencial Hídrico Xilemático .....	11
Marcador de estrés celular con Malondialdeido (MDA).....	12
Uso potencial de <i>I. tricolor</i> como materia prima, bioestimulante y medicamento.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
Área de estudio .....	16
Variables a evaluar .....	16
Variables Agronómicas .....	17
Variables Fisiológicas.....	17
Variables Bioquímicas.....	18
RESULTADOS .....	21
Análisis del Crecimiento .....	22
Análisis de Respuesta Fisiológica .....	22

Análisis del contenido de antocianinas totales .....	23
Análisis del contenido de Malondialdehído .....	24
DISCUSIÓN .....	25
CONCLUSION .....	28
LITERATURA CITADA .....	29
ANEXOS .....	40
Anexo 1. Cultivo experimental de <i>Ipomea tricolor</i> en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.....	40
Anexo 2. Determinación de Respuesta Fisiológica en <i>Ipomea tricolor</i> Cav .....	40
Anexo 3. Extracción y determinación de MDA total en hojas de <i>Ipomea tricolor</i> .....	41
Anexo 4. Extracción y determinación de antocianinas totales en flores de <i>Ipomea tricolor</i> .....	41

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Efecto de ácidos orgánicos sobre el crecimiento y desarrollo en <i>I. tricolor</i> Cav. ( $\bar{x}$ =Media, $\pm$ DE= Desviación estándar, $\alpha$ = Letras de Significancia).....	<b>21</b>
-----------------	---	-----------

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Arreglo experimental (Bloques Completos al Azar).....	<b>16</b>
<b>Figura 2.</b>	Respuesta de <i>I. tricolor</i> sobre el déficit de Presión de Vapor (Kpa) bajo estrés hídrico.....	<b>22</b>
<b>Figura 3.</b>	Respuesta bioquímica sobre el contenido de antocianinas totales (mg/100 g de muestra fresca de flores) .....	<b>22</b>
<b>Figura 4.</b>	Correlación positiva lineal .....	<b>24</b>
<b>Figura 5.</b>	Contenido de MDA total (mg/kg de muestra fresca de hojas) en <i>I. tricolor</i> bajo estrés hídrico.).....	<b>25</b>



## **RESUMEN**

EFFECTO DE BIOESTIMULANTES SOBRE EL CRECIMIENTO Y  
METABOLITOS SECUNDARIOS BAJO ESTRÉS HIDRICO EN *IPOMEA*  
*TRICOLOR* CAV.

**P O R**

JESÚS GAMALIEL CARVAJAL DOMÍNGUEZ  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DR. JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES -ASESOR-

.

Saltillo, Coahuila

Marzo 2025

## RESÚMEN

La *Ipomea tricolor* es una enredadera con hojas en forma de corazón y flores acampanadas con tonalidades azules, lilas, rosas y blancas dependiendo de su potencial de hidrogeno, esta planta medicinal conocida como "Gloria de la mañana, Quiebra platos o Tapa oídos" usada para la adivinación y como purgante por las culturas indígenas mexicanas, principalmente los mixtecos de las sierras de Oaxaca. En la actualidad se ha aislado, purificado e identificado la tricolina A y la ergotamina, alcaloides con actividad analgésica, alelopática, fungicida, bactericida y citotóxica contra el carcinoma de colon, cérvix, ovario y mama.

La investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro donde se cultivaron 60 plantas en bolsas de polietileno de 11 L bajo un diseño de bloques completos al azar, donde se ejecutó el análisis de varianza y la comparación de media Tukey al 95 % de confiabilidad en Infostat 2020, el objetivo fue determinar el comportamiento de tres ácidos orgánicos sobre el crecimiento y la síntesis de metabolitos secundarios, se utilizó como indicador la concentración de antocianinas y malondialdehído como marcador molecular de daño oxidativo sometidas a estrés hídrico, la aplicación de ácido ascórbico presento 57.31 mg/100 g mayor contenido de antocianinas, seguido del salicílico con 49.14 mg/100 g, mientras que el ácido giberélico presento 23.472 mg/kg menor contenido de malondialdehído y se reportó 25.38 mg/100 g de antocianinas. En conclusión, este ácido se encuentra influyendo sobre la reducción de estrés y al mismo tiempo inhibe la síntesis de metabolitos, lo que nos indica que el ácido ascórbico y salicílico está participando en una vía de señalización que sintetiza estos principios activos y el ácido giberélico se encuentra desactivándola.

**Palabras clave:** Síntesis, Antioxidante, Bioestimulación, Estrés, Planta Medicinal

## **ABSTRACT**

EFFECT OF BIOSTIMULANTS ON GROWTH AND SECONDARY  
METABOLITES UNDER WATER STRESS IN *IPOMOEA TRICOLOR* CAV.

**BY**

JESÚS GAMALIEL CARVAJAL DOMÍNGUEZ  
MASTER'S DEGREE IN HORTICULTURAL SCIENCES

AUTONOMOUS AGRARIAN UNIVERSITY ANTONIO NARRO  
DR. JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES -ADVISOR-

Saltillo, Coahuila

March 2025

## ABSTRACT

*Ipomoea tricolor* is a climbing plant with heart-shaped leaves and funnel-shaped flowers that range in color from blue, purple, pink, and white, depending on its pH level. This medicinal plant, known as "Morning Glory," "Plate Breaker," or "Ear Cover," has been used for divination and as a purgative by indigenous Mexican cultures, primarily the Mixtecos from the mountains of Oaxaca. Currently, tricoline A and ergotamine, alkaloids with analgesic, allelopathic, fungicidal, bactericidal, and cytotoxic activity against colon, cervical, ovarian, and breast carcinomas, have been isolated, purified, and identified. The research was conducted at the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, where 60 plants were cultivated in 11 L polyethylene bags under a completely randomized block design. Analysis of variance and Tukey's mean comparison at 95% confidence were performed using Infostat 2020. The objective was to determine the effect of three organic acids on the growth and synthesis of secondary metabolites. Anthocyanin concentration and malondialdehyde were used as molecular markers of oxidative damage under water stress. The application of ascorbic acid resulted in the highest content of anthocyanins at 57.31 mg/100g, followed by salicylic acid with 49.14 mg/100g, while gibberellic acid showed a lower malondialdehyde content of 23.472 mg/kg and 25.38 mg/100g of anthocyanins. In conclusion, this acid affects stress reduction and simultaneously inhibits metabolite synthesis, indicating that ascorbic and salicylic acids are involved in a signaling pathway that synthesizes these active principles, while gibberellic acid deactivates it.

**Keywords:** Synthesis, Antioxidant, Bio-stimulation, Stress, Medicinal Plant.

## INTRODUCCIÓN

La *Ipomoea tricolor*, conocida comúnmente como Gloria de la mañana, Tapa oídos, Campanillas, Quiebra plató, tlilitzin o titliltzopelik en náhuatl, es una planta trepadora originaria del Neo trópico, que comprende desde México, América Central y Sudamérica, por su hábito de crecimiento y reciprocidad ha logrado una distribución cosmopolita, incluso en las zonas tropicales y áridas de otros continentes. Esta especie, perteneciente a la familia Convolvulaceae, destaca por sus llamativas hojas en forma de corazón y flores acampanadas con tonalidades lilas, rosas, blancas y azules, el color es dependiente del potencial de hidrogeno, si tiende a un color más rosa nos indican condiciones ácidas y si tienden a un azul nos indicará alcalinidad, y así mismo se modificará el tipo de antocianina. Aunque su belleza la hace popular como planta ornamental, su naturaleza invasiva representa un desafío para la agricultura, por otra parte en el Estado de Morelos la utilizan como cultivo de cobertura para controlar las malezas en la producción de caña de azúcar, además es muy apetecible para rumiantes, aves domésticas y venados (Saldaña *et al.*, 2022).

Más allá de su atractivo estético y su rápida propagación, *Ipomoea tricolor* tiene un valor significativo en la medicina tradicional, especialmente en las culturas indígenas de México, donde se utiliza las semillas u ololihqui como purgante y en rituales de conexión espiritual, adivinación y curación en las sierras mixtecas de Oaxaca (Fagetti, 2012). Además, las resinas glicosídicas de la planta, en particular la Tricolina A, han demostrado ser eficaces como agente antibacteriano contra *Staphylococcus aureus*, una bacteria patógena común en infecciones humanas, así como su capacidad como citotóxica contra varios tipos de cáncer, incluidos el carcinoma de mama, ovario, colon, cervical y ovárico. Por otro lado se ha reportado un alto contenido de antocianinas en las flores con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas y con beneficios cardiovasculares, son áreas de interés creciente (Osorio *et al.*, 2018).

Compuestos como el ácido salicílico, el ácido giberélico y el ácido ascórbico juegan un papel crucial en el desarrollo vegetal, la resistencia a enfermedades y condiciones adversas, así como en la síntesis de metabolitos. La aplicación de estos ácidos orgánicos abre nuevas posibilidades para mejorar la producción y calidad de los cultivos (Espinosa-Antón *et al.*, 2020). El objetivo de esta investigación fue evaluar el

comportamiento de *Ipomoea tricolor* en relación con los bioestimulantes con el fin de determinar el tratamiento más efectivo para potenciar el crecimiento y los fitoquímicos de interés, en este caso particular se utilizó como indicador el contenido de antocianinas y malondialdehído totales, por medio de un espectrofotómetro. Este estudio busca contribuir a la búsqueda de soluciones innovadoras para la producción de plantas medicinales en el futuro (Pérez, 2023) .

El experimento se llevó a cabo en el invernadero del Departamento de Forestal de la UAAAN. Se recolectaron semillas de *I. tricolor* y se produjeron plántulas, tras verificar una viabilidad de semilla del 95%. Se seleccionaron 60 plantas saludables para el trasplante en bolsas de polietileno de 20 litros, a las cuales se les incorporó 1 g de micorrizas. El medio de cultivo utilizado estaba compuesto por 25% de turba (peat moss), 25% de perlita, 25% de fibra de coco, 20% de tierra negra proveniente de suelos forestales y 5% de estiércol de caballo. Para la fertilización, se aplicaron soluciones al 50% y 100% de la solución Steiner. Los tratamientos de bioestimulantes consistieron en la aplicación foliar de ácido salicílico (200 mg/L), ácido ascórbico (346 mg/L) y ácido giberélico (100 mg/L), con agua destilada, resultando en un total de 4 tratamientos diferentes y 15 repeticiones por tratamiento.

Las variables agronómicas, fisiológicas y bioquímicas se evaluaron utilizando un diseño de bloques completos al azar. El análisis estadístico de los datos se realizó con el software InfoStat/L 2020, mediante análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias ( $DE \pm$ ) se efectuó utilizando la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ )

### **Justificación**

La *Ipomea tricolor* mejor conocida como gloria de la mañana, es una especie invasora considerada maleza y utilizada como especie ornamental en diferentes regiones del mundo, así como en la república mexicana, su rápido crecimiento representa una amenaza para los agricultores, si bien se puede usar como forraje también se puede realizar extracción de las resinas glicosídicas que contiene la planta en las hojas y raíces, se pueden utilizar como insecticidas, bactericidas, citotóxina, fungicidas y herbicidas, además, las flores se pueden extraer antocianinas benéficas para la salud como la cianidina o delfinidina dependiendo del pH, proporcionando un recurso versátil y materia prima para el desarrollo de productos orgánicos con el fin de mejorar la eficiencia y la sustentabilidad del campo mexicano (Yoshida *et al.*, 2009).

El objetivo de esta investigación es registrar el comportamiento y determinar si existen diferencias significativas sobre el crecimiento y contenido de malondialdehído y antocianinas en *Ipomea tricolor* con la aplicación de bioestimulantes por medio de aspersión foliar, como el ácido ascórbico, giberélico y salicílico.

### **Objetivo general**

Evaluar el crecimiento y determinar el incremento de metabolitos secundarios en *Ipomea tricolor* sometido a estrés hídrico.

### **Específicos**

- Evaluar los efectos de la aplicación foliar de ácidos orgánicos sobre el crecimiento y fisiología vegetal.
- Determinar el biostimulante más efectivo para disipar el estrés hídrico.
- Cuantificar el contenido de malondialdehído y antocianinas.

