

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE DENSIDAD DE FLUJO FOTÓNICO SOBRE LA PRODUCCIÓN
DE ALCALOIDES ANTICANCERÍGENOS EN VINCA (*Catharanthus roseus* L.)
EN AGRICULTURA VERTICAL

Tesis

Que presenta ELVA IXCHEL LANDEROS ORTIZ
Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

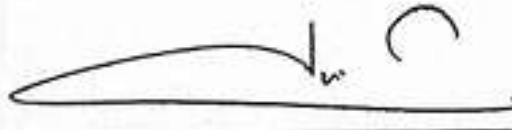
Saltillo, Coahuila.

Noviembre, 2025

EFFECTO DE DENSIDAD DE FLUJO FOTÓNICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE
ALCALOIDES ANTICANCERÍGENOS EN VINCA (*Catharanthus roseus*) EN
AGRICULTURA VERTICAL

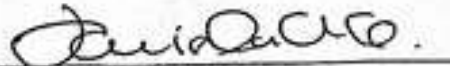
Tesis

Elaborada por Elva Ixchel Landeros Ortiz
como requisito parcial para obtener el Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación
del comité de asesoría.



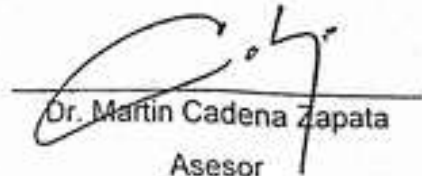
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Director de Tesis



Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Asesor



Dr. Martin Cadena Zapata

Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda

Subdirector de Postgrado

UAAAN

Saltillo, Coahuila.

Noviembre 2025.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme un espacio de crecimiento académico y el respaldo para la culminación de este trabajo.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, por el apoyo económico otorgado que me permitió cursar mis estudios de maestría.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por su disponibilidad para orientarme en cada etapa y la confianza depositada en mí permitieron la realización exitosa de este proyecto. Le agradezco sus invaluable enseñanzas profesionales y el apoyo humano que me brindó en los momentos de mayor reto e incertidumbre.

A la Dra. Daniela Alvarado Camarillo por facilitar el espacio de trabajo y por su orientación durante el desarrollo del proyecto.

Al Dr. Martin Cadena Zapata por su participación y revisión de este trabajo.

A Karma Verde Fresh y su Co fundador y CEO Leo Lobato Kelly, por su patrocinio que fue fundamental para llevar a cabo la investigación.

A los compañeros de servicio social, por su disponibilidad y apoyo para las actividades relacionadas con esta investigación.

DEDICATORIAS

A mi ángel en el cielo, Carlos Daniel Landeros Ortiz mi ejemplo a seguir de lucha y resiliencia.

A mis padres, quienes siempre han apoyado mis metas y festejado cada uno de mis logros, y me han enseñado lo más valioso de la vida.

A mis hermanas, Karla, Ana y mi hermano Emmanuel, por su amor inquebrantable.

A mi novio, que ha sido paciente durante este camino y me ha demostrado su apoyo incondicional.

A mis amigas, que siempre me dieron palabras de aliento y motivación aún sin saber que las necesitaba.

A cada uno de ustedes, con todo mi corazón, les dedico este logro que también es suyo...

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS.....	iv
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
PLANTAS MEDICINALES EN MÉXICO.....	4
GENERALIDADES DEL CULTIVO	4
TAXONOMÍA.....	5
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	6
MANEJO DEL CULTIVO	6
ALCALOIDES	7
VINBLASTINA Y VINCRISTINA.....	7
INCREMENTO DE ALCALOIDES	8
AGRICULTURA VERTICAL.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	10
PREPARACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL Y SUSTRATO	10
RIEGO	10
TRATAMIENTOS DE SALINIDAD.....	10
RECOLECCIÓN DE MUESTRA	11
ANÁLISIS MINERAL	11
QUÍMICA ANALÍTICA.....	11
<i>Fenoles Totales</i>	11
<i>Flavonoides</i>	12
<i>Azúcares</i>	12
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	12
<i>ABTS</i>	12
<i>DPPH</i>	13
<i>FRAP</i>	13
DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
CRECIMIENTO	15

QUÍMICA ANALÍTICA.....	19
ANÁLISIS NUTRIMENTAL	22
SODIO Y CLORO	25
CONCLUSIÓN.....	27
REFERENCIAS	28

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en el crecimiento y peso seco de plantas de vinca cultivar polka dot.	17
Cuadro 2. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en la capacidad antioxidante y componentes metabolitos en hojas de vinca.	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en el peso seco de plantas de vinca. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$	18
Figura 2. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en el peso seco de plantas de vinca. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$	21
Figura 3. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en el contenido de metabolitos en hojas de vinca. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$	22
Figura 4. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en la concentración foliar de nitrógeno, fósforo y potasio en vinca cv. Polka dot. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan $p < 0.05$	24
Figura 5. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en la concentración foliar de calcio y magnesio en vinca cv Polka dot. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$	25
Figura 6. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en la concentración foliar de sodio y cloro en vinca cv Polka dot. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$	26

RESUMEN

EFFECTO DE DENSIDAD DE FLUJO FOTÓNICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE ALCALOIDES ANTICANCERÍGENOS EN VINCA (*Catharanthus roseus* L.) EN AGRICULTURA VERTICAL

POR

ELVA IXCHEL LANDEROS ORTIZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR – DIRECTOR

SALTILLO, COAHUILA

NOVIEMBRE, 2025.

La escasez de agua y salinidad representa un reto para los agricultores, especialmente de plantas de ornato, debido a que la estética de la planta es clave para su valor comercial. Vinca es una planta importante en la horticultura debido a su interés ornamental pero también alto valor farmacéutico por sus valiosos compuestos que tienen propiedades medicinales. En el presente estudio se evaluó el efecto de la salinidad por NaCl en la solución nutritiva en la acumulación de biomasa y su efecto en la capacidad antioxidante y estado nutrimental en dos cultivares (Polka dot y Valiant) de vinca. La adición de NaCl afectó el crecimiento y absorción de nutrimentos de Polka dot, siendo este cultivar más sensible al estrés salino. El cultivar Valiant demostró tolerancia a la salinidad incluso en las cantidades más elevadas de NaCl, puesto que su crecimiento y desarrollo se mantuvo estable. En cuanto a la absorción de nutrientes esenciales, la concentración foliar de Ca y K disminuyeron. Polka dot, a pesar de ser más sensible su respuesta metabólica fue una mayor concentración flavonoides y mayor actividad antioxidante, en concentraciones elevadas de NaCl. La salinidad no solo es un factor de estrés para la planta, en niveles controlables es un estímulo que puede favorecer la producción de metabolitos secundarios de interés bioactivo, lo que resulta de interés para su aprovechamiento ornamental y farmacéutico.

Palabras clave: ornamentales, estrés abiótico, calidad de agua para riego, agricultura vertical

ABSTRACT

EFFECT OF PHOTONIC FLUX DENSITY ON THE PRODUCTION OF
ANTICANCER ALKALOIDS IN VINCA (*Catharanthus roseus* L.) IN VERTICAL
FARMING

BY

ELVA IXCHEL LANDEROS ORTIZ

MASTER OF SCIENCE IN ENGINEERING IN PRODUCTION SYSTEMS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Dr. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR – ADVISOR-

SALTILLO, COAHUILA

NOVEMBER, 2025

Water scarcity and salinity represent a challenge for growers, particularly of ornamental plants, as plant aesthetics are key to their commercial value. Vinca is an important horticultural species due to its ornamental appeal as well as its high pharmaceutical value, owing to its valuable compounds with medicinal properties. In the present study, the effect of NaCl-induced salinity in the nutrient solution on biomass accumulation, antioxidant capacity, and nutritional status was evaluated in two Vinca cultivars (Polka Dot and Valiant). The addition of NaCl affected the growth and nutrient uptake of Polka Dot, making this cultivar more sensitive to salt stress. In contrast, the Valiant cultivar demonstrated tolerance to salinity even at the highest NaCl concentrations, maintaining stable growth and development. Regarding essential nutrient uptake, foliar concentrations of Ca and K decreased. Although Polka Dot was more sensitive, its metabolic response included higher flavonoid concentration and greater antioxidant activity under elevated NaCl levels. Salinity is not only a stress factor for plants; at controllable levels, it can act as a stimulus that enhances the production of secondary metabolites of bioactive interest, which is relevant for both ornamental and pharmaceutical applications.

Keywords: ornamentals, abiotic stress, irrigation water quality, vertical farming

INTRODUCCIÓN

La agricultura es el sector que más agua consume, pues se estima que, en promedio, el 80% de todos los recursos hídricos disponibles se emplea para el riego de los cultivos (Velasco-Muñoz *et al.*, 2018). Sin embargo, conforme se intensifica la escasez de agua, una proporción cada vez mayor es transferida de su uso agrícola para cubrir otras necesidades, como la generación de energía y para uso doméstico en asentamientos humanos con poblaciones cada vez más grandes (Strzepek y Boehlert, 2010).

La salinidad se considera un problema de degradación de suelos generada por la acumulación freática de iones por un exceso de riego y una alta tasa de evaporación, así como por una deficiente calidad de agua, así como un uso excesivos de fertilizantes (Barkla *et al.*, 2007; Pérez y Sandoval, 2014). Las principales sales que se acumulan incluyen a los cloruros y sulfatos de sodio y de magnesio, lo cual causa que se eleve la conductividad eléctrica del agua y la presión osmótica (Mata Fernandez *et al.*, 2014).

El estrés causado por la salinidad afecta de manera negativa el desarrollo de las plantas y en los cultivos agrícolas reduce la productividad y rentabilidad (Orosco-Alcala *et al.*, 2018). La alta presión osmótica ocasiona que las plantas se marchiten ya que las raíces no pueden absorber el agua, aunque esta se encuentre presente, ocasionando una sequía fisiológica (Zaman *et al.*, 2018). La salinidad es el principal tipo de estrés que ocasiona una deshidratación celular, lo cual se regula la síntesis de metabolitos secundarios que contribuyen a reducir la oxidación celular (Jan *et al.*, 2021). La salinidad también causa problemas a nivel enzimático en la glucólisis, lo que resulta en una menor disponibilidad de energía y nutrientes (Mata Fernandez *et al.*, 2014). El estrés por sales produce un estrés oxidativo a nivel subcelular, el cual se presenta en las hojas (Acosta - Motos *et al.*, 2014); en respuesta a este estrés oxidativo, las plantas producen metabolitos secundarios con diferentes funciones como flavonoides, aceites volátiles, alcaloides, taninos, resinas entre otros (Thakur *et al.*, 2019).

El cultivo de plantas ornamentales conlleva el uso de grandes volúmenes de agua, la cual debe de ser de muy alta calidad para el riego. Esto se debe a que, en este tipo de cultivos, el atractivo visual de las plantas es de primordial importancia para atraer el gusto de los consumidores, lo cual se ve afectado si estas especies se riegan con agua de deficiente calidad. El riego de los cultivos ornamentales con agua alta en sales trae efectos deletéreos en el crecimiento, producción de biomasa y vida de anaquel ocasionados por los efectos osmóticos y iónicos de la salinidad (García-Caparrós y Lao 2018). Para la producción de cultivos ornamentales, la calidad del agua, en particular el pH, la salinidad y la alcalinidad, son parámetros preponderantes para determinar prácticas como el riego, tipo de fertilización y tipo de sustrato para tomar decisiones de manejo del cultivo (Cabrera *et al.*, 2017).

Vinca (*Catharanthus roseus* L.) es una planta ornamental muy utilizada en jardines que además se ha sugerido que tiene el potencial de remediar suelos contaminados con metales pesados (Ehsan *et al.*, 2016), además de ser empleada como una planta medicinal debido al efecto anticancerígeno de algunos alcaloides que produce (Idrees *et al.*, 2010; Nejat *et al.* 2015; Vrabec *et al.*, 2025), antidiarreico y antihelmíntico (Dubey *et al.*, 2020). En México, las plantas de vinca se establecen en jardines ubicados en todo el país, incluyendo en zonas donde estas se riegan con agua de mala calidad por sus elevados contenidos de sales solubles, ocasionándole una reducción en el crecimiento (De la Rosa-Mera *et al.*, 2011; Escalona *et al.*, 2014). El objetivo del presente estudio fue el determinar el nivel de salinidad en el agua de riego que las plantas de dos cultivares de vinca pueden tolerar sin afectar la acumulación de biomasa, así como el efecto de la salinidad en la actividad antioxidante y el estado nutrimental.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la salinidad inducida por NaCl en el agua de riego, para determinar la tolerancia de plantas de vinca al estrés salino.

Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de diferentes concentraciones de NaCl en la acumulación de biomasa de los cultivares de vinca: Polka dot y Valiant.
2. Evaluar la Influencia de la salinidad en la absorción y concentración foliar de nutrientes.
3. Analizar los cambios en la concentración de fenoles, flavonoides, azúcares y actividad antioxidante en respuesta al riego con agua alta en sales de NaCl.

Hipótesis

La salinidad afecta la biomasa, absorción de nutrientes y capacidad antioxidante de vinca.

REVISIÓN DE LITERATURA

Plantas medicinales en México

Una planta medicinal se define como una especie que contiene sustancias o compuestos que pueden ser utilizados con fines terapéuticos, o cuyos compuestos pueden servir como precursores para la síntesis de fármacos. Los compuestos de las plantas medicinales tienen una importante aplicación en la medicina moderna como fuente de precursores para la síntesis de fármacos complejos (Oliveira *et al.*, 2005). Gracias a la gran biodiversidad del país, existen diversas plantas en el territorio que son utilizadas con fines medicinales, México es el cuarto territorio con la mayor biodiversidad en el que se encuentra el 10% de las especies conocidas, de las cuales se han realizado estudios al 5% de las plantas que se encuentran en México, estas especies cuentan con un potencial químico farmacobiólogo (García-Jiménez, 2009).

Generalidades del cultivo

La obtención de farmacéuticos de origen natural se popularizó alrededor de los años 50's, el descubrimiento del potencial farmacéutico en algunas plantas ornamentales se dio de forma indirecta, una de las especies estudiadas fue la planta de vinca *C. roseus* (Malikov y Yusunob, 1977). El Amazonas es una de las regiones con más biodiversidad en el mundo que abarca distintos países, desde Brasil, Venezuela, Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia Cartay (Chaparro-Martínez 2020). La zona es de gran importancia, por su gran reserva de agua, y por la extensa cobertura vegetal que funciona como sumidero de carbono y así disminuyendo la emisión de CO₂ ayudando a disminuir los efectos del calentamiento global (Miñano *et al.*, 2018). Las plantas ornamentales que crecen en esta zona, estas plantas de mucho interés por la presencia de metabolitos secundarios que se desarrollan de forma natural (Tafur *et al.*, 2020), estos metabolitos secundarios son utilizados en tratamientos para enfermedades como el cáncer y diabetes (Artavia *et al.*, 2020). Una de las especies presentes en el Amazonas es la vinca (*C. roseus*) que es utilizada en la industria farmacéutica como materia prima para la extracción de alcaloides (Lewis, 1982). La vinca es

una planta endémica de Madagascar, sin embargo, gracias a su capacidad adaptativa a diversos climas se ha logrado extender por diferentes estados del territorio mexicano (Diego y Fonseca 2004). Pertenece a la especie *Vinca spp.* de la familia Apocináceas (*Apocynaceae.*) conformada por más de 200 géneros y 2000 especies. Las vincas no solo tienen un valor ornamental, en la actualidad los estudios de la planta siguen llevándose a cabo, reconociendo sus propiedades farmacológicas, medicinales y toxicológicas de compuestos generados por la planta, sobre todos los alcaloides del cual se han identificado alrededor de 150 compuestos producidos de forma natural por la planta de vinca (Berdonces y Serra 2002).

Muchísimas plantas han sido estudiadas por su uso desde la medicina tradicional ancestral hasta hoy en día para usos fármaco-biológicos, entre ellas *C. roseus*, que todos sus órganos siguen siendo utilizados para tratamientos de diabetes, hipertensión y ciertos tipos de cáncer. *Catharanthus roseus* produce metabolitos secundarios del grupo indol-terpenicos llamados vinblastina y vincristina (Cragg y Newman 2005). Sin embargo, estos alcaloides tan valiosos para la medicina humana son obtenidos en cantidades traza (Misra y Gupta 2006). Si bien los metabolitos secundarios en las plantas no tienen una función fisiológica estos son producidos por la planta cuando se encuentra en condiciones de estrés como método de defensa ante ciertos ataques bióticos o abióticos (Ocegueda y Koleff 2005).

Taxonomía

<u>Reino</u>	Plantae
<u>División</u>	Magnoliophyta
<u>Clase</u>	Magnoliopsida
<u>Orden</u>	Gentianales
<u>Familia</u>	Apocynaceae
<u>Genero</u>	<i>Catharantus</i>
<u>Especie</u>	<i>Catharanthus roseus</i>

Descripción morfológica

La vinca es una planta perenne sub-arbustiva ornamental, tienen un crecimiento de 50 a 60 cm, sin embargo, puede alcanzar hasta un metro de altura, suele tener floración durante las 4 estaciones del año. Tiene un amplio espectro el color de sus flores, como blanco, púrpura, morado, azul, rosa, entre otros (Allamsetty *et al.*, 2020).