### **Hipótesis**

Ho. Si existe diferencia significativa sobre el crecimiento y contenido de metabolitos secundarios con la aplicación exógena de al menos un bioestimulante en *I. tricolor* bajo estrés hídrico.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Descripción Botánica y Características Morfológicas de *Ipomoea tricolor***

La *Ipomoea tricolor* es una especie considerada una maleza por su comportamiento invasivo y rápida adaptación, comúnmente conocida como "Gloria de la mañana" o "tlitliltzin" en náhuatl, es una planta perteneciente a la familia Convolvulaceae. Esta especie originaria de América del Sur y América Central con una distribución cosmopolita, ha capturado la atención de investigadores y entusiastas de la jardinería por su asombrosa belleza, su rica historia cultura y propiedades medicinales (Villegas, 2018).

Es una planta herbácea perenne que exhibe una serie de características morfológicas distintivas. Sus hojas, en forma de corazón, son de un verde vibrante y se disponen de manera alterna a lo largo de sus tallos. Estos tallos, flexibles y trepadores, le permiten a la planta enredarse en estructuras cercanas, contribuyendo a su atractivo ornamental (Villegas, 2018).

Lo que realmente distingue a esta especie son sus flores. Las flores de *Ipomoea tricolor* son grandes y en forma de trompetas, con un diámetro que puede alcanzar hasta 7 centímetros. La paleta de colores es amplia, con tonos que van desde el azul profundo hasta el púrpura intenso, y a menudo presentan un centro blanco o amarillo que agrega un contraste llamativo. Estas flores, que se abren por la mañana y se cierran al atardecer, han llevado a la planta a ganarse el apodo de "Gloria de la mañana" (Mircea *et al.*, 2023).

Esta planta muestra una notable versatilidad en cuanto a su hábitat, adaptándose tanto a zonas montañosas como a llanuras costeras. Prefiere suelos bien drenados y soleados, lo que explica su frecuente aparición en bordes de caminos, campos y jardines (Guillot, 2006).

Cabe destacar que, además de su belleza ornamental, *Ipomoea tricolor* ha sido valorada en diversas culturas indígenas por sus propiedades medicinales y rituales. Las semillas de la planta, en particular, han sido históricamente utilizadas en ceremonias ceremoniales y como parte de prácticas espirituales (Fagetti, 2012).



### **Usos Tradicionales y Potenciales de *Ipomoea tricolor***

Más allá de su encanto estético, ha sido apreciada a lo largo de la historia por su diversidad de usos, tanto en prácticas tradicionales como en potenciales aplicaciones contemporáneas. La riqueza de sus metabolitos secundarios ha desempeñado un papel crucial en su valoración y en el interés sostenido en esta planta (Fagetti, 2012).

Desde tiempos antiguos, diversas culturas indígenas han aprovechado los atributos de *I. tricolor* con fines ceremoniales y medicinales. Las semillas de la planta, ricas en alcaloides y otros compuestos, han sido empleadas en rituales espirituales, a menudo asociadas con visiones y experiencias oníricas. Estas prácticas ceremoniales se han transmitido a lo largo de generaciones, contribuyendo a la riqueza cultural de las comunidades que han compartido un vínculo con esta planta (Niche & Fagetti, 2019). Además, en la medicina tradicional, se han atribuido propiedades terapéuticas a distintas partes de la planta. Infusiones y extractos de *I. tricolor* han sido utilizados para tratar dolencias como nerviosismo, dolores musculares y problemas gastrointestinales (García, 2022).

En la actualidad, la investigación ha arrojado luz sobre el potencial agrícola de *I. tricolor*. Más allá de sus usos tradicionales, se está explorando la viabilidad de utilizar esta planta en la agricultura, aprovechando sus propiedades únicas. La presencia de metabolitos secundarios, especialmente las resinas glicósidicas, ha despertado el interés en la mejora de cultivos y la producción de compuestos. Bioensayos realizados con estas resinas han demostrado potencial como insecticidas, herbicidas y fungicidas (Osorio *et al.*, 2018).

### **Metabolitos secundarios**

*Ipomoea tricolor* es conocida por su riqueza en metabolitos secundarios, entre los cuales destacan las antocianinas, principalmente la cianidina, que son responsables de los colores vibrantes de sus flores. También contiene flavonoides como la quercetina y la kaempferol, conocidos por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Además, se han identificado alcaloides en las semillas de esta especie, aunque en menor cantidad poseen efectos psicoactivos. Otros metabolitos incluyen terpenoides, que poseen propiedades antimicrobianas, y saponinas, que pueden contribuir a la salud cardiovascular (Szewczuk *et al.*, 2022).

Por otro lado, *Ipomoea batata*, o batata, también presenta un perfil notable de metabolitos secundarios. Esta planta es rica en carotenoides, como el betacaroteno, que es un precursor de la vitamina A, y en antocianinas, especialmente en las variedades de pulpa morada. Además, contiene glucósidos que pueden ofrecer beneficios para la salud, así como un alto contenido de fibra, lo que la convierte en un alimento nutritivo. Ambos géneros, aunque distintos, comparten la importancia de sus metabolitos en la nutrición y la medicina tradicional (Arguedas-Gamboa *et al.*, 2015).

### **Antocianinas**

Las antocianinas, especialmente la cianidina, presentan diversas funciones médicas y beneficios para la salud. Estas moléculas son potentes antioxidantes, lo que significa que ayudan a neutralizar los radicales libres en el cuerpo, reduciendo el riesgo de enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares y cáncer (Monslavo *et al.*, 2018). Además, las cianidinas han mostrado propiedades antiinflamatorias y pueden mejorar la salud ocular al proteger las células retinianas. También se ha demostrado que favorecen la salud cognitiva al mejorar la circulación sanguínea en el cerebro y potenciar la memoria. Su capacidad para regular los niveles de glucosa en sangre las hace prometedoras en la prevención de la diabetes tipo 2, lo que resalta su potencial terapéutico en la medicina preventiva (Reyna *et al.*, 2022)..

### **Bioestimulación**

La bioestimulación vegetal se refiere al uso de agentes, como hormonas, microorganismos y compuestos naturales, para inducir respuestas fisiológicas en las plantas que mejoren su crecimiento, desarrollo y resistencia a estrés ambiental. Estos agentes actúan a nivel celular y molecular, promoviendo procesos como la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y la síntesis de metabolitos secundarios. En el contexto de la bioestimulación, se busca no solo aumentar el rendimiento de las plantas, sino también mejorar la calidad de sus compuestos fitoquímicos, que son esenciales para la salud humana y animal (Mazaro *et al.*, 2015).

Cuando las plantas son sometidas a estrés hídrico, su respuesta puede incluir la producción de fitoquímicos, que actúan como mecanismos de defensa. La bioestimulación puede potenciar esta respuesta al activar vías metabólicas que favorecen la síntesis de compuestos beneficiosos, como flavonoides, antocianinas y otros antioxidantes. Por ejemplo, el uso de microorganismos benéficos o compuestos

naturales puede aumentar la producción de estos fitoquímicos en condiciones de sequía, mejorando así no solo la resiliencia de la planta, sino también el valor nutricional y medicinal de los cultivos. Esto tiene implicaciones significativas para la agricultura sostenible y la producción de alimentos funcionales (Hernández-Figueroa *et al.*, 2022).

### **Acido Ascorbico**

El ácido ascórbico actúa como un antioxidante en las células de *Ipomoea tricolor*, protegiendo las estructuras celulares del daño oxidativo causado por radicales libres. Esto es especialmente importante en condiciones de estrés, ya que el ácido ascórbico puede ayudar a mitigar los efectos adversos del estrés ambiental, como la sequía o la exposición a la luz intensa. Además, el ácido ascórbico puede regular la actividad de ciertas enzimas y mejorar la síntesis de metabolitos secundarios, como antocianinas y flavonoides, al activar rutas biosintéticas (Arango *et al.*, 2013).

Desde un punto de vista físico, la presencia de ácido ascórbico puede afectar la permeabilidad de las membranas y estructura de las paredes celulares. Esto puede facilitar la absorción de agua y nutrientes, promoviendo un crecimiento más robusto. Además, el ácido ascórbico puede influir en la actividad de la clorofila, mejorando la fotosíntesis y, por ende, la producción de energía y compuestos esenciales para el desarrollo de la planta (Kuskoski *et al.*, 2004).

A nivel químico, el ácido ascórbico puede interactuar con compuestos presentes en *Ipomoea tricolor*, facilitando reacciones redox (oxidación-reducción) que mejoran la estabilidad y disponibilidad de otros antioxidantes en la planta. La presencia de ácido ascórbico también puede influir en la solubilidad y la estabilidad de los pigmentos (como las antocianinas), potenciando su color y propiedades beneficiosas. Estas interacciones pueden resultar en un aumento en la acumulación de compuestos bioactivos, mejorando el valor nutricional de la planta (Herrera-Martínez *et al.*, 2013). La presencia de ácido ascórbico puede afectar la permeabilidad de las membranas celulares y la estructura de las paredes celulares. Esto puede facilitar la absorción de agua y nutrientes, promoviendo un crecimiento más robusto. Además, el ácido ascórbico puede influir en la actividad de la clorofila, mejorando la fotosíntesis y, por ende, la producción de energía y compuestos esenciales para el desarrollo (Puertas Mejía *et al.*, 2014).

### **Ácido Giberélico**

La interacción del ácido giberélico (GA3) con *Ipomoea tricolor* provoca una serie de cambios físicos, fisiológicos y químicos que impactan significativamente el crecimiento y desarrollo de la planta. Físicamente, el ácido giberélico promueve la elongación de las células, lo que resulta en un aumento en la altura de la planta y un crecimiento más robusto. Esta elongación celular se traduce en tallos más largos y hojas más extensas, lo que permite a la planta captar más luz y realizar una fotosíntesis más eficiente, mejorando así su rendimiento general (Garza-Alonso *et al.*, 2022)..

Desde un punto de vista fisiológico, el GA3 actúa sobre varios procesos metabólicos, incluyendo la regulación del crecimiento y la germinación de las semillas. Estimula la producción de enzimas que degradan los almidones en azúcares, facilitando la disponibilidad de energía para el crecimiento. Además, el ácido giberélico puede favorecer la síntesis de otras hormonas vegetales, como auxinas y citoquininas, que trabajan en conjunto para coordinar el crecimiento y el desarrollo de la planta. Esta interacción hormonal es crucial para la formación de nuevas estructuras, como hojas y flores (Garza-Alonso *et al.*, 2022).

Químicamente, el GA3 induce cambios en la expresión de genes relacionados con el crecimiento y desarrollo. Esta interacción se traduce en un aumento en la producción de proteínas y enzimas que son esenciales para procesos como la división celular y la síntesis de compuestos bioactivos. Además, el ácido giberélico puede afectar la biosíntesis de metabolitos secundarios, lo que podría resultar en un aumento de compuestos como antocianinas y flavonoides en *I. tricolor*, mejorando así sus propiedades nutricionales y medicinales (Fernández, 2023).

La acción del GA3 sobre *I. tricolor* resalta su papel clave en la adaptación de la planta a condiciones ambientales cambiantes. Al fomentar el crecimiento y mejorar la eficiencia en el uso de recursos, el ácido giberélico contribuye a la resiliencia de la planta frente a factores de estrés. Esta capacidad de adaptación no solo es vital para la planta en su entorno natural, sino que también tiene implicaciones importantes para la agricultura, donde el uso de reguladores del crecimiento como el GA3 puede optimizar el rendimiento y la calidad de los cultivos (Youssef *et al.*, 2022).

### **Ácido Salicílico**

El ácido salicílico puede aumentar la rigidez de las paredes celulares al promover la síntesis de compuestos como la lignina, lo que resulta en una mayor resistencia

estructural. Esto no solo ayuda a la planta a soportar condiciones adversas, como el viento y la sequía, sino que también favorece el desarrollo de una arquitectura más robusta, mejorando su capacidad de captación de luz y recursos (Hafez *et al.*, 2020). Este ácido orgánico juega un papel crucial en la respuesta de las plantas al estrés. Actúa como una señal de defensa que activa la producción de fitoquímicos y proteínas de choque térmico, ayudando a las plantas a resistir condiciones adversas como patógenos y estrés hídrico. En ipomeas esta hormona puede estimular la biosíntesis de metabolitos secundarios, como flavonoides y antocianinas, que no solo mejoran la defensa de la planta, sino que también tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, elevando su valor medicina (Shalaby *et al.*, 2023)l.