Está conformada por hojas simples de forma oval, brillantes de color verde, miden de 2.5 cm a 9 cm de largo y 1 cm a 3.5 cm de ancho de una nervadura pálida y un peciolo corto, se encuentran ubicadas en pares de forma opuesta (Nisar *et al.*, 2016). Cuenta con un tallo modificado con yemas que crecen de forma horizontal, de cual emergen las raíces, el tallo rizomatoso tiene ramificaciones ascendentes y decumbentes (Talavera *et al.*, 2012). Las flores son hermafroditas y pentámeras con una amplia gama de colores con un centro rojo oscuro, tiene un tubo basal de 2.5 cm a 3 cm de largo, la corola de igual forma es pentámera, mide de 2 cm a 5 cm de diámetro (Izco *et al.*, 2005). El fruto está conformado por dos folículos de 2 cm a 4 cm de largo y 3 mm de ancho, este fruto es seco y dehiscente con múltiples semillas (Nisar *et al.*, 2016).

Manejo del cultivo

El cultivo ornamental de *C. roseus* o vinca se puede manejar todo el año, usualmente son manejadas en contenedores con sustrato inerte. El cultivo no es exigente en agua, la temperatura óptima de crecimiento se encuentra en un rango de 16 °C a 28 °C, pero puede tolerar temperaturas de 14 °C y 36 °C sin afectar sus funciones fisiológicas, la variedad es tolerante al calor extremo, sin embargo no es tolerante al frío, por su alta tolerancia al calor también tiene tolerancia a intensidades lumínicas altas ya que sus requerimientos lumínicos son altos también en un rango de 4000 a 6000 pies/candela, en condiciones de alta humedad relativa o presencia de lluvia pueden causar daños (Martínez., s.f.).

Alcaloides

La importancia dedicada a los estudios de esta planta se debe a su alto potencial medicinal, por la presencia de compuestos orgánicos que la planta produce de manera natural denominados alcaloides, estos son utilizados en tratamientos para enfermedades humanas como la hipertensión, gastritis y cáncer (Portal *et al.*, 2014). Se han encontrado alrededor de 150 alcaloides indólicos, convirtiendo la planta en una de las materias primas para la obtención de alcaloides (Ferrerres *et al.*, 2008), de los cuales algunos presentan una gran actividad farmacológica por lo que muchas investigaciones se centran en el incremento de estos compuestos como resultado de diferentes tipos de estrés que tienen como resultados precursores químicos que dan como resultado los alcaloides (Alfonso-Molina, 2018).

Vinblastina y vincristina

La vincristina y la vinblastina fueron los primeros compuestos aislados de la planta de vinca con un fin antitumoral, estos compuestos son agentes antimetabólicos (Llopert, 2016). La vinblastina ha servido como un fármaco eficaz ante enfermedades degenerativas, como la enfermedad de Hodgking al usar tratamientos que incluyen vinblastina. Por otro lado, la vincristina se ha utilizado comúnmente en el tratamiento contra la leucemia (Wang *et al.*, 2004). La planta de vinca tiene la capacidad de sintetizar diversos compuestos que cumplen con funciones de adaptación y protección ante diferentes situaciones de estrés dentro de la planta, estos compuestos han sido utilizados en tratamientos contra el cáncer, teniendo efectos positivos al detener el crecimiento de algunos tumores (Banskota, 2002).

Los alcaloides son compuestos producidos de forma natural en la planta, principalmente se encuentran en el tallo y en hojas, se encuentran compuestos como vincristina, vinblastina y derivados de estos compuestos (Taher *et al.*, 2019). La importancia de la vinblastina, vincristina y sus derivados radica en que actúan como agentes citotóxicos, estos compuestos intervienen en la fase de

mitosis de células cancerígenas evitando así el crecimiento de tumores. El método de acción de los compuestos de vinblastina y vincristina consiste en la unión que forman con la proteína tubulina, al unirse a esta proteína impide la polimerización y como consecuencia interrumpiendo la formación de huso mitótico, de este modo la división celular es afectada de tal modo que el crecimiento del tumor es detenido, estos compuestos funcionan de forma selectiva atacando únicamente las células cancerígenas (Muñoz-Cendales y Cuca-Suárez (2016). Sin embargo, la concentración de estos compuestos en la planta es muy baja, por lo cual es necesario una producción muy extensiva, por esta razón los estudios realizados a esta especie se centran en el incremento en la concentración de alcaloides para obtener más compuesto con la misma producción (Hussain *et al.*, 2012).

Incremento de alcaloides

La vía de biosíntesis de alcaloides indol terpenoides (AIT) ha sido investigado con el fin de incrementar la síntesis de estos compuestos, sin embargo, no se ha definido completamente (Rischer *et al.*, 2006). Todos los alcaloides producidos por la planta de vinca se derivan de strictosidina, se pueden identificar tres etapas de la biosíntesis 1) Formación de triptamina y secologanina 2) Formación de alcaloides monómeros 3) Formación de alcaloides bisindol (Liu *et al.*, 2007). La vinblastina y vincristina son alcaloides bisindol sintetizado a partir de otros alcaloides monómeros, al acoplarse estos alcaloides por medio de la enzima anhidrovinblastinasintasa se convierte en vinblastina y posteriormente en vincristina, sin embargo, este proceso de catálisis no se define completamente todavía (Zhu *et al.*, 2015). Diferentes estudios se han centrado en la inducción de algún estrés que provoque un aumento en la concentración de alcaloides, la luz ha sido objeto de estudio para provocar un estrés que incremente la concentración de alcaloides, diferentes estudios han demostrado que la luz promueve la biosíntesis de vindolina que es uno de los precursores de la vinblastina y vincristina, estos estudios han demostrado que la exposición

prolongada o altas densidades de flujo fotónico aumentan la concentración de vindolina ante la exposición de radiación ultravioleta (Zhao *et al.*, 2001).

Agricultura vertical

Actualmente las problemáticas ambientales amenazan la agricultura tradicional y la agricultura tecnificada por el cambio climático, uso excesivo de agroquímicos, y estas malas prácticas no solo afectan al sector agroalimentario, también impactan en otros sectores de la agricultura y representa un reto para la conservación del medio ambiente (Bakar, 2014). La agricultura urbana es una alternativa ante los problemas ambientales para producción en diferentes sectores agrícolas, en un espacio delimitado de forma horizontal, de este modo se aprovecha espacios que no son designados para la agricultura sin modificar el ambiente (Espinal-Calani y Del Castillo- Gutiérrez, 2018). La agricultura vertical tiene diversos enfoques, puede ser utilizada con fines productivos alimenticios y no alimenticios, este sistema de producción se ha vuelto popular y han tomado relevancia en diversos estudios para llevar a cabo la producción de todos los cultivos en combinación con distintas técnicas de producción como hidroponía, cultivos sin suelo, aeroponía, acuaponía, etc. (Jiménez, 2016).

Los sistemas de agricultura vertical consisten en un espacio aprovechable para producción, mediante el uso de diversos equipos que nos ayudan a recrear las condiciones óptimas de desarrollo de un cultivo en específico, uno de los aspectos más importantes es la luz ya que sin luz las plantas no se desarrollan correctamente por lo cual se recurre al uso de lámparas LED que transforman la energía eléctrica en radiación PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) que emiten rangos de onda de 300 a 800 nm aprovechables por la planta (Pérez *et al.*, 2006). Un sistema de iluminación en agricultura vertical es indispensable para satisfacer las necesidades lumínicas de un cultivo, al satisfacer las necesidades se llevan a cabo los procesos metabólicos necesarios para realizar la fotosíntesis, un proceso esencial para el desarrollo y producción en plantas (Ramos y Ramírez, 2016).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El estudio se realizó en el Laboratorio de Agricultura Vertical de la Universidad Autónoma agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Situada a latitud de 25°21'24" N y longitud de 101°02'05" O, a una altitud de 1765 msnm.

Preparación del material vegetal y sustrato

Plántulas de los cultivares Polka dot y Valiant fueron trasplantados el 30 de noviembre de 2023 en contenedores de 3 litros, utilizando un sustrato preparado con una mezcla (80 % / 20 % v/v) de peat moss (Premier Horticulture linc., Quakertown, PA, USA) y perlita (Hortiperl, Monterrey, México). El pH y la CE fueron ajustadas a 5.8 y 0.25 dS·m⁻¹ respectivamente.

Riego

Las plantas fueron irrigadas con una solución nutritiva completa conteniendo los macronutrientes (meq L⁻¹) 9 NO₃⁻, 0.75 H₂PO₄⁻¹, 5.4 SO₄²⁻, 5.3 K⁺, 6.8 Ca²⁺, 3.1 Mg²⁺, y micronutrientes (mg L⁻¹) 5.3 Fe, 0.4 Zn, 2.6 Mn, 0.5 Cu, y 0.2 B. El pH final y la alcalinidad de la solución nutritiva se ajustó a 5.8 y 1.0 meq L⁻¹, respectivamente.

El riego se realizó cuando el tensiómetro (Irrometer modelo MLT, Riverside, CA, EE. UU.) mostró una tensión de agua de 8 centibares y con solución suficiente para obtener una fracción de lixiviación del 35%

Tratamientos de salinidad

Los tratamientos de salinidad se impusieron añadiendo NaCl a la solución nutritiva de riego a partir de los 45 días después del trasplante. Las plantas se separaron en cuatro grupos irrigados con la solución nutritiva mencionada anteriormente, a la cual se le agregó 0, 10, 20 y 35 mmol L⁻¹ de NaCl. La

conductividad eléctrica final de las soluciones nutritivas fueron 1.7, 2.7, 3.7 y 5.2 dS m⁻¹, respectivamente.

Recolección de muestra

Las plantas de Vinca fueron cosechadas 81 días después del trasplante. Las partes de las plantas se separaron en flores, hojas, tallos y raíces, se embolsaron y se secaron en un horno a 60 °C durante 72 horas y luego se pesaron para obtener el peso seco.

Se separaron 10 g de hojas frescas y se congelaron a -20 ° C.

Análisis mineral

Al finalizar el experimento, las hojas secas de las plantas de vinca cultivar Polka dot se molieron y se digestaron en una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico para posteriormente determinar el contenido de P, K, Ca, Mg, Na y Cl empleando el analizador de plasma inductivamente acoplado. La concentración de N se determinó por el procedimiento de microKjeldhal.

Química analítica

El análisis químico y la determinación de la actividad antioxidante se realizaron en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ubicada en Cuernavaca, Morelos México. Una muestra de 1 g de hojas congeladas se homogeneizó con 12 ml de agua destilada (Ultra turrax, Ika T25DS1, Alemania) y se centrifugó a 5000 rpm (ORTOALRESA, DIGICEN 21, España) durante cinco minutos para obtener los extractos.

Los extractos para la determinación de flavonoides se obtuvieron con 12 mL de metanol.

Fenoles Totales

Se determinaron mediante el método Folin-Ciocalteu (Singletón *et al.*, 1999), utilizando ácido gálico (FERMONT, México) para la curva estándar. Se obtuvo

una alícuota de 500 μ L del extracto previamente obtenido y se le agregaron 2.5 mL de reactivo de Folin-Coicalteu (1:10 v/v). Después de 5 minutos, se incorporaron 2 mL de Na_2CO_3 al 7.5% y la mezcla se dejó reposar durante 2 horas. La absorbancia se cuantificó a 760 nm utilizando un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific, Genesys G10S, China). Los resultados se expresaron en mg /100 g de peso fresco.

Flavonoides

Se mezcló una muestra de 2 mL del extracto con 2 mL de tricloruro de aluminio al 2 % (MEYER, México), se agitó en un vórtex (G-650, EE. UU.) y se incubó durante 10 minutos en oscuridad. La absorbancia se midió a 425 nm. Se utilizó quercetina para determinar la curva estándar, y los resultados se expresaron en mg por 100 g de peso fresco (Arvouet-Grand *et al.*, 1994).

Azúcares

A una mezcla de 1 g de hojas frescas se le añadieron 30 mL de etanol al 80 %, posteriormente 1 mL de la mezcla se colocó en un vaso de precipitado y se evaporó en una placa calefactora. Posteriormente, se añadieron 20 mL de agua destilada, de la cual se extrajeron 1,5 mL y se hicieron reaccionar con 3 mL de solución de antrona en tubos de ensayo colocados en un baño de hielo. Posteriormente, se calentó en un baño de agua durante 5 minutos. La absorbancia se midió a 600 nm en un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific, Genesys G10S, China). La curva estándar se preparó con glucosa y los resultados se presentaron en mg / g de peso fresco.

Actividad antioxidante

ABTS

Se realizó con la metodología descrita por Re *et al* (1999)., utilizando ácido ascórbico para la curva patrón. Los resultados se expresaron en mg por 100 g de peso fresco.

Se comenzó con la preparación de ABTS ((2,2'-Azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) al 7mM) y persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$ al 2.45 mM) se mezcla 1:1 en un frasco ámbar y se coloca en una placa de agitación (LABTECH®, LMS/1003) durante un transcurso de 16 horas; posteriormente se mide en un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific GENESYS G10S, China) a 734 nm y ajustando el reactivo con etanol al 20% hasta obtener una lectura de 0.7 ± 0.02 . En un tubo de ensaye se colocan 100 μ L de extracto de hojas que se realizó previamente y se agregan 3 mL de la solución de ABTS, se agitó vigorosamente en un vortex (G-560, Estados Unidos) y reposar 15 minutos en penumbra total. Finalmente leer las muestras en el espectrofotómetro a 734 nm.

DPPH

La capacidad antioxidante mediante la metodología (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) se midió utilizando ácido ascórbico (MEYER, México) para la calibración de la curva estándar. Los resultados se expresaron en mg por 100 g de peso fresco. La solución de DPPH se preparó con metanol al 80 % y se agitó durante 3 horas. Posteriormente, se midió la solución con un espectrofotómetro a 517 nm y se calibró a una lectura de 0.7 ± 0.02 . La reacción incluyó 100 μ L del extracto de muestra y 3 mL de la solución de DPPH ajustada, y se incubó en oscuridad durante 30 minutos. Por último, se midió la absorbancia a 517 nm con un espectrofotómetro (Thermo Fisher, Scientific, Genesys G10S, China).

FRAP

El poder antioxidante reductor férrico (FRAP) se evaluó según Benzie y Strain (1996). Se utilizó ácido ascórbico para la curva estándar, con valores de 0 a 100 mg L⁻¹. Los datos se presentaron en mg por 100 g de peso fresco. Para preparar el reactivo FRAP, se combinaron 25 mL de solución de acetato de sodio (3 mM, pH ajustado a 3.6 con ácido clorhídrico 40 mM) con 2.5 mL de cloruro ferrico hexahidratado (30 mM), seguido de la adición de 2,5 mL de solución de TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina a 10 mM). En la reacción, se introdujeron 100 μ L

del extracto de muestra en un tubo de ensayo, posteriormente se añadieron 1.9 mL del reactivo FRAP y se agitó vigorosamente en un vórtex (DAIGGER G.560, Estados Unidos) y se incubó durante 30 minutos en una estufa de secado (LUZEREN DHG9070A) a 37 °C. Finalmente se determinó la absorbancia a 593 nm con el espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific GENESYS G10S, China)

Diseño experimental y análisis estadístico

El estudio se estableció en dos experimentos, correspondientes a ambos cultivares. Los tratamientos de NaCl se distribuyeron en un experimento completamente al azar con tres repeticiones de 3 plantas cada repetición. Se realizó un análisis de varianza con SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.) y cuando se detectó significancia, se realizó una comparación múltiple de medias utilizando la prueba de Duncan con $P < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento

El cultivar Polka dot mostró un mayor crecimiento en comparación con Valiant ya que el peso seco de hojas, tallos y flores, así como la altura y el diámetro de la planta fue mayor (Cuadro 1). Sin considerar los cultivares, la salinidad causó una reducción significativa en el peso seco de tallos y flores, así como en la altura y diámetro de las plantas (Cuadro 1).

La interacción significativa indica que en Polka dot el peso seco de hojas disminuyó de manera lineal al elevarse la salinidad en la solución nutritiva, mientras que en Valiant no se observa un efecto significativo (Figura 1). El peso seco de tallos y flores mostró una respuesta similar en ambos cultivares, disminuyendo significativamente en Polka dot cuando la concentración de NaCl fue de 20 mmol, mientras que en Valiant no hubo efecto significativo (Figura 1). El peso seco de raíz no mostró una tendencia consistente.

Los resultados obtenidos indican que el cultivar Polka dot tiene un hábito de crecimiento más vigoroso que el de Valiant, lo cual se demuestra en la mayor acumulación de biomasa en las hojas, tallos y flores; sin embargo, al elevarse la salinidad esta biomasa disminuyó marcadamente, especialmente en las hojas y tallos. Villarino y Mattson (2011) reportaron que este cultivar es “algo tolerante” a la salinidad debido a que el peso seco disminuye entre 70% y 90% cuando se riega con soluciones con 80 mmol NaCl en comparación con plantas irrigadas con soluciones con 0 mmol NaCl; en el presente estudio, la reducción en el peso seco total fue del 27% al utilizar soluciones nutritivas con 35 mmol de NaCl. Sin embargo, los resultados señalan que Polka dot se puede considerar como un cultivar no tolerante a la salinidad ya que no mostró efectos significativos en la biomasa de hojas, tallos, raíces y flores al irrigarse con soluciones con 10 mmol de NaCl, mientras que con 20 mmol si se redujeron significativamente casi todos los parámetros de crecimiento. Polka dot es un cultivar que también ha mostrado

reducciones en la altura y ancho de las plantas (Villarino y Matsson, 2011), lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio cuando las plantas de ambos cultivares se irrigaron con 20 mmol de NaCl. Se ha señalado que la salinidad por lo general tiene un efecto reducido sobre el peso seco de las raíces (García-Caparrós y Lao, 2018), lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que no se detectó una disminución significativa, sino más bien un incremento en el peso seco de raíz en plantas tratadas con 10 mmol de NaCl. El efecto de la salinidad en el crecimiento de la parte aérea de las plantas se ha atribuido a un efecto negativo sobre la fotosíntesis, tasa transpiratoria y a una modificación en las relaciones hídricas (Cassaniti *et al.*, 2012; Choi *et al.*, 2018; Negrão *et al.*, 2017; García-Caparrós y Lao 2018).