Donde puede influir en la expresión de genes que están involucrados en la defensa y el crecimiento. Esta interacción activa vías metabólicas que aumentan la producción de antioxidantes y compuestos bioactivos, mejorando así el perfil fitoquímico de *I. tricolor*. Estos metabolitos tienen un potencial significativo en la medicina, ya que pueden contribuir a la prevención de enfermedades, gracias a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y pueden ser utilizados en la formulación de suplementos y remedios naturales (Medrano-Macías *et al.*, 2022).

### **Déficit de presión de vapor (DPV)**

El déficit de presión de vapor (DPV) es la diferencia entre la presión de vapor de la saturación del aire y la presión de vapor actual. Este parámetro es crucial para entender la transpiración de las plantas, ya que un DPV elevado indica un ambiente seco que puede aumentar la pérdida de agua a través de los estomas. En el caso de *I. tricolor*, un DPV alto puede generar estrés hídrico, afectando su crecimiento y desarrollo. Las plantas reaccionan a estas condiciones a través de mecanismos fisiológicos y bioquímicos que les permiten adaptarse y sobrevivir (Félix-Leyva *et al.*, 2024).

Cuando se aplica ácido salicílico en condiciones de alto DPV, este compuesto actúa como un mediador de la respuesta al estrés (Marcelino *et al.*, 2024). El ácido salicílico puede inducir la acumulación de metabolitos secundarios que ayudan a la planta a resistir condiciones adversas, mejorando su capacidad antioxidante y su defensa contra patógenos. Esto es particularmente relevante para *Ipomoea*, ya que los metabolitos activados pueden aumentar la resiliencia de la planta frente al déficit de agua, reduciendo la transpiración y optimizando el uso del agua disponible (Aires, 2022).

Por su parte, el ácido giberélico (GA3) tiene un efecto positivo en el crecimiento bajo condiciones de DPV elevado. Este regulador de crecimiento estimula la elongación celular y la producción de nuevas hojas, lo que puede ayudar a la planta a captar más luz y realizar una fotosíntesis más eficiente. En situaciones de estrés, el GA3 también puede mejorar la absorción de agua y nutrientes, contribuyendo a la salud general de *Ipomoea* y mitigando los efectos negativos del déficit de presión de vapor (Youssef *et al.*, 2022).

El ácido ascórbico, conocido por sus propiedades antioxidantes, también juega un papel esencial en este contexto. Al interactuar con *I. tricolor* bajo condiciones de alto DPV, el ácido ascórbico ayuda a proteger las células del daño oxidativo, mejorando la resistencia a estrés. En conjunto, el uso de ácido salicílico, giberélico y ácido ascórbico puede formar un enfoque de manejo integrado que optimiza el crecimiento y desarrollo de *Ipomoea*, potenciando su capacidad para enfrentar condiciones de déficit hídrico y mejorando su valor agronómico y medicinal (Gaafar *et al.*, 2020)

### **Contenido Relativo de Agua (RWC %)**

El contenido relativo de agua en las plantas es un indicador crucial de su estado hídrico y salud general. Este parámetro se refiere a la cantidad de agua presente en las células vegetales en comparación con su capacidad máxima de retención. Un contenido adecuado de agua es esencial para el funcionamiento óptimo de procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la transpiración y el transporte de nutrientes. Cuando el contenido de agua es bajo, las plantas pueden experimentar estrés hídrico, lo que afecta negativamente su crecimiento y desarrollo (Sapes & Sala, 2021).

El ácido ascórbico actúa como un antioxidante que protege las células del daño oxidativo, especialmente en condiciones de estrés hídrico. Al mejorar la integridad celular y promover la absorción de agua, el ácido ascórbico ayuda a mantener un contenido relativo de agua adecuado, lo que es fundamental para la salud y el crecimiento de la planta. Además, su capacidad para regular procesos metabólicos puede favorecer la producción de compuestos que retienen agua, optimizando así la hidratación (Bilska *et al.*, 2019).

Por otro lado, el ácido salicílico también juega un papel importante en la regulación del contenido de agua. Al actuar como un mediador en la respuesta al estrés, el ácido salicílico puede inducir mecanismos de defensa que disminuyen la transpiración, ayudando a conservar el agua en situaciones de déficit hídrico. Esto permite que las

plantas mantengan su contenido de agua relativo, incluso en condiciones desfavorables. Además, el ácido salicílico puede estimular la producción de metabolitos secundarios que también contribuyen a la regulación hídrica (Aires *et al.*, 2022).

El ácido giberélico (GA3), por su parte, promueve el crecimiento celular y la elongación, lo que puede afectar la capacidad de las plantas para captar y utilizar agua. En condiciones adecuadas, el GA3 estimula el desarrollo de nuevas hojas y raíces, lo que mejora la absorción de agua y nutrientes. Sin embargo, en situaciones de estrés hídrico, su efecto puede ser moderado, y su uso debe ser cuidadosamente controlado. En conjunto, la interacción de estos tres compuestos (ácido ascórbico, salicílico y giberélico) con el contenido relativo de agua en *Ipomoea* permite una mejor adaptación y resiliencia ante condiciones ambientales cambiantes, optimizando tanto su crecimiento como su valor agronómico (Moumita *et al.*, 2019).

### **Potencial Hídrico Xilemático**

El potencial hídrico xilemático es una medida de la capacidad de las plantas para retener y mover agua a través de sus tejidos, especialmente en el xilema. Este potencial se ve influenciado por factores como la disponibilidad de agua en el suelo, la transpiración y la turgencia celular (Munzón *et al.*, 2017). Un potencial hídrico xilemático adecuado es crucial para el transporte eficiente de nutrientes y para mantener la estructura celular, lo que se traduce en un crecimiento saludable. Cuando las condiciones son desfavorables, como en situaciones de sequía, el potencial hídrico puede disminuir, afectando negativamente el funcionamiento fisiológico de la planta (Ferreira *et al.*, 2007).

La aplicación de ácido giberélico (GA3) por aspersión foliar puede tener efectos positivos en el potencial hídrico xilemático de *Ipomoea tricolor*. El GA3 promueve la elongación celular y el crecimiento de nuevas hojas y raíces, lo que puede mejorar la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes del suelo (Garzón Correa, 2012). Al incrementar la superficie foliar, el GA3 también potencia la fotosíntesis, lo que puede ayudar a aumentar la turgencia y el potencial hídrico general. Esta aplicación foliar es especialmente útil en condiciones de estrés hídrico, ya que permite que el GA3 actúe rápidamente en los tejidos de la planta (Elices Ayuso, 2023).

El ácido salicílico, cuando se aplica por aspersión, también juega un papel crucial en la regulación del potencial hídrico. Este compuesto actúa como una señal de defensa

que puede inducir mecanismos que reducen la transpiración y, por lo tanto, conservan agua en la planta (Montes *et al.*, 2022). Al activar la producción de metabolitos que mejoran la resistencia al estrés, el ácido salicílico ayuda a mantener un potencial hídrico xilemático adecuado, lo que permite que *I. tricolor* se adapte mejor a condiciones de sequía y mantenga su crecimiento (Espasandin, 2012).

El ácido ascórbico, por su parte, contribuye a la salud celular y la protección contra el daño oxidativo. Su aplicación foliar puede mejorar la integridad celular y la eficiencia en la utilización del agua, lo que a su vez favorece un potencial hídrico xilemático óptimo (Hernández *et al.*, 2016)

### **Marcador de estrés celular con Malondialdeído (MDA)**

La lipoperoxidación lipídica es un proceso bioquímico que implica la oxidación de los lípidos (grasas) en las membranas celulares debido a la acción de los radicales libres. Los lípidos son componentes esenciales de las membranas celulares y desempeñan un papel crucial en la estructura y función de las células (Apel y Hird, 2014).

La membrana celular de las plantas, al igual que la de otros organismos, contiene lípidos que son sensibles a la oxidación. Los ácidos grasos insaturados presentes en los lípidos de las membranas son particularmente susceptibles a la lipoperoxidación. Cuando se produce la peroxidación lipídica en las membranas celulares de las plantas, puede afectar la fluidez y la permeabilidad de las membranas, lo que a su vez puede comprometer la integridad celular (Qui-Zapata *et al.*, 2010).

La lipoperoxidación en plantas puede ocurrir como respuesta a diversos estreses ambientales, como sequías, altas temperaturas, salinidad, presión osmótica y la presencia de patógenos. Además, durante el proceso de fotosíntesis, las plantas generan ROS como subproductos, lo que puede aumentar el riesgo de lipoperoxidación (Gill y Tuteja, 2010).

El malondialdeído (MDA) se emplea con frecuencia como un indicador del daño oxidativo en los lípidos, y su nivel fluctúa según el tipo de estrés al que estén expuestas las células. Ha sido medido mediante distintos métodos, destacando entre ellos el ensayo de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (SRATB), el más comúnmente utilizado (Qui-Zapata *et al.*, 2010).

La comprensión de la lipoperoxidación en plantas es crucial para el desarrollo de estrategias agrícolas que mejoren la resistencia de las plantas a condiciones adversas y minimicen el daño oxidativo. Los investigadores buscan identificar genes y



mecanismos que puedan ser manipulados para mejorar la tolerancia de las plantas al estrés oxidativo, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola (Contreras *et al.*, 2006).

En la búsqueda de soluciones sostenibles para enfrentar los desafíos agrícolas, la ciencia ha dirigido su mirada hacia los bioestimulantes exógenos. Compuestos como el ácido salicílico, ácido giberélico y ácido ascórbico han demostrado tener un impacto significativo en el desarrollo vegetal y en la resistencia a enfermedades o condiciones desfavorables (Puma, 2010). La aplicación de estos bioestimulantes ofrece un horizonte de posibilidades para mejorar la producción y calidad de los cultivos (Amaya, 2018).

### **Uso potencial de *I. tricolor* como materia prima, bioestimulante y medicamento.**

Principalmente es un recurso natural muy abundante, las hojas anchas y verdes son muy apetecibles por la fauna silvestre y animales domésticos (Venados, Aves de Corral, Bovinos, Caprinos, Equinos, Ovinos, etc.), en el caso de los rumiantes puede beneficiar a una mayor digestibilidad debido a los ácidos grasos que pueden beneficiar el proceso de digestión de los carbohidratos estructurales que contienen los pastos, estudios relacionados a la composición dietética del ganado bovino lechero en pastoreo, identificaron al género *Ipomea* como principal protagonista como fuente de forraje (Osorio González, 2018).

Al ser parental de la *Ipomea batata* mejor conocido como Camote en México y Batata en Sudamérica. Es una planta de alto valor nutricional, tanto en sus raíces como en sus hojas. Las hojas de camote son particularmente ricas en nutrientes y se consideran un alimento saludable y sostenible, utilizado en diversas culturas como verdura. Contienen un alto contenido de proteínas (entre 20-30% del peso seco), lo que las hace una buena fuente para dietas basadas en vegetales. También aportan una cantidad significativa de fibra dietética, que mejora la digestión y contribuye a la saciedad (Molina López, 2019).

En cuanto a los minerales, son ricas en calcio, magnesio, potasio y hierro, esenciales para la salud ósea, muscular y la producción de energía. Además, las hojas son una excelente fuente de vitaminas como la vitamina A (en forma de betacarotenos), que contribuye a la salud visual e inmunológica, y vitamina C, que actúa como antioxidante y refuerza el sistema inmunológico (Idrogo *et al.*, 2018). Asimismo, contienen compuestos bioactivos, como flavonoides y polifenoles, que poseen propiedades

antioxidantes, antiinflamatorias y potenciales efectos protectores contra enfermedades crónicas. Por su perfil nutricional completo y su facilidad de cultivo, las hojas de *I. batata* son una excelente opción alimentaria tanto para consumo humano como para alimentación animal (Meléndez *et al.*, 2018).

En el caso de *I. tricolor* e *I. purpurea* presentan un contenido de proteína cruda cercano al 10-15% del peso seco, además de fibra dietética que contribuye al tránsito intestinal. También pueden ofrecer minerales como calcio, magnesio, y potasio, importantes para funciones metabólicas y estructurales (Cholich *et al.*, 2021). En cuanto a vitaminas, es posible que aporten vitamina A en forma de carotenoides y vitamina C, ambas con funciones antioxidante (Meira *et al.*, 2012).