En comparación con Polka dot, Valiant mostró un crecimiento más limitado, sin embargo, este cultivar resultó ser más tolerante a la salinidad ya que la biomasa de hojas, tallos, raíces y flores no fue afectada significativamente aun con niveles de 35 mmol de NaCl. De acuerdo con Marković *et al.* (2022), vinca muestra un nivel de tolerancia a la salinidad de hasta aproximadamente 3 dS m⁻¹, aunque los resultados muestran que el cultivar Valiant fue tolerante hasta 5.2 dS m⁻¹, mientras que Polka dot toleró solamente hasta 2.7 dS m⁻¹. Wani *et al.* (2020) señaló que existen varios mecanismos por los cuales las plantas pueden resultar tolerantes al estrés por salinidad, entre ellos se cita la síntesis de osmolitos y poliaminas, así como el mantenimiento del balance hormonal. Entre los efectos causados por el estrés salino se menciona que las plantas responden produciendo especies reactivas de oxígeno, como el radical superóxido (O₂^{·-}), peróxido de hidrogeno (H₂O₂), el radical hidroxilo (HO[·]), y el oxígeno singlete (¹O₂) (Aakyol *et al.*, 2020), las cuales causan una peroxidación de los lípidos de las membranas de las células, con lo que se pierde la integridad y capacidad de regulación del transporte iónico, además de oxidar proteínas y los ácidos nucleicos. Algunas plantas han desarrollado mecanismos para la detoxificación de especies reactivas de oxígeno, entre las que se incluyen antioxidantes enzimáticos (superóxido dismutasa, catalasa, peroxidasa, ascorbato peroxidasa

y glutatión peroxidasa) y no enzimáticos (ascorbato, compuestos fenólicos, flavonoides, alcaloides, tocoferol, aminoácidos no proteínicos, etc.), para balancear a las especies reactivas de oxígeno (Hasanuzzaman *et al.*, 2021).

Cuadro 1. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en el crecimiento y peso seco de plantas de vinca cultivar Polka dot.

Factor	Nivel	Hojas	Tallo	Raíz	Flores	Altura (cm)	Diámetro de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
		Peso seco (g)						
Cvr	Polka dot	7.48a	2.10a	1.13	2.92a	23.3a	24.4a	7.45
	Valiant	3.49b	1.15b	1.18	1.06b	17.2b	19.4b	6.22
NaCl mmol	0	6.95	1.91a	1.10	2.37a	21.7a	22.8a	7.95
	10	5.75	1.84a	1.50	1.92ab	21.4a	23.9a	6.50
	20	4.67	1.14b	0.92	1.43b	16.9b	19.0b	6.19
	35	4.55	1.60ab	1.12	2.25a	21.0a	22.0ab	6.73
Anova	Cultivar	P=0.001	P<0.001	P=0.841	P<0.001	P<0.001	P<0.001	P=0.167
	NaCl	P=0.214	P=0.027	P=0.452	P=0.018	P=0.008	P=0.018	P=0.479
	Interacción	P=0.429	p=0.017	P=0.038	P=0.081	P=0.220	P=0.191	P=0.289

Promedios seguidos de diferentes letras indica efectos significativos de acuerdo con la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

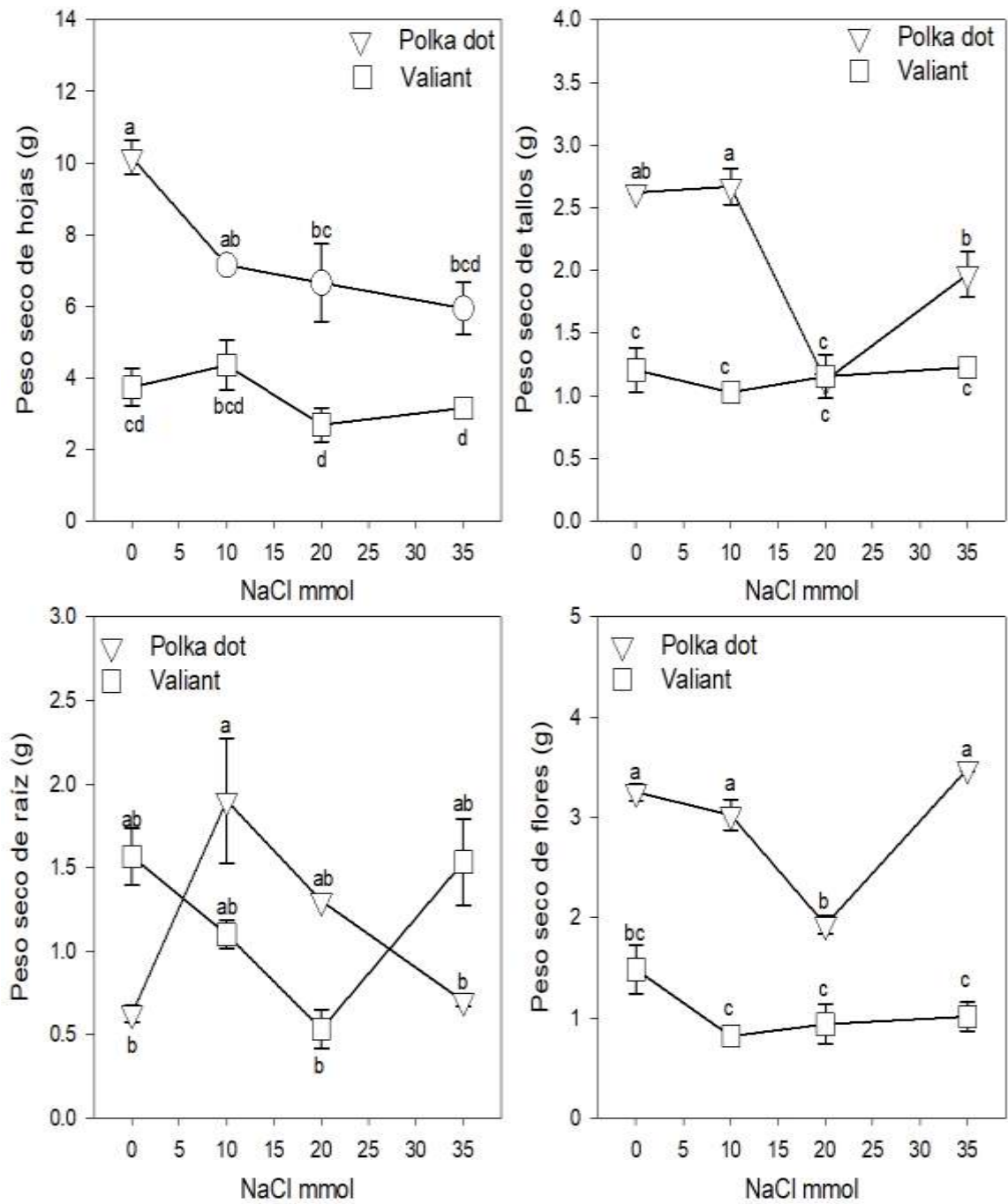


Figura 1. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en el peso seco de plantas de vinca. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Química analítica

Con excepción del DPPH, la capacidad de antioxidantes no fue afectada por los tratamientos (Cuadro 2), sin embargo, en la Figura 2 se puede observar que la actividad antioxidante por DPPH fue mayor el Polka dot en comparación con Valiant, en tanto que, mediante el FRAP, esta fue mayor en Valiant, al menos con niveles de salinidad de 0 a 20 mmol de NaCl. El contenido de fenoles no fue afectado por la salinidad, sin embargo, la concentración de flavonoides fue mayor en plantas e Polka dot cuando se irrigaron con solución con 35 mmol de NaCl, mientras que los azúcares totales fue mayor en plantas del tratamiento control (Figura 3). Si bien los flavonoides y azúcares totales en Valiant fueron menores que los de Polka dot, estos no fueron afectados por la salinidad (Figura 3).

En el presente estudio se observó que aunque Polka dot fue más sensible a la salinidad, este cultivar produce una mayor cantidad de antioxidantes determinados por la técnica DPPH, así como de flavonoides, lo que sugiere que un aumento en la capacidad antioxidante no necesariamente conlleva a un aumento en la tolerancia a la salinidad (Guzmán y Marques 2023); sin embargo, la tolerancia de Valiant a la salinidad estuvo relacionada con un aumento del 36% en la capacidad antioxidante cuantificado mediante la técnica DPPH en plantas irrigadas con soluciones de 35 mmol de NaCl, la cual llega a ser estadísticamente similar a la de las plantas de Polka dot.

Cuadro 2. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en la capacidad antioxidante y componentes metabolitos en hojas de vinca.

Factor	Nivel	Capacidad antioxidante			Fenoles EAA/100 g PF	Flavonoides EQ/100 g PF	Azúcares Totales mg g ⁻¹
		DPPH μmol Fe ²⁺ g ⁻¹	FRAP μmol Fe ²⁺ g ⁻¹	ABTS TE g ⁻¹			
Cultivar	Polka dot	72.6a	21.1	123.5	174.7	1177.5a	18.0a
	Valiant	48.2b	27.1	112.1	161.0	1031.5b	14.5b
NaCl mmol	0	53.3	28.5	113.9	168.5	1066.6	19.9a
	10	52.5	21.0	124.1	179.3	1169.9	14.5b
	20	65.1	27.5	123.2	154.7	1031.3	15.1b
	35	70.8	19.4	110.0	168.9	1150.3	15.4b
Anova	Cultivar	P=0.014	P=0.099	P=0.380	P=0.551	P=0.041	P=0.016
	NaCl	P=0.407	P=0.197	P=0.824	P=0.896	P=0.041	P=0.039
	Interacción	P=0.750	P=0.288	P=0.834	P=0.629	P=0.517	P=0.132

Promedios seguidos de diferentes letras indica efectos significativos de acuerdo con la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

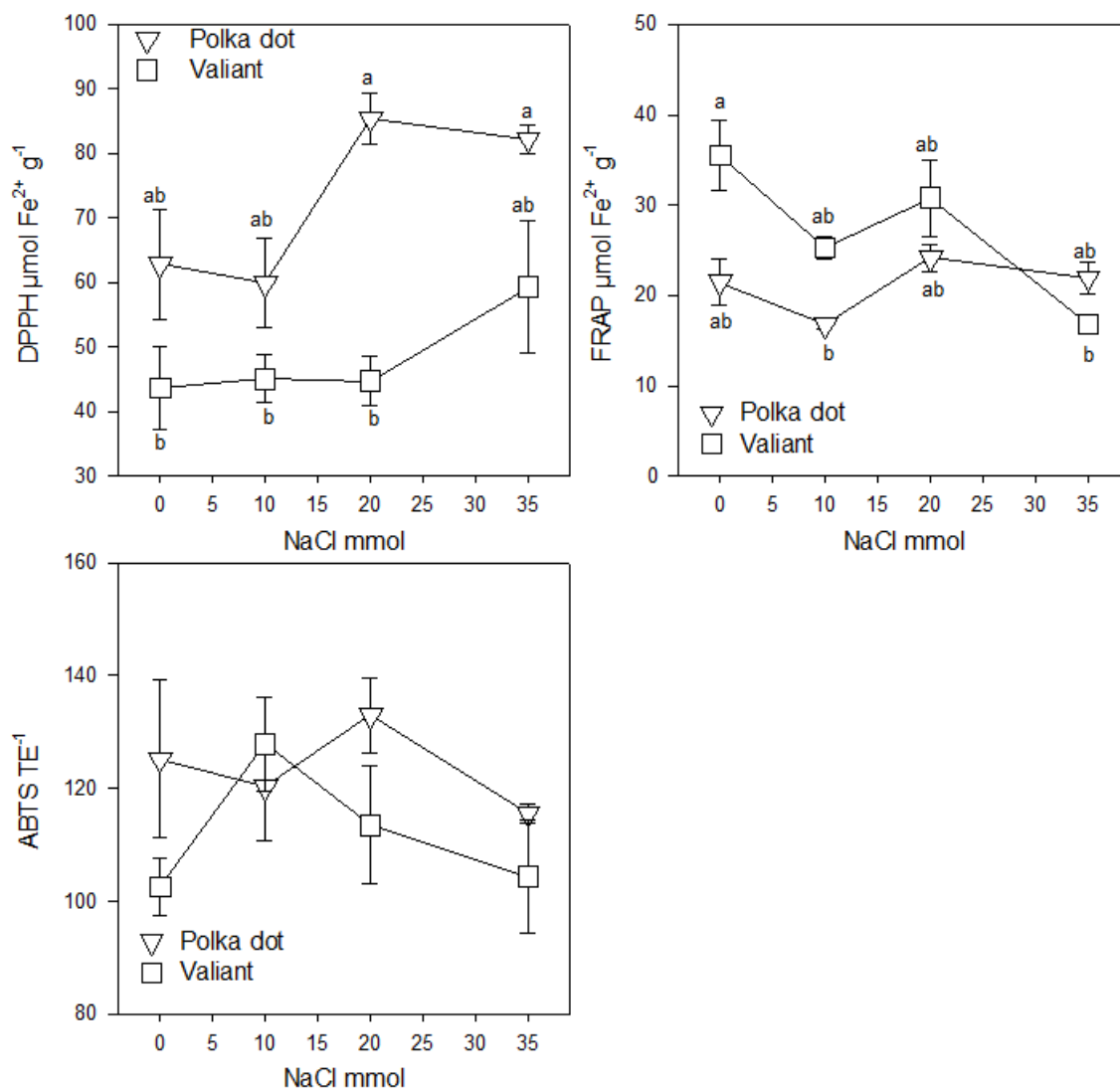


Figura 2. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en el peso seco de plantas de vinca. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

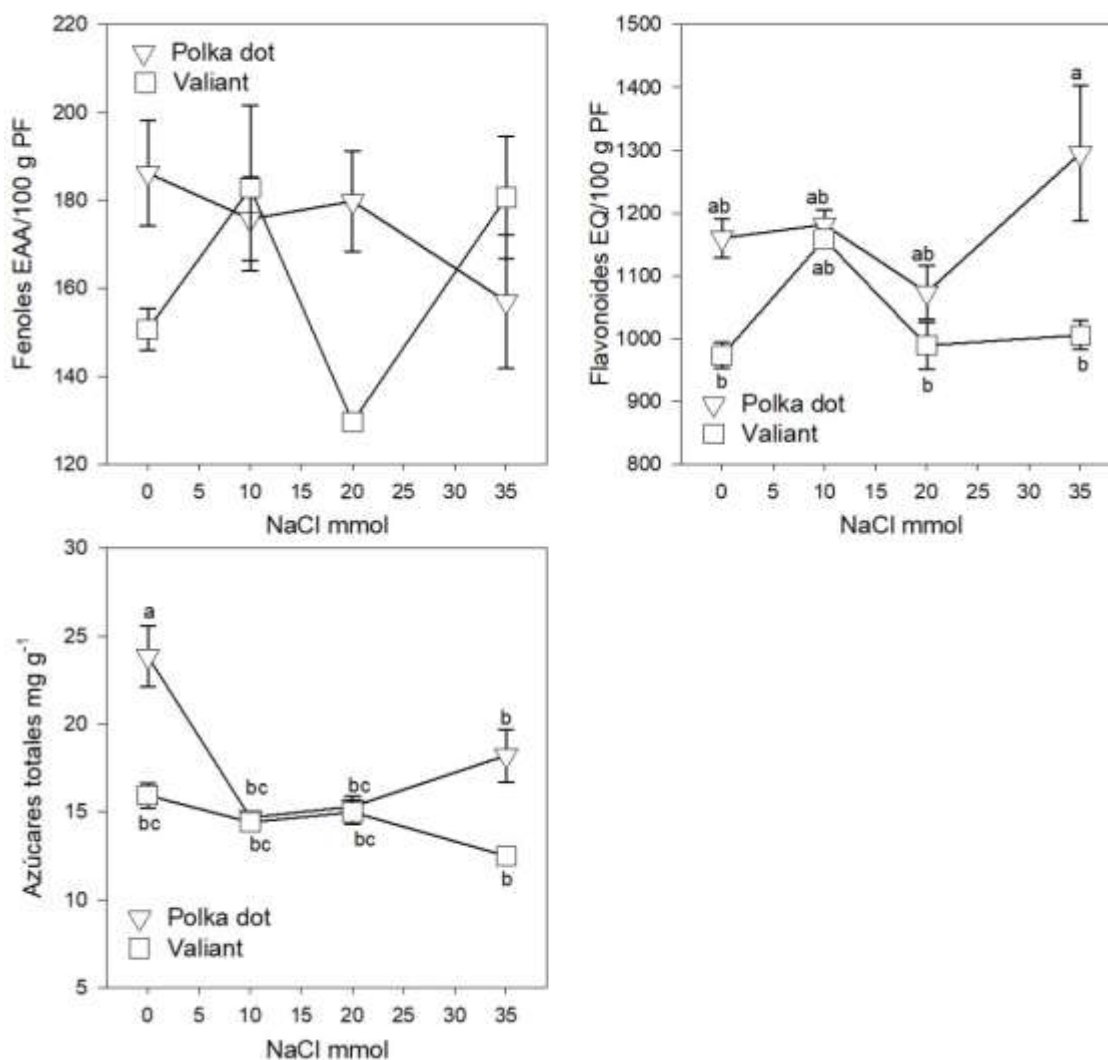


Figura 3. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en el contenido de metabolitos en hojas de vinca. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Análisis Nutricional

El estrés causado por la salinidad produjo un desbalance nutricional en las plantas de vinca cv Polka dot. La concentración foliar de N tendió a aumentar (Figura 4), mientras que el P y K (Figura 4) y el Ca (Figura 5) disminuyeron significativamente. En relación a las plantas del tratamiento control, la reducción de P y K llegaron a ser de hasta el 22 % y 33 %, respectivamente, mientras que en el caso del Ca esta fue del 12 %.