Por otro lado en el Estado de Morelos, utilizan al género *Ipomea* para el control de malezas en el cultivo de la caña de azúcar, la compatibilidad que tienen estas dos especies les permite esta asociación de cultivo ofreciéndole cobertura de suelo (Cortez Egremy, 2012), sin embargo en el caso de otros cultivos hortícolas, básicos (Maíz, Frijol, Arroz, Trigo, Sorgo, Soja, Centeno, Cebada, etc..) y frutales, el no evaluar el impacto ecológico en los sistemas agrícolas extensivos, puede convertirse en una maleza invasiva, especialmente en climas cálidos y húmedos (López *et al.*, 2020), una *Ipomoea* de más de tres años por sus cualidades perennes puede convivir con un frutal, no obstante la *Ipomea* envuelve en dirección a las manecillas del reloj, hasta cubrirla completamente mientras aumenta el grosor del tallo, desencadenando a lo largo del tiempo la estrangulación y muerte del mismo, el diseño y el conocimiento de los recursos naturales nos permiten desarrollar sistemas de producción agroalimentarios sostenibles y eficientes (Patzán Boch, 2015).

El uso potencial de los componente activos residen en las resinas glicosídicas está conformado por glicolípidos complejos con características medianamente polares, los cuales pueden desencadenar una cascada de señalización importante, como es el caso del potencial alelopático que produce la inhibición del crecimiento y germinación de especies arvenses en cultivos hortícolas (Blasco *et al.*, 2023), por otro lado, tanto en el ámbito de la agricultura como en la medicina. Estos compuestos bioactivos, que incluyen flavonoides y alcaloides, tienen potencial para ser utilizados como bioestimulantes en cultivos (Sariñana *et al.*, 2021). Su capacidad para mejorar el crecimiento y la resistencia de las plantas ante condiciones adversas puede llevar a su adopción en prácticas agrícolas sostenibles. Al ser extraídos y aplicados adecuadamente, estos metabolitos pueden aumentar la productividad y la calidad de

los cultivos, beneficiando tanto a los agricultores como al medio ambiente (Sanvicente, 2021).

Además, los principios activos de *I. tricolor* podrían jugar un papel importante en la biomedicina. Investigaciones han demostrado que algunos de estos compuestos poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Osorio *et al.*, 2018). Esto abre la puerta a su desarrollo como medicamentos o suplementos dietéticos, ofreciendo alternativas naturales a tratamientos convencionales. La continua investigación en farmacognosia podría facilitar la identificación de nuevos usos terapéuticos, contribuyendo a la salud pública y diversificando el arsenal de opciones en el ámbito farmacéutico (Saldaña *et al.*, 2022).

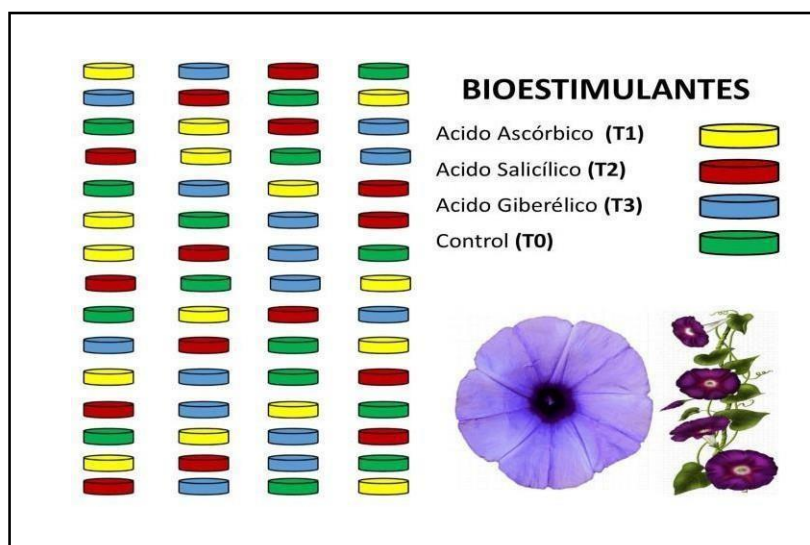
La valorización de *I. tricolor* como materia prima en la industria podría fomentar la creación de productos innovadores. Desde cosméticos que aprovechen sus propiedades antioxidantes hasta alimentos funcionales que incluyan extractos de esta planta (Acuña, 2019), las posibilidades son amplias. La demanda creciente por ingredientes naturales y sostenibles puede estimular la producción y comercialización de estos metabolitos, contribuyendo a la economía local y promoviendo un desarrollo más sostenible en diversas industrias (Espinosa *et al.*, 2020).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El experimento se realizó en un invernadero del Departamento de Forestal en la UAAAN, se recolectaron las semillas y se produjeron las plántulas de *Ipomea tricolor*, donde se realizó una prueba de viabilidad de la semilla donde presento un 95% de viabilidad. Se seleccionaron 60 plantas para el trasplante en bolsas de polietileno de 20 L y se le incorporo 1 g de micorrizas. El medio de cultivo estuvo constituido por 25% peat moss, 25 % perlita, 25% fibra de coco, 20% tierra negra de suelos forestales y 5% de estiércol de caballo. La fertilización que se aplico fue al 50 y 100% de solución Steiner.

Se aplicó por aspersión foliar ácido salicílico, ascórbico y giberélico, dando un total de 4 tratamientos y 15 repeticiones, mientras se sometió a todos los organismos a estrés por sequía durante 7 días. Se evaluaron variables agronómicas, fisiológicas y bioquímicas bajo un diseño de bloques completos al azar, el análisis estadístico se ejecutó con el programa InfoStat/L 2020, con el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).



**Figura 1.** Arreglo experimental (Bloques Completos al Azar).

### Variables a evaluar

Se planteó el estudio con el objetivo de evaluar las características y comportamiento de crecimiento del genero *Ipomea* bajo estrés hídrico, así como la reacción de los posibles componentes que pueden verse modificados por efecto de los ácidos

orgánicos, generando una cascada de señalización que active una respuesta física, fisiológica y bioquímica (Benavides-Mendoza *et al.*, 2023).

### **Variables Agronómicas**

Las variables agronómicas nos permiten comprender una respuesta física, como es el caso del rendimiento, la biomasa se determinó en peso fresco y seco total, se midió el grosor de tallo, área foliar, altura, el número de capsulas, semillas, botones florales y flores (Ruíz González *et al.*, 2022).

### **Variables Fisiológicas**

Para evaluar las respuestas fisiológicas de *I. tricolor* bajo estrés hídrico y en contacto con diferentes ácidos orgánicos, se determinó el déficit de presión de vapor (DPV), una variable clave que mide la capacidad de la atmósfera para absorber agua de las hojas. Se utilizó una pistola infrarroja industrial para registrar la temperatura en grados Celsius, la humedad de las hojas y del ambiente. Estos valores se emplearon para calcular la presión de vapor (en kPa) mediante la siguiente fórmula, basada en la ecuación de saturación de vapor. Donde los valores obtenidos se tabularon en unidades de kilopascales (kPa), permitiendo determinar el DPV como la diferencia entre el VP de saturación y el VP real (Jiménez, 2021).

:

$$DPV = ((100 - HR)/100) \times PVS$$

HR= Humedad Relativa

PVS= Presión de vapor saturado

El contenido relativo de agua (RWC%) se utilizó como un indicador de la estabilidad osmótica de las membranas. Para calcularlo, se recolectaron hojas frescas (Wf) y se sometieron a saturación en agua destilada durante 24 horas (Wt), posteriormente se secaron hasta peso constante (Wd). Este cálculo permite evaluar la capacidad de las hojas para retener agua en condiciones de estrés (León Ruiz *et al.*, 2022). El (RWC%) se estimó mediante la fórmula:

$$RWC \% = ((Wf - Wd) / (Wt - Wd)) \times 100$$

El potencial hídrico xilemático ( $\Psi_x$ ) se midió utilizando una bomba de presión tipo Scholander modelo Pump-up (PMS Instrument Company, Oregon, USA). Este método permite determinar la presión necesaria para extraer agua del xilema, expresada en bares. Las lecturas fueron tomadas en hojas predeterminadas durante el mediodía solar, lo que asegura condiciones estándar de estrés hídrico máximo. Los valores obtenidos proporcionan una aproximación precisa de la disponibilidad de agua en los tejidos foliares y su relación con el ambiente (Idro Montes, 2022).

### **Variables Bioquímicas**

El material vegetal empleado fueron hojas frescas de *Ipomoea tricolor*, al cual se le aplicó 3 tratamientos (ácido giberélico, ácido ascórbico, ácido salicílico) y un testigo (sin aplicar). Las aplicaciones fueron exógenas por aspersión directamente en las hojas (Rafiq *et al.*, 2021). Para la aplicación del ácido giberélico, se disolvió 0.1 gr en 1 L de agua destilada, el ácido ascórbico fueron 0.2 g/L y en el caso del ácido salicílico fue de 0.350 g/L. Se pesaron 100 mg de tejido vegetal previamente procesado con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino homogéneo. La muestra se colocó en tubos de centrifugación de 2 ml de capacidad. Se añadieron 2 ml de una solución compuesta por metanol-agua (80:20, v/v), utilizada para extraer los compuestos solubles. La mezcla se agitó vigorosamente utilizando un vórtex durante 15 segundos para dispersar la muestra en la solución extractora (Cartaya-Rubio *et al.*, 2024).

A continuación, los tubos se sometieron a un baño ultrasónico durante 10 minutos, promoviendo la liberación eficiente de lípidos y productos secundarios de oxidación lipídica como el MDA. Los tubos se centrifugaron a 10,000 revoluciones por minuto (rpm) durante 10 minutos a temperatura ambiente para separar las fases sólida y líquida. El sobrenadante fue recuperado cuidadosamente y filtrado mediante una jeringa equipada con un filtro de membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  para eliminar impurezas y partículas no solubles (Cartaya-Rubio *et al.*, 2024)..

Del extracto filtrado, se cuantificó el MDA de forma indirecta utilizando el ensayo TBARS (Thiobarbituric Acid Reactive Substances). Este método implica la reacción del MDA con ácido tiobarbitúrico (TBA) en medio ácido bajo condiciones de alta temperatura (95 °C) durante 30 minutos, formando un complejo coloreado que permite su detección. Las muestras fueron enfriadas en hielo para detener la reacción, y la absorbancia del complejo MDA-TBA se midió a una longitud de onda de 532 nm utilizando un espectrofotómetro (Cobo-Sevilla *et al.*, 2024).

Se preparó una curva estándar de MDA utilizando patrones conocidos, según las instrucciones del kit TBARS assay (Cayman Chemical, ítem 10009055), y se utilizó para calcular las concentraciones de MDA en las muestras. Los sobrenadantes y extractos restantes se almacenaron a -20 °C para futuros análisis o confirmaciones, asegurando la estabilidad de los compuestos extraídos. Este procedimiento se diseñó siguiendo el protocolo descrito por Hodges *et al.* (1999), optimizado para tejidos vegetales, y se basa en principios ampliamente utilizados para evaluar el estrés oxidativo en sistemas biológicos, el contenido de malondialdehído se expresó en mg/kg de muestra fresca (Cobo-Sevilla *et al.*, 2024)..

Para la determinación de antocianinas totales de manera indirecta se preparó una solución extractora compuesta de metanol acidificado con ácido clorhídrico (HCl) al 0.1% (v/v). La solución extractora se dejó reposar a temperatura ambiente durante 24 horas, garantizando su homogeneidad y estabilización química. A la mañana siguiente, se recolectaron flores frescas de *Ipomoea tricolor*, manteniendo uniformidad en el tamaño y madurez de las flores por tratamiento experimental. Se seleccionó tejido floral fresco para obtener 100 mg por kilogramo fresco de muestra para cada tratamiento (Sangoluisa-Tipan *et al.*, 2019).

Las flores frescas recolectadas se sumergieron completamente en la solución extractora previamente preparada. Se realizó el macerado del tejido floral para facilitar la liberación de las antocianinas de las vacuolas celulares. Este proceso se llevó a cabo manualmente o con la ayuda de un homogeneizador. La mezcla obtenida se filtró utilizando papel filtro, separando los residuos sólidos del extracto líquido (Ariza Flores *et al.*, 2017).

El extracto filtrado se aforó en un matraz volumétrico hasta un volumen definido, asegurando uniformidad en las muestras. El matraz volumétrico que contenía el extracto fue envuelto con papel aluminio para proteger las antocianinas de la luz, reduciendo el riesgo de degradación. El extracto se almacenó en refrigeración a 4 °C durante 24 horas para estabilizar los pigmentos extraídos y evitar oxidaciones (Lara-Cortés *et al.*, 2014).