Una limitada tolerancia a la salinidad se ha asociado con una baja absorción y acumulación de nutrimentos (Nawaz *et al.*, 2020). En plantas ornamentales se ha señalado que la salinidad, además de reducir el crecimiento también afecta la capacidad de abastecimiento de nutrientes a la parte aérea de las plantas (Negrão *et al.*, 2017; García-Caparrós y Lao 2018). En el caso de que la salinidad sea causada por exceso de Na y Cl, la tasa de absorción y concentración de estos iones aumenta, reduciendo los nutrimentos esenciales en la planta; el Na y el Cl alteran las relaciones hídricas, causando un estrés hiperosmótico, por lo que las plantas responden de manera similar a como responden al estrés hídrico al disminuir el potencial hídrico y la absorción de agua (Hasanuzzaman *et al.*, 2021; Wani *et al.*, 2020), resultando en un estrés osmótico que viene a alterar la conductancia estomática y la fotosíntesis. En el presente estudio, el Na y el Cl en el cultivar Polka dot se acumularon marcadamente en las hojas, lo que sugiere que el efecto de esos iones sobre el potencial hídrico pudo afectar la expansión celular y, por lo tanto, el crecimiento de las plantas, además de afectar la fotosíntesis y la acumulación de biomasa (Dai *et al.*, 2014) como se ha reportado en vinca (Idrees *et al.*, 2011).

La acumulación del Na y el Cl pudieron haber causado una competencia con la absorción de otros iones de valencia similar, como se observó en el presente estudio; por ejemplo, la acumulación de Na pudo haber disminuido la absorción de cationes como el K y Ca mientras que la de Cl pudo haber afectado la absorción de P, el cual es absorbido en forma de H_2PO_4^- . Asimismo, la reducción en la absorción de K y Ca puede explicar el aumento en la acumulación de Mg (Figura 5) en las hojas de vinca debido al antagonismo que existe entre cationes para mantener un balance de cargas (Coskun y White 2023; Rhodes *et al.*, 2016; Tang y Luan 2016), ya que al disminuir la concentración de iones antagonistas se facilita la absorción y acumulación de Mg. Xie *et al.* (2021) y Ding *et al.* (2006) han señalado que la relación de entre el K y el Mg puede llegar a ser de antagonismo, aunque también puede ser sinérgica, lo cual depende de la especie cultivada (Xie *et al.*, 2021); sin embargo, la evidencia mostrada en este

estudio indica que en vinca si existe un antagonismo entre estos iones. Kausar y Gull (2019) también han reportado que, en la parte aérea, así como en las raíces de sorgo, se presenta una disminución en la acumulación no solo de Mg sino también de P por efecto de la salinidad causada por NaCl, lo que coincide con los resultados obtenidos en este estudio. Khosh Kholgh Sima *et al.* (2012) y Xie *et al.* (2022) atribuyen la reducción en la acumulación de P bajo condiciones de salinidad a una disminución en la actividad del ion H_2PO_4^- , mientras que aumenta la proporción de fósforo inorgánico estable.

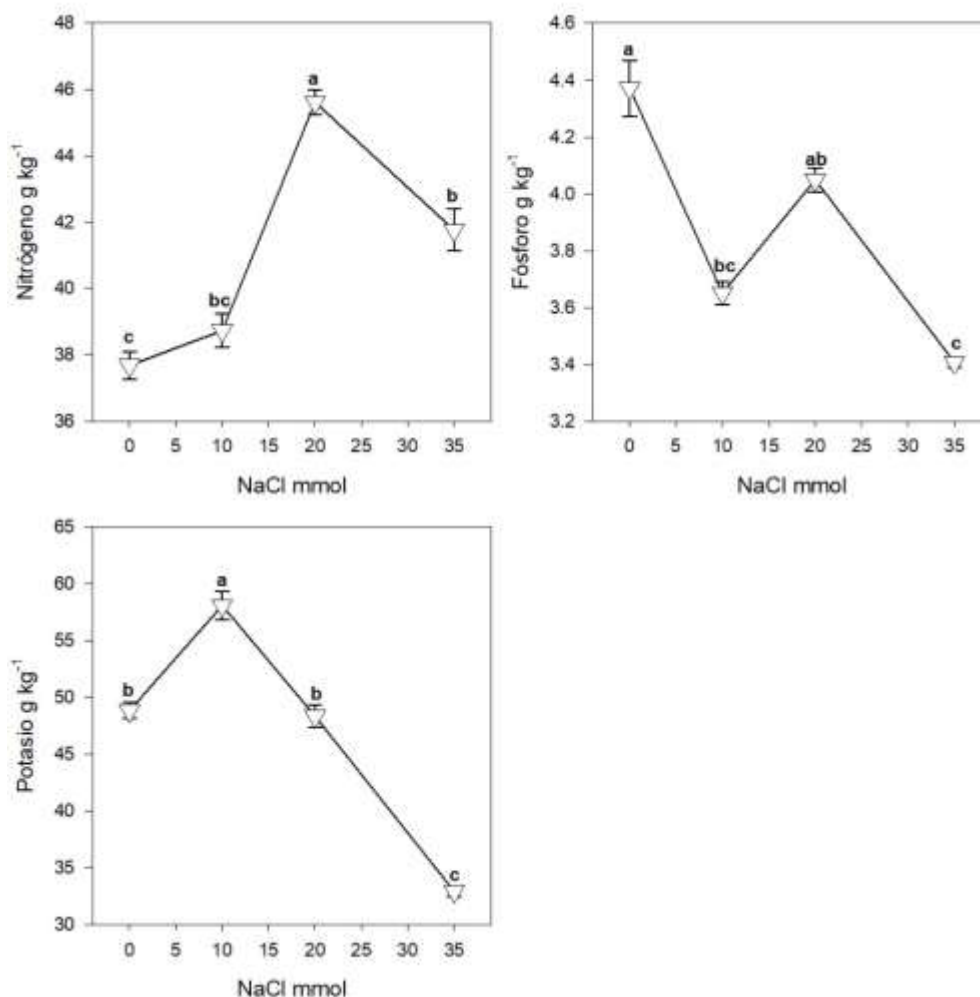


Figura 4. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en la concentración foliar de nitrógeno, fósforo y potasio en vinca cv. Polka dot. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan $p < 0.05$.

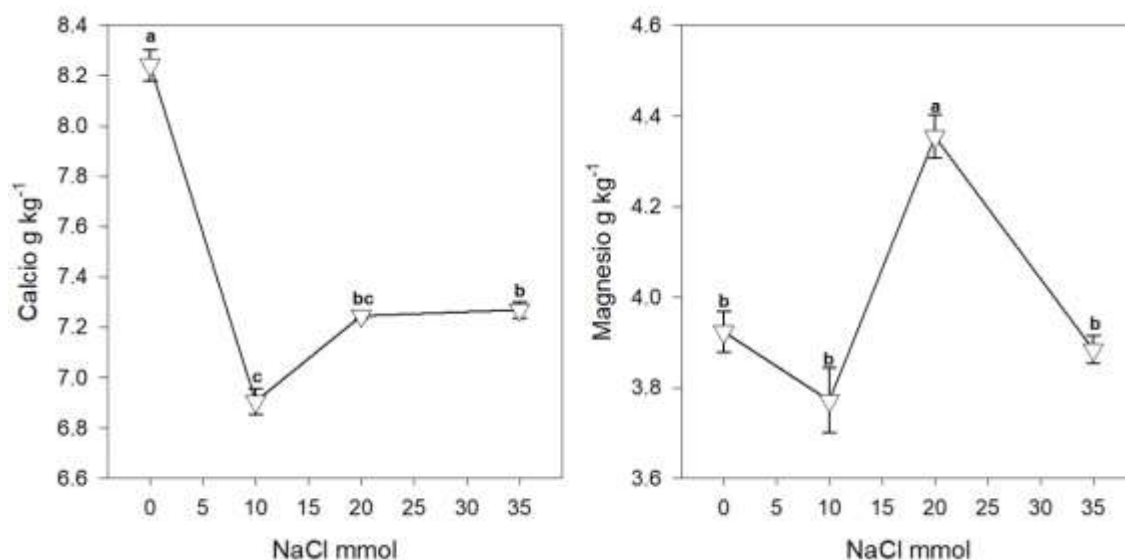


Figura 5. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en la concentración foliar de calcio y magnesio en vinca cv Polka dot. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Sodio y cloro

El Mg (Figura 5), así como el Na y el Cl (Figura 6) aumentaron significativamente en las hojas de las plantas irrigadas con soluciones conteniendo altas concentraciones de NaCl. En el caso del Mg, este aumentó en 11% con 20 mmol de NaCl, mientras que el Na y el Cl aumentaron en 293 % y 121 %, respectivamente.