Después del periodo de refrigeración, el extracto se analizó en un espectrofotómetro. La absorbancia se midió a 532 nm, correspondiente a la longitud de onda máxima para antocianinas. Se utilizó una curva estándar construida con cianidina-3-glucósido para expresar el contenido de antocianinas. La cantidad total de antocianinas se calculó de

manera indirecta y se expresó en miligramos por kilogramo de muestra fresca (Cuzcano Ruíz, 2013). La fórmula utilizada fue:

$$AT(mg/kg) = \left( \frac{Abs - V_{ext} - 1000}{\epsilon - L - m} \right)$$

Donde **Abs** representa la absorbancia medida a 532 nanómetros, **V<sub>ext</sub>** es el volumen total del extracto expresado en mililitros (mL), **ε** corresponde al coeficiente de extinción molar para la cianidina-3-glucósido, con un valor de 26,900 L/mol·cm, **L** indica la longitud de la celda del espectrofotómetro (1 cm), y **m** es el peso de la muestra fresca expresado en kilogramos (Romero Román *et al.*, 2019).



## RESULTADOS

**Tabla 1.** Efecto de ácidos orgánicos sobre el crecimiento y desarrollo en *I. tricolor* Cav. ( $\bar{x}$  =Media,  $\pm$  DE= Desviación estándar,  $\alpha$ = Letras de Significancia).

<b>Variable s</b>	<b>Ascórbico <math>\bar{x} (\pm \text{DE}) \alpha</math></b>	<b>Salicílico <math>\bar{x} (\pm \text{DE}) \alpha</math></b>	<b>Giberélico <math>\bar{x} (\pm \text{DE}) \alpha</math></b>	<b>Control <math>\bar{x} (\pm \text{DE}) \alpha</math></b>
<b>Humedad (%)</b>	33.40 (0.71) <b>C</b>	28.87 (0.71) <b>A</b>	31.33 (0.86) <b>B</b>	28.87 (0.33) <b>A</b>
<b>Botones Florales</b>	27.8 (11.77) <b>A</b>	35.8 (6.80) <b>A</b>	36.2 (5.15) <b>A</b>	32.4 (10.46) <b>A</b>
<b>Altura (cm)</b>	217.07 (64.39) <b>A</b>	242.07 (27.54) <b>A</b>	248.20 (27.54) <b>A</b>	236.60 (27.54) <b>A</b>
<b>Número de Flores</b>	5.13 (1.35) <b>A</b>	7.67 (1.35) <b>B</b>	5.93 (1.07) <b>AB</b>	6.47 (1.25) <b>AB</b>
<b>Semillas</b>	72.26 (41.24) <b>A</b>	106.13 (29.38) <b>B</b>	98.4 (23.08) <b>AB</b>	98.66 (30.41) <b>AB</b>
<b>Grosor de Tallo (mm)</b>	1.38 (0.21) <b>A</b>	1.44 (0.20) <b>A</b>	1.41 (0.15) <b>A</b>	1.43 (0.18) <b>A</b>
<b>Biomasa Fresca (g)</b>	85.6 (39.40) <b>A</b>	83.66 (20.20) <b>A</b>	90 (23.80) <b>A</b>	93 (28.56) <b>A</b>
<b>Biomasa Seca (g)</b>	14.50 (3.38) <b>A</b>	14.96 (3.74) <b>A</b>	16.22 (2.87) <b>A</b>	14.95 (2.90) <b>A</b>
<b>Área Foliar (Cm<sup>2</sup>)</b>	29.84 (14.20) <b>A</b>	31.86 (15.49) <b>A</b>	33.46(14.73) <b>A</b>	30.04 (15.01) <b>A</b>
<b>RWC (%)</b>	17.90 (5.06) <b>A</b>	14.29 (6.96) <b>A</b>	17.20 (6.26) <b>A</b>	11.73 (11.23) <b>A</b>
<b>Bares</b>	2.25 (2.51) <b>A</b>	2.08 (1.01) <b>A</b>	1.89 (1.15) <b>A</b>	-7 (0.57) <b>A</b>
<b>Capsulas</b>	18.07 (10.31) <b>A</b>	26.53 (7.34) <b>B</b>	24.60 (6.85) <b>AB</b>	24.67 (7.60) <b>AB</b>

### **Análisis del Crecimiento**

En relación con las variables de crecimiento y desarrollo como el número de botones florales, flores, altura, grosor del tallo, biomasa y área foliar no se presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; sin embargo, se observó una tendencia hacia un mayor crecimiento en las plantas tratadas con ácido giberélico, seguido del ácido salicílico.

El análisis de varianza ( $p = 0.0017$ ) y la prueba de comparación de medias de Tukey evidenciaron diferencias significativas en las características reproductivas de las plantas tratadas con ácidos orgánicos exógenos. El tratamiento con ácido salicílico (promedio de 26.5 cápsulas) se ubicó en el grupo B, mostrando un incremento significativo en el número de cápsulas y semillas en comparación con el ácido ascórbico (18.06, grupo A), mientras que el ácido giberélico (24.6) y el control (24.6) presentaron valores similares, ubicándose en el grupo AB.

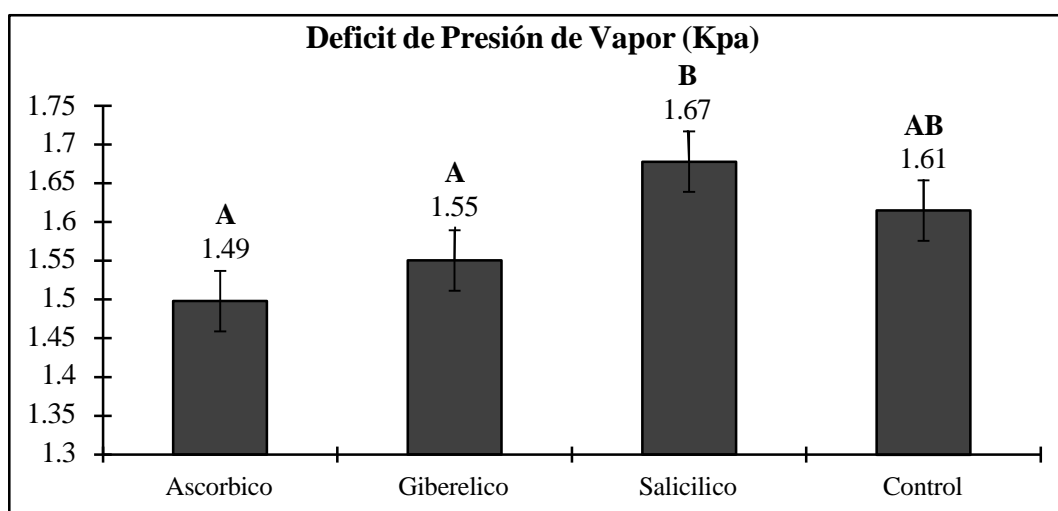
### **Análisis de Respuesta Fisiológica**

Se determinó el contenido relativo de agua (RWC). En este estudio, se observó que la aplicación de ácido ascórbico resultó en el mayor RWC (17.90%), seguido del ácido giberélico (17.20%), el ácido salicílico (14.29%) y, finalmente, el control (11.73%). Estos resultados destacan que el ácido ascórbico puede mejorar la retención de agua en las membranas celulares, lo que sugiere una mayor eficiencia en el uso y manejo del agua en condiciones adversas (León Ruiz *et al.*, 2022).

En contraste, el tratamiento con ácido ascórbico mostró una reducción significativa en la producción de semillas, lo que indica un posible efecto regulador negativo sobre la descendencia. Este resultado resalta la importancia de elegir el regulador adecuado según los objetivos agronómicos específicos, ya que el ácido ascórbico, a pesar de ser eficaz en la conservación del agua y la mejora de la eficiencia hídrica, podría no ser favorable para procesos reproductivos en *I. tricolor*. Este hallazgo es consistente con estudios previos que sugieren que el ácido ascórbico tiene un efecto regulador en la asignación de recursos dentro de la planta (Anastacio *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2021). La efectividad del ácido ascórbico se respalda con las lecturas del potencial hídrico xilemático, expresado en bares. Aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se detectó una tendencia hacia un menor transporte de agua y deshidratación en las plantas tratadas con ácido ascórbico (2.51

bars), seguido del ácido salicílico (2.08 bars), en comparación al ácido giberélico (1.89 bars) y al testigo (-7 bars). Este patrón sugiere que el ácido giberélico no solo contribuye a la retención de agua en las células, sino que también podría optimizar el transporte en la planta, favoreciendo el mantenimiento de procesos fisiológicos clave bajo estrés hídrico tomando en cuenta que en *Ipomea* se presentan valores de (5-10 bars) que nos indica estrés moderado (León, 2021).

El déficit de presión de vapor (DPV), una variable clave para evaluar la capacidad de las plantas de regular la pérdida de agua a través de la transpiración, mostró diferencias significativas entre los tratamientos con ácidos orgánicos aplicados exógenamente. El ácido ascórbico presentó el menor DPV (1.50 kPa), seguido del ácido giberélico (1.55 kPa), el control (1.61 kPa) y, finalmente, el ácido salicílico con el valor más alto (1.67 kPa). Considerando que valores de 0.5 kPa pueden estar asociados con problemas de plagas y enfermedades, mientras que valores de 2.0 kPa suelen indicar estrés hídrico, los tratamientos lograron mantenerse dentro de un rango que sugiere un equilibrio adecuado entre transpiración y disponibilidad hídrica (Jiménez, 2021).

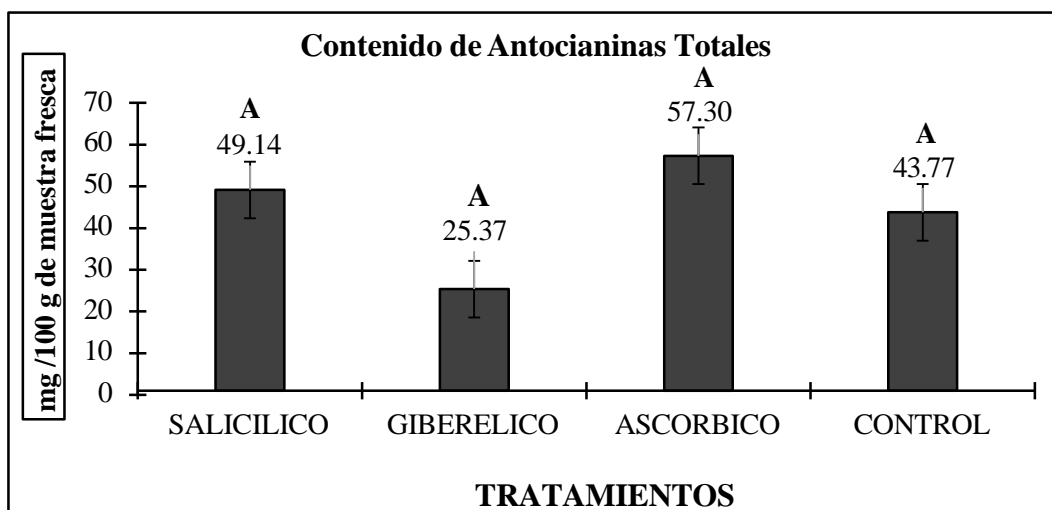


**Figura 2.** Respuesta de *I. tricolor* sobre el déficit de Presión de Vapor (Kpa) bajo estrés hídrico. Letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa de acuerdo con Tukey Test ( $p < 0.05$ ).

### Análisis del contenido de antocianinas totales

El contenido de antocianinas totales, expresado en mg/100 g de muestra fresca, mostró un incremento notable en los tratamientos con ácido ascórbico y ácido salicílico, aunque las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas. El ácido ascórbico presentó la mayor concentración media ( $57.30 \pm 2.14$ ), seguido por el

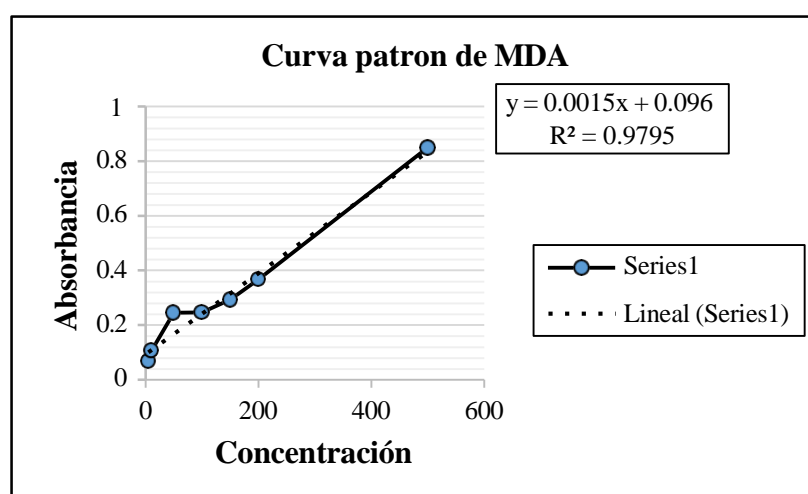
ácido salicílico ( $49.14 \pm 1.98$ ) y el grupo control ( $43.77 \pm 1.65$ ). En contraste, la aplicación de ácido giberélico redujo considerablemente el contenido de antocianinas a ( $25.37 \pm 1.23$ ), lo que representa aproximadamente la mitad del valor observado con ácido ascórbico.



**Figura 3.** Respuesta bioquímica sobre el contenido de antocianinas totales (mg/100 g de muestra fresca de flores) en *I. tricolor*. Letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa de acuerdo con Tukey Test ( $p < 0.05$ ).

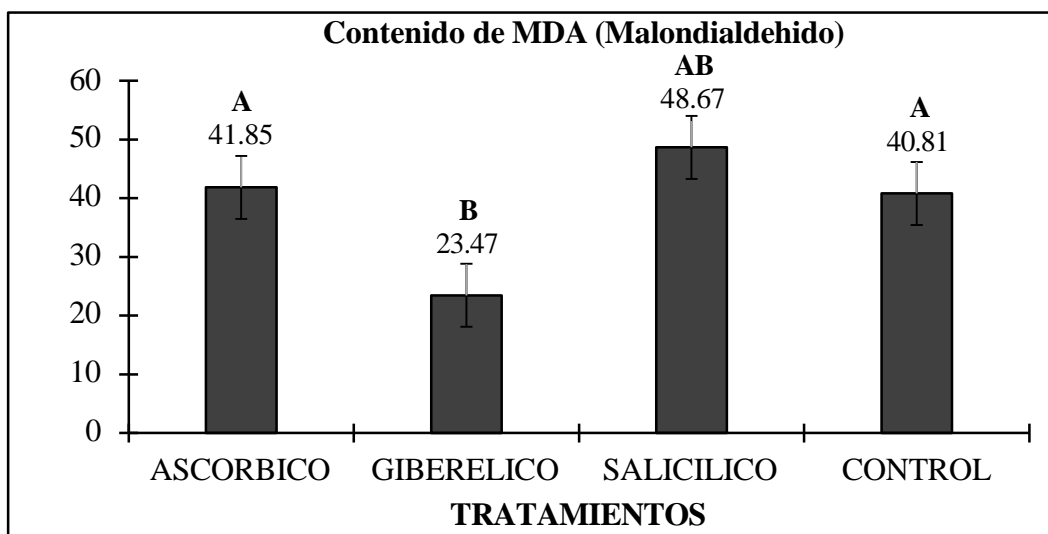
#### Análisis del contenido de Malondialdehído

En la **Figura 4** se presenta la relación entre la concentración de malondialdehído (MDA) y la absorbancia, mostrando una correlación positiva lineal con un coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.9795$ ).



**Figura 4.** Correlación positiva lineal con un coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.9795$ ).

El ácido salicílico registró el mayor contenido de MDA ( $48.67 \pm 2.31$ ), lo que sugiere un aumento en la actividad oxidativa bajo este tratamiento. El ácido ascórbico mostró un valor intermedio ( $41.85 \pm 1.98$ ), mientras que el ácido giberélico se asoció con el contenido más bajo de MDA ( $23.47 \pm 1.76$ ), indicando una capacidad potencial para mitigar el daño oxidativo en comparación con los otros tratamientos.



**Figura 5.** Contenido de MDA total (mg/kg de muestra fresca de hojas) en *I. tricolor* bajo estrés hídrico. Letras diferentes por columna indican diferencia estadística significativa de acuerdo con Tukey Test ( $p < 0.05$ )

## DISCUSIÓN

El tratamiento con ácido salicílico mostró un efecto positivo en los procesos reproductivos de *I. tricolor*, incrementando significativamente el número de cápsulas y semillas por planta. Este resultado sugiere que el ácido salicílico modula rutas fisiológicas asociadas con la reproducción, probablemente al activar señales hormonales que favorecen la formación de estructuras reproductivas. Se observó un patrón característico en el que cada flor abortada generó un nuevo botón floral que eventualmente se transformó en una cápsula. Las cápsulas inmaduras presentaban un color verde y, al madurar, adquirirían una tonalidad marrón, conteniendo en promedio cuatro semillas. Esto confirma el papel del ácido salicílico en optimizar la eficiencia reproductiva de la planta, un comportamiento que ha sido documentado en estudios previos sobre la regulación hormonal y la tolerancia al estrés en plantas (Verma *et al.*, 2021).

En contraste, el ácido ascórbico mostró un efecto inverso al reducir significativamente la formación de cápsulas y semillas. Este resultado podría deberse a una limitación en la asignación de recursos hacia procesos reproductivos o a la interferencia con rutas hormonales clave (Russo *et al.*, 2023). Además, esta reducción puede estar vinculada a las propiedades antioxidantes del ácido ascórbico, que priorizan la protección celular sobre la reproducción en condiciones de estrés moderado (Salzano *et al.*, 2021).

En cuanto al déficit de presión de vapor (DPV), se destacó la capacidad del ácido ascórbico para minimizar este parámetro, con el valor más bajo registrado (1.50 kPa). Esto sugiere que el ácido ascórbico promueve un control eficiente de la apertura y cierre estomático, reduciendo la pérdida de agua por transpiración y mejorando la eficiencia hídrica bajo condiciones de estrés. Por el contrario, el ácido salicílico presentó el mayor DPV (1.67 kPa), lo cual podría estar relacionado con una mayor transpiración y un aumento en la absorción de dióxido de carbono. Este fenómeno sugiere una mejora en la capacidad fotosintética, como también ha sido reportado en estudios relacionados con el efecto del ácido salicílico en el intercambio gaseoso y la actividad fotosintética (Xu *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2020).

El análisis del contenido de antocianinas totales mostró una tendencia numérica, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. El ácido ascórbico y el ácido salicílico estimularon la acumulación de antocianinas, alcanzando concentraciones promedio de 57.30 mg/100 g y 49.14 mg/100 g, respectivamente. Estos compuestos,

esenciales en la defensa antioxidante de las plantas, podrían estar relacionados con la activación de rutas metabólicas específicas inducidas por ambos ácidos. En contraste, el ácido giberélico mostró la menor acumulación de antocianinas (25.37 mg/100 g), lo que podría explicarse por su acción en la promoción del crecimiento vegetativo, priorizando procesos metabólicos relacionados con el desarrollo sobre la síntesis de metabolitos secundarios (Zhou *et al.*, 2020).

Estudios recientes han reportado que el MDA, como producto final de la peroxidación lipídica, se correlaciona estrechamente con parámetros espectrofotométricos debido a la alta sensibilidad de la reacción con el ácido tiobarbitúrico (Benzie & Strain, 2016; Hodges *et al.*, 2019). La linealidad observada en el presente trabajo coincide con investigaciones previas que destacan este método como una herramienta confiable para evaluar el estrés oxidativo en tejidos vegetales bajo diferentes condiciones experimentales (Li *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2021).

El ácido giberélico, con el menor contenido de antocianinas, también presentó los niveles más bajos de MDA, lo que indica un menor estrés oxidativo. Por otro lado, el ácido ascórbico, con la mayor concentración de antocianinas, mostró niveles intermedios de MDA, sugiriendo que su efecto antioxidante podría estar atenuando parcialmente el daño oxidativo. El ácido salicílico, aunque promovió una acumulación significativa de antocianinas, registró el mayor contenido de MDA, lo que podría estar relacionado con su papel en la activación de mecanismos de defensa que incluyen la generación de especies reactivas de oxígeno como señalizadores (Singh *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2021). Estos resultados resaltan la complejidad de las interacciones entre antioxidantes, metabolitos secundarios y procesos fisiológicos en respuesta a tratamientos exógenos, ofreciendo un panorama integral de las dinámicas metabólicas y reproductivas en *I. tricolor* bajo estrés hídrico.

Este resultado podría estar relacionado con su papel en la activación de vías de defensa que implican un aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) como señalizadores para la síntesis de metabolitos secundarios y la inducción de tolerancia al estrés (Li *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2016). Estos hallazgos resaltan la interacción compleja entre el metabolismo antioxidante y los procesos de peroxidación lipídica en *I. tricolor* bajo diferentes tratamientos.

## CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio destacan el potencial de los reguladores exógenos, especialmente el ácido salicílico, en la mejora de las características reproductivas y antioxidantes de *I. tricolor*. En cuanto a la acumulación de antocianinas, tanto el ácido ascórbico como el ácido salicílico demostraron ser eficaces en la promoción de su síntesis, con concentraciones significativas de antocianinas totales, compuestos antioxidantes importantes. En contraste, el ácido giberélico, aunque muestra una menor concentración de malondialdehído, indicando una reducción del estrés oxidativo, también resulta en una menor producción de antocianinas. En conclusión, el ácido salicílico, además de incrementar los niveles de antocianinas presenta el mayor contenido de MDA.



## LITERATURA CITADA

- Acuña, J. S. J. (2019). Evaluación de las actividades antiinflamatoria y antioxidante de escamonina 1 y compuestos aromáticos aislados de *Ipomoea tyrianthina*. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/571>
- Aires, E. S. [UNESP. (2022). Ácido salicílico na mitigação de estresses em tomateiro. <https://hdl.handle.net/11449/238666>
- Aires, E. S., Ferraz, A. K. L., Carvalho, B. L., Teixeira, F. P., Putti, F. F., de Souza, E. P., Rodrigues, J. D., & Ono, E. O. (2022). Foliar Application of Salicylic Acid to Mitigate Water Stress in Tomato. *Plants*, 11(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/plants11131775>
- Anastacio-Angel, G., González-Fuentes, J. A., Zermeño-González, A., Robledo-Olivo, A., Lara-Reimers, E. A., & Peña-Ramos, F. M. (2024). Efecto de Bioestimulantes en Crecimiento, Fisiología y Calidad Bioquímica de Frambuesa (*Rubus idaeus* L.) Sometida a Estrés Hídrico. *Terra Latinoamericana*, 42.
- Anastacio-Angel, G., González-Fuentes, J. A., Zermeño-González, A., Robledo-Olivo, A., Lara-Reimers, E. A., & Peña-Ramos, F. M. (2024). Efecto de Bioestimulantes en Crecimiento, Fisiología y Calidad Bioquímica de Frambuesa (*Rubus idaeus* L.) Sometida a Estrés Hídrico. *Terra Latinoamericana*, 42.
- Arango, M. C., Ringuet, J. A., & Viña, S. Z. (2013). Intervención de los compuestos secundarios en las interacciones biológicas. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/155452>
- Arguedas-Gamboa, P., Mora-Molina, J., & Sanabria-Mora, J. (2015). Comparación del contenido de carotenoides en productos nutraceuticos elaborados a partir de dos variedades de camote y yuca. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(4), 42. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2442>
- Ariza Flores, R., Serrano Altamirano, V., Michel Aceves, A. C., Barrios Ayala, A., Otero Sánchez, M. A., Avendaño Arrazate, C. H., & Noriega Cantú, D. H. (2017). Características bioquímicas y calidad nutraceutica de cinco variedades de jamaica cultivadas en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 269-280
- Ariza Flores, R., Serrano Altamirano, V., Michel Aceves, A. C., Barrios Ayala, A., Otero Sánchez, M. A., Avendaño Arrazate, C. H., Noriega Cantú, D. H., Ariza Flores, R., Serrano Altamirano, V., Michel Aceves, A. C., Barrios Ayala, A., Otero Sánchez, M.

- A., Avendaño Arrazate, C. H., & Noriega Cantú, D. H. (2017). Características bioquímicas y calidad nutracéutica de cinco variedades de jamaica cultivadas en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 269-280. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.49>
- Ariza Flores, R., Serrano Altamirano, V., Michel Aceves, A. C., Barrios Ayala, A., Otero Sánchez, M. A., Avendaño Arrazate, C. H., & Noriega Cantú, D. H. (2017). Características bioquímicas y calidad nutracéutica de cinco variedades de jamaica cultivadas en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 269-280
- Benavides-Mendoza, A., Hernández-Juárez, A., & Francisco-Francisco, N. (2023). Germinación, crecimiento vegetativo y morfología floral de *Dasyilirion cedrosanum* del matorral rosetófilo de Coahuila. *CienciaUAT*, 18(1), 191-201. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78582023000200191&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78582023000200191&script=sci_arttext)
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (2016). The thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) assay for oxidative stress biomarkers. *Methods in Enzymology*, 299, 15-27.
- Bilska, K., Wojciechowska, N., Alipour, S., & Kalemba, E. M. (2019). Ascorbic Acid—The Little-Known Antioxidant in Woody Plants. *Antioxidants*, 8(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/antiox8120645>
- Blasco Giménez, L. (2023). Evaluación de las respuestas germinativas en especies de plantas exóticas con potencial invasor en la Comunidad Valenciana [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/197559>
- Cartaya-Rubio, O. E., Moreno Zamora, A. M., Guridi Izquierdo, F., & Blanco-Valdes, Y. (2024). Efecto de oligogalacturónidos sobre la respuesta bioquímica del tomate con altas concentraciones de metales. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1). [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212024000100007&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212024000100007&script=sci_arttext)
- Cobo-Sevilla, V., Martínez-García, D., Velasco, E., Herrera López, J. L., Analuisa Jiménez, E. I., Cobo-Sevilla, V., Martínez-García, D., Velasco, E., Herrera López, J. L., & Analuisa Jiménez, E. I. (2024). Factores de estrés y su asociación con los biomarcadores del síndrome metabólico. *Revista Virtual de la Sociedad Paraguaya de Medicina Interna*, 11(1), 40. <https://doi.org/10.18004/rvspmi/2312-3893/2024.e11132401>

- Cortez Egremy, J. G. (2012). Árboles nativos con potencial forrajero para diseñar tecnologías silvopastoriles en la reserva de la biosfera sierra de Huautla, Morelos. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/570>
- Cuzcano Ruíz, A. M. (2013). Antocianinas a partir de la flor de jamaica (*Hiliscus Sabdariffa* L.).
- Elices Ayuso, J. J. (2023). Bioestimulación en planta de lavandín: Una estrategia frente al cambio climático. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/66943>
- Espasandín, F. D. (2012). Las poliaminas como moduladoras de la respuesta a estrés osmótico. El género *Lotus* como modelo de estudio. <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/29656>
- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., González-González, M., Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., & González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 257-282. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2074-86472020000400257&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2074-86472020000400257&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- F. de la Rosa Reyna, X., Garcia León, I., Hernández Mendoza, J., Morales Baquera, J., Quiroz Velásquez, J. D. C., F. de la Rosa Reyna, X., Garcia León, I., Hernández Mendoza, J., Morales Baquera, J., & Quiroz Velásquez, J. D. C. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas. *Revista Boliviana de Química*, 39(5), 1-9. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.5.1>
- Fagetti, A. (2012). Cuando «habla» la semilla: Adivinación y curación con enteógenos en la Mixteca oaxaqueña. *Cuicuilco*, 19(53), 229-255.
- Félix-Leyva, J. T., Peralta-Manjarrez, R. M., Sandoval-Rangel, A., Benavides-Mendoza, A., & Fuente, M. C.-D. la. (2024). Tensión Hídrica en la Producción de Pepino Injertado y Cultivado en Suelo y Sustrato. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 42. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i.1784>
- Fernández Bonilla, L. (2023). Construcción de una planta hepática con capacidad de percibir giberelinas. <https://riunet.upv.es/handle/10251/191728>
- Ferreira E, R., Selles V, G., Maldonado B, P., Celedón de A, J., & Gil M, P. (2007). Efecto del Clima, de las Características de la Hoja y de la Metodología de Medición en el Potencial Hídrico Xilemático en Palto (*Persea americana* Mill.). *Agricultura Técnica*, 67(2), 182-188. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072007000200008>

- Gaafar, A. A., Ali, S. I., El-Shawadfy, M. A., Salama, Z. A., Şekara, A., Ulrichs, C., & Abdelhamid, M. T. (2020). Ascorbic Acid Induces the Increase of Secondary Metabolites, Antioxidant Activity, Growth, and Productivity of the Common Bean under Water Stress Conditions. *Plants*, 9(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/plants9050627>
- Garcia, J. M. C. (2022). Efecto de escamonina 1 y tiriantina c sobre la neurotransmisión gabaérgica y su relación con la actividad neuroprotectora atribuida a *Ipomoea tyrianthina*. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/2077>
- Garza-Alonso, C. A., Olivares-Sáenz, E., González-Morales, S., Cabrera-De la Fuente, M., Juárez-Maldonado, A., González-Fuentes, J. A., Tortella, G., Valdés-Caballero, M. V., & Benavides-Mendoza, A. (2022). Strawberry Biostimulation: From Mechanisms of Action to Plant Growth and Fruit Quality. *Plants*, 11(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/plants11243463>
- Garzón Correa, D. L. (2012). Evaluación de la influencia del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de la naranja “valencia” (*citrus sinensis osbeck*) en el piedemonte llanero de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10815>
- Guillot Ortiz, D. (2006). *Ipomea nil* (L.) Roth e *I. Hederacea* (L.) Jacquin, dos especies invasoras nuevas para la flora valenciana. *Acta Botanica Malacitana*, 31, 153-156. <https://doi.org/10.24310/abm.v31i31.7135>
- Hafez, E. M., Kheir, A. M. S., Badawy, S. A., Rashwan, E., Farig, M., & Osman, H. S. (2020). Differences in Physiological and Biochemical Attributes of Wheat in Response to Single and Combined Salicylic Acid and Biochar Subjected to Limited Water Irrigation in Saline Sodic Soil. *Plants*, 9(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/plants9101346>
- Hernández, E. J., Mendoza-Corvis, F. A., & Ramírez, R. C. (2016). EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN LA CALIDAD DEL MELÓN (CUCUMIS MELO) EN ALMÍBAR/EVALUATION OF THE EFFECT OF PROCESS VARIABLES ON THE QUALITY OF MELON (CUCUMIS MELO) IN SYRUP. *Vitae*, 23, S697. <https://search.proquest.com/openview/599ffa7209ea0703734d1a834c312d91/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1806352>
- Hernández-Figueroa, K. I., Sánchez-Chávez, E., Ojeda-Barrios, D. L., Chávez-Mendoza, C., Muñoz-Márquez, E., Palacio-Márquez, A., Hernández-Figueroa, K. I., Sánchez-Chávez, E., Ojeda-Barrios, D. L., Chávez-Mendoza, C., Muñoz-Márquez, E., &

- Palacio-Márquez, A. (2022). Efectividad a la aplicación de bioestimulantes en frijol ejotero bajo estrés hídrico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 149-160. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3270>
- Herrera-Martínez, S. L., Mora-Herrera, M. E., García-Velasco, R., Gomora-Rasso, J., Rogel-Millán, G., Herrera-Martínez, S. L., Mora-Herrera, M. E., García-Velasco, R., Gomora-Rasso, J., & Rogel-Millán, G. (2013). Efecto del ácido ascórbico sobre crecimiento, pigmentos fotosintéticos y actividad peroxidasa de plantas de rosal. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 193-199. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-57792013000400193&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792013000400193&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F., & Prange, R. K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207, 604-611.
- Hodges, D. M., DeLong, J. M., Forney, C. F., & Prange, R. K. (2019). Improving the thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS) assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207(4), 604-611.
- Idro Montes, F. B. (2022). Evaluación de bioestimulantes como herramienta de mitigación al estrés ambiental sobre las variables de estado hídrico e intercambio gaseoso en plantas de cerezo dulce (*Prunus avium* L.) cv. Santina [PhD Thesis, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.]. <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/13359>
- Idrogo Cubas, G. (2018). Harina de camote (*Ipomoea batatas*, L) en la ración de cuyes durante su crecimiento y engorde. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/1422>
- Jimenez, R. (2021). Estimación del déficit de presión de vapor (VPD) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo sistemas agroforestales multiestrato y su. <https://policycommons.net/artifacts/1731107/estimacion-del-deficit-de-presion-de-vapor-vpd-en-el-cultivo-de-maiz-zea-mays-l-bajo-sistemas-agroforestales-multiestrato-y-su/2462756/>
- Lara-Cortés, E., Martín-Belloso, O., Osorio-Díaz, P., Barrera-Necha, L. L., Sánchez-López, J. A., & Bautista-Baños, S. (2014). Actividad antioxidante, composición nutrimental y funcional de flores comestibles de dalia. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 20(1), 101-116.
- Lara-Cortés, E., Martín-Belloso, O., Osorio-Díaz, P., Barrera-Necha, L. L., Sánchez-López, J. A., & Bautista-Baños, S. (2014). Actividad antioxidante, composición nutrimental y

- funcional de flores comestibles de dalia. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(1), 101-116. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.07.024>
- León Ruiz, J. E., Parra León, V. J., Silva Orozco, J. S., Peña Murillo, R. F., & Román Robalino, D. A. (2022). Requerimientos hídricos para el cultivo de fréjol variedad Calima en Riobamba, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(1), 25-37. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1680-03382022000100025&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1680-03382022000100025&script=sci_arttext)
- Li, J., Arkorful, E., Cheng, S., Zhou, Q., Li, H., Chen, X., ... y Li, X. (2018). Alivio del daño causado por el frío mediante la aplicación exógena de melatonina en la planta del té propagada vegetativamente (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Scientia Horticulturae*, 238, 356-362.
- Li, J., Arkorful, E., Cheng, S., Zhou, Q., Li, H., Chen, X., y Li, X. (2018). Alivio del daño causado por el frío mediante la aplicación exógena de melatonina en la planta del té propagada vegetativamente (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Scientia Horticulturae*, 238, 356-362.
- López, E. G. (s. f.). Arvenses en un suelo cultivado con caña de azúcar con fertilización mineral y abono verde | POLIBOTÁNICA. Recuperado 15 de noviembre de 2024, de <https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/590>
- Marcelino, R. M. O. da S., Morais, F. M. da S., Ferreira, F. N., Alves, L. de S., Moura, E. L., Melo, A. K. de S., Medeiros, J. F. de, Souto, A. G. de L., Pessoa, A. M. dos S., & Ribeiro, J. E. da S. (2024). Salicylic acid mitigates damage caused by water deficit in forage sorghum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 29, e286824. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v29n3e286824>
- Mazaro, S. M., Borsatti, F. C., Dalacosta, N. L., Lewandowski, A., Danner, M. A., Busso, C., & Wagner Junior, A. (2015). Qualidade pós-colheita de acerolas tratadas com ácido salicílico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 10(4), 512-517. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i4a5190>
- Medrano-Macías, J., Flores-Gallegos, A. C., Nava-Reyna, E., Morales, I., Tortella, G., Solís-Gaona, S., & Benavides-Mendoza, A. (2022). Reactive Oxygen, Nitrogen, and Sulfur Species (RONSS) as a Metabolic Cluster for Signaling and Biostimulation of Plants: An Overview. *Plants*, 11(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/plants11233203>
- Meira, M., Silva, E. P. da, David, J. M., & David, J. P. (2012). Review of the genus *Ipomoea*: Traditional uses, chemistry and biological activities. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 22, 682-713. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000025>

- Melédez Guadarrama, L., Hirose López, J., Melédez Guadarrama, L., & Hirose López, J. (2018). Patrones culinarios asociados al camote (*Ipomoea batatas*) y la yuca (*Manihot esculenta*) entre los mayas yucatecos, ch'oles y huastecos. *Estudios de cultura maya*, 52, 193-226. <https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2018.52.941>
- Mircea, D.-M., Li, R., Blasco Giménez, L., Vicente, O., Sestras, A. F., Sestras, R. E., Boscaiu, M., & Mir, R. (2023). Salt and Water Stress Tolerance in *Ipomoea purpurea* and *Ipomoea tricolor*, Two Ornamentals with Invasive Potential. *Agronomy*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092198>
- Molina López, H. F. (2019). Respuesta del camote (*Ipomoea batatas* L.) a niveles de nitrógeno orgánico e inorgánico. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3990>
- Monslavo, M. A., Fortunato, R. H., Wagner, M. L., & Ricco, R. A. (2018). Estudio farmacobotánico de *Ipomoea purpurea* (L.) Roth (Convolvulaceae). <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/177602>
- Moumita, Al Mahmud, J., Biswas, P. K., Nahar, K., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2019). Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. *Acta Agrobotanica*, 72(2). <https://doi.org/10.5586/aa.1776>
- Munzón, M. del R., Villamar, J. G. L., & Aguayo, A. A. A. (2017). DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO XILEMÁTICO PARA OPTIMIZAR EL AGUA EN LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN CUCURBITÁCEAS. *REVISTA DELOS*, 10(30). <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/564>
- Niche, R., & Fagetti, A. (2019). A. Fagetti y J. Reinoso La Santa Rosa y el uso ritual de enteógenos.
- Osorio González, A. (2018). Composición botánica de la dieta de bovinos leche en pastoreo, en Zacazonapan, México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/95082>
- Osorio, N., Charry, P. A., Rios-Vásquez, E., Castañeda-Gómez, J. F., Osorio, N., Charry, P. A., Rios-Vásquez, E., & Castañeda-Gómez, J. F. (2018). Ácidos orgánicos constitutivos de las resinas glicosídicas de tres especies de *Ipomoea* (Convolvulaceae). *Revista ION*, 31(1), 55-58. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018009>
- Patzán Boch, K. V. (2015). Evaluación de la eficacia de siete mezclas de herbicidas para el control de malezas de hoja ancha en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la Finca Camantulul; diagnóstico y servicios realizados en la zona uno de producción, del Ingenio Madre Tierra, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, C. A. [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6058/>

- Pérez Mora, W. H. (2023). Aproximación metabolómica y proteómica para el estudio de los mecanismos asociados a la inducción de resistencia mediante el uso de sustancias inductoras comerciales en clavel (*Dianthus caryophyllus* L), para el control del marchitamiento vascular causado por *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Dianthi* [Trabajo de grado - Doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/85369>
- Puertas Mejía, M. A., Tobón Gallego, J., & Arango, V. (2014). *Kalanchoe daigremontiana* Raym.-Hamet. & H. y su potencial uso como fuente de antioxidantes y colorantes naturales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 19(1), 61-68. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1028-47962014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1028-47962014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- Singh, S., Numan, A., Zhan, Y., Singh, V., Van Hung, T., & Nam, N. D. (2020). A novel highly efficient and ultrasensitive electrochemical detection of toxic mercury (II) ions in canned tuna fish and tap water based on a copper metal-organic framework. *Journal of Hazardous Materials*, 399, 123042. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420310311>
- Romero Román, M. E., Noriega Vásquez, F., Farías Villagra, M., Jara Zapata, P., Vera Flores, B., & Belchi, L. (2019). Nuevas fuentes de antioxidantes naturales: caracterización de compuestos bioactivos en cinco frutos nativos de Chile. *Perfiles*, 2(22), 34-41.
- Cholich, L. A., Martínez, A., Micheloud, J. F., Pistán, M. E., García, E. N., Robles, C. A., Ortega, H. H., & Gimeno, E. J. (2021). Alpha-mannosidosis caused by toxic plants in ruminants of Argentina. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 93, e20191496. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191496>
- Romero Román, M. E., Noriega Vásquez, F., Farías Villagra, M., Jara Zapata, P., Vera Flores, B., & López Belchi, M. D. (2019). NUEVAS FUENTES DE ANTIOXIDANTES NATURALES: CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN CINCO FRUTOS NATIVOS DE CHILE. *Perfiles*, 2(22), 34-41. <https://doi.org/10.47187/perf.v2i22.54>
- Ruíz González, S. R., Flores Naveda, A., Sepúlveda Torre, L., Muñoz Urbina, A., & Espitia Hernández, P. (s. f.). Evaluación en campo de variables agronómicas en genotipos de sorgo para determinación de tolerancia al pulgón amarillo (*melanaphis sacchari*). Recuperado 17 de noviembre de 2024, de <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-UAAAN:67422/Description>



- Ruo, G. L., Langellotti, A. L., Buonocunto, G., Puleo, S., Di Monaco, R., Anastasio, A., Vuoso, V., Smaldone, G., Baselice, M., & Capuano, F. (2023). The sous vide cooking of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*): Safety and quality assessment. *Foods*, 12(15), 2900. <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/15/2900>
- Saldaña Chafloque, C. F., Acosta Román, M., Jordan de la Cruz Castillo, A., & Roxana Valenzuela Ramos, M. (2022). Impacto de la agricultura orgánica en la producción de plantas medicinales. *Medicina naturista*, 16(1), 41-47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8257031>
- Salzano, A., Neglia, G., D'Onofrio, N., Balestrieri, M. L., Limone, A., Cotticelli, A., Marrone, R., Anastasio, A., Michael, J. D., & Campanile, G. (2021). Green feed increases antioxidant and antineoplastic activity of buffalo milk: A globally significant livestock. *Food Chemistry*, 344, 128669. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814620325310>
- Sangoluisa-Tipan, M. P., Santacruz, C., & Salvador, M. (2019). Efecto del método de extracción de antocianinas de la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en la eficiencia de celdas solares sensibilizadas. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.18272/aci.v11i2.888>
- Sangoluisa-Tipan, P. G., Rivera, A., Merino, J., & Torres, J. (2019). Climate Smart Livestock: The Interaction between Mitigation, Adaptation and Efficient Livestock Management Practices in Ecuador. Tropentag Conference 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: Tropentag.
- Sanvicente, E. P. (2021). Transformación genética de *ipomoea orizabensis* e identificación de compuestos de resinas glicosídicas. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/1452>
- Sapes, G., & Sala, A. (2021). Relative water content consistently predicts drought mortality risk in seedling populations with different morphology, physiology and times to death. *Plant, Cell & Environment*, 44(10), 3322-3335. <https://doi.org/10.1111/pce.14149>
- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Robledo-Olivo, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Preciado-Rangel, P., & González-Morales, S. (2021). Efecto de extractos de *Sargassum* spp. En el crecimiento y antioxidantes de plántulas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2). <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2814>
- Shalaby, T. A., El-Newiry, N. A., El-Tarawy, M., El-Mahrouk, M. E., Shala, A. Y., El-Beltagi, H. S., Rezk, A. A., Ramadan, K. M. A., Shehata, W. F., & El-Ramady, H. (2023).

- Biochemical and Physiological Response of Marigold (*Tagetes Erecta* L.) to Foliar Application of Salicylic Acid and Potassium Humate in Different Soil Growth Media. *Gesunde Pflanzen*, 75(2), 223-236. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00693-4>
- Szewczuk, N. A., Lobayan, R. M., Duchowicz, P. R., & Pomilio, A. B. (2022). ESTUDIO ESTRUCTURAL Y CONFORMACIONAL DE LAS ANTOCIANIDINAS: PELARGONIDINA, CIANIDINA Y DELFINIDINA. *An. Asoc. Quím. Argent.*
- Verma, K. K., Song, X.-P., Zeng, Y., Guo, D.-J., Singh, M., Rajput, V. D., Malviya, M. K., Wei, K.-J., Sharma, A., & Li, D.-P. (2021). Foliar application of silicon boosts growth, photosynthetic leaf gas exchange, antioxidative response and resistance to limited water irrigation in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 582-592. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942821003454>
- Villegas Campoverde, R. V. (2018). Estudio farmacognóstico y fitoquímico de la hoja de *Ipomea tricolor* (Batatilla) [bachelorThesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35326>
- Xu, J., Zhao, C., Chau, Y., & Lee, Y.-K. (2020). The synergy of chemical immobilization and electrical orientation of T4 bacteriophage on a micro electrochemical sensor for low-level viable bacteria detection via Differential Pulse Voltammetry. *Biosensors and Bioelectronics*, 151, 111914.
- Espinosa-Antón, J. J., Martínez-Hernández, A. P., & Sánchez-Peña, P. (2020). Organic acids and their role in plant growth, stress resistance, and metabolite synthesis. *Agricultural Sciences Journal*, 12 (3), 45-58.
- Yoshida, K., Miki, N., Momonoi, K., Kawachi, M., Katou, K., Okazaki, Y., Uozumi, N., Maeshima, M., & Kondo, T. (2009). Synchrony between flower opening and petal-color change from red to blue in morning glory, *Ipomoea tricolor* cv. Heavenly Blue. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 85(6), 187-197. <https://doi.org/10.2183/pjab.85.187>
- Youssef, S. M., Abdella, E. M. M., Al-Elwany, O. A., Alshallash, K. S., Alharbi, K., Ibrahim, M. T. S., Tawfik, M. M., Abu-Elsaoud, A. M., & Elkelish, A. (2022). Integrative Application of Foliar Yeast Extract and Gibberellic Acid Improves Morpho-Physiological Responses and Nutrient Uptake of *Solidago virgaurea* Plant in Alkaline Soil. *Life*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/life12091405>
- Zhou, J., Zheng, Y., Zhang, J., Karimi-Maleh, H., Xu, Y., Zhou, Q., Fu, L., & Wu, W. (2020). Characterization of the Electrochemical Profiles of *Lycoris* Seeds for Species

Identification and Infrageneric Relationships. *Analytical Letters*, 53(15), 2517-2528.  
<https://doi.org/10.1080/00032719.2020.1746327>

## ANEXOS

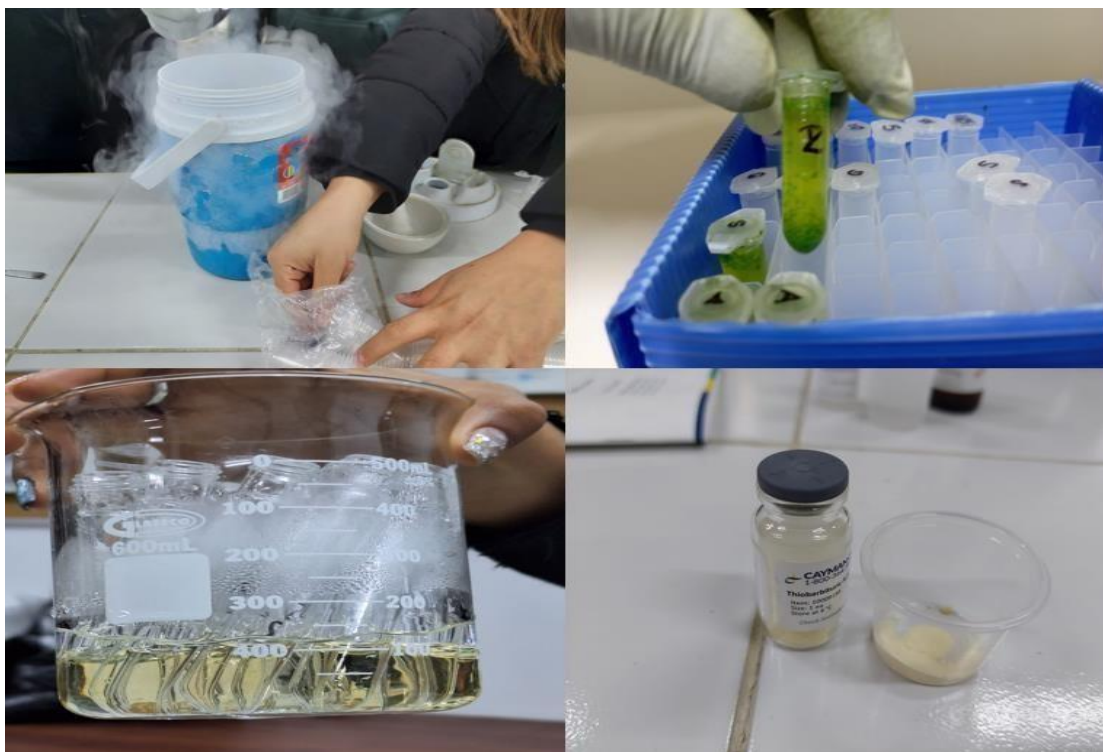
**Anexo 1.** Cultivo experimental de *Ipomea tricolor* en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



**Anexo 2.** Determinación de Respuesta Fisiológica en *Ipomea tricolor* Cav.



**Anexo 3.** Extracción y determinación de MDA total en hojas de *Ipomea tricolor*.



**Anexo 4.** Extracción y determinación de antocianinas totales en flores de *Ipomea tricolor*.