El Na no es considerado un nutrimento esencial, sin embargo, se le puede considerar como un elemento “funcional” en algunas especies en las cuales estimula el crecimiento y puede reemplazar parcialmente algunas funciones del K, como lo es el ajuste osmótico en la vacuola, la regulación de la turgencia celular y su papel como ion acompañante en el transporte a larga distancia (Nieves-Cordones *et al.*, 2016). A pesar de esto, en altas concentraciones, el Na compete con la absorción de K, mientras que desplaza el Ca de las paredes y membranas celulares (Cramer *et al.*, 1985), lo que se manifiesta en la pérdida de la integridad de las membranas (Arshad *et al.*, 2012), lo cual explica los resultados obtenidos

en cuanto a la disminución en la concentración foliar de K y Ca. Cartmill *et al.* (2013) también reportaron una disminución significativa en la concentración de K y Ca en hojas de plantas de vinca sometidas a salinidad por NaCl.

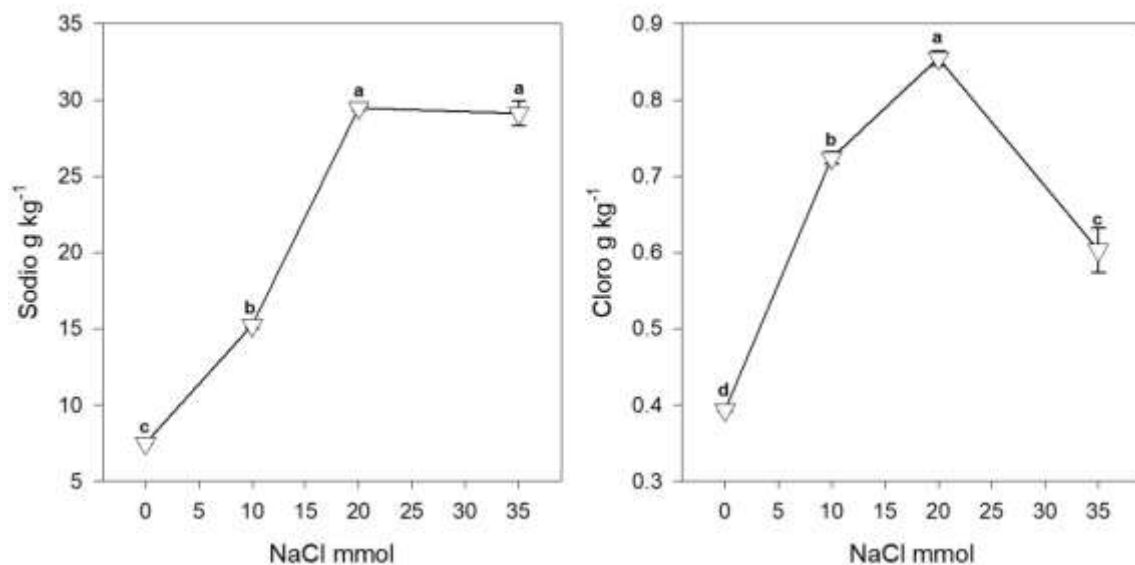


Figura 6. Efecto de la salinidad por NaCl en el agua de riego en la concentración foliar de sodio y cloro en vinca cv Polka dot. Las barras representan el error estándar de la media. Símbolos con diferente letra indica diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

CONCLUSIÓN

La tolerancia a la salinidad por NaCl dependió del cultivar utilizado, ya que mientras Polka dot mostró un crecimiento aceptable a niveles de 10 mmol de NaCl, Valiant no mostró una reducción significativa incluso a niveles de 35 mmol. La tolerancia de Valiant estuvo asociada con un incremento en la capacidad antioxidante cuando las plantas se irrigaron con soluciones que contenían 35 mmol de NaCl, sin embargo, aunque las plantas de Polka dot tienen una mayor capacidad antioxidante que las de Valiant, esto no fue suficiente para impartirles tolerancia al estrés salino. La baja tolerancia de Polka dot estuvo asociada con una excesiva acumulación de Na y Cl en las hojas, lo que ocasionó una reducción en la acumulación de K, Ca, y P.

REFERENCIAS

- Acosta-Motos, J.R., Díaz-Vivancos, P., Álvarez, S., Fernández-García, N., Sánchez-Blanco, M.J. y Hernández, J. A. (2014). Physiological and biochemical mechanisms of the ornamental *Eugenia myrtifolia* L. plants for coping with NaCl stress and recovery. *Planta* 242:829–846. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2315-3>
- Akyol, T.Y., Yilmaz, O., Uzilday, B., Uzilday, R. Ö. y Türkan, I. (2020). Plant response to salinity: An analysis of ROS formation, signaling, and antioxidant defense. *Turkish Journal of Botany* 44:1–13. <https://doi.org/10.3906/bot-1911-15>
- Allamsetty, J. S. P., Pedada, N. y Kolli, D. (2020). A basic Review on *vinca rosea*. *International journal of Pharmacognosy and Chemistry* 31:36.
- Alfonso-Molina, A. (2018). La influencia del estrés abiótico en la síntesis de metabolitos secundarios de plantas medicinales. Universidad de La Laguna. España.
- Arshad, M., Saqib, M., Akhtar, J. y Ashgar, M. (2012). Effect of calcium on the salt tolerance of different wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 49:497–504.
- Artavia, M. M., Cordero, J.P., Torres, L. F. A. y Díaz, I.G. (2020). Metabolitos secundarios con actividad medicinal extraídos de hongos provenientes de Centroamérica. *Tecnología en Marcha* 33:80-89. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i3.4416>
- Bakar, N. I. A., Mansor, M., y Harun, N. Z. (2014). Vertical greenery system as public art? Possibilities and challenges in Malaysian urban context. Department of Landscape Architecture, Kulliyyah of Architecture and Environmental Design. Kuala Lumpur, Malaysia
- Banskota, A. H. (2002). Antiproliferative activity of Vietnamese medicinal plants. *Biological Pharmaceutical Bulletin* 25:753-760. <https://doi.org/10.1248/bpb.25.753>
- Barkla, B. J., Vera-Estrella, R., Balderas, E. y Pantoja, O. (2007). Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Biotecnología* 14:263–272.
- Berdonces, I. y Serra, J. L. (2002). Gran enciclopedia de las plantas medicinales. Barcelona, España: Tikal.
- Cabrera, R. I., Solís-Pérez, A. R. y Cuervo-Bejarano, W. J. (2017). Tolerancia y manejo de salinidad, pH y alcalinidad en cultivos de flores. En Consideraciones sobre producción, manejo y poscosecha de flores de

- corte con énfasis en rosa y clavel Ed. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia (pp. 63–73).
- Cartay, R. y Chaparro-Martínez, E. X. I. O. (2020). Usos Turísticos de la Biodiversidad en la Región Amazónica Ecuatoriana. *Rosa dos Ventos* 12:484-504. <https://doi.org/10.18226/21789061.v12i3p484>
- Cartmill, A. D., Valdez-Aguilar, L. A., Cartmill, D. L., Volder, A. y Alarcon, A. (2013). Arbuscular mycorrhizal colonization does not alleviate sodium chloride-salinity stress in vinca [*Catharanthus roseus* (L.) G. don]. *Journal of Plant Nutrition* 36: 164-178. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.738275>
- Cassaniti, C., Romano, D. y Flowers, T. J. (2012). The response of ornamental plants to saline irrigation water. In M. Garcia-Garizabal (Ed.), *Irrigation-water management, pollution and alternative strategies* (pp. 131–158).
- Choi, H. S., Cai, X. y Gu, M. (2018). Effects of salinity and drought stress on photosynthesis, growth, and development of ornamental plants. In M. Pessaraki (Ed.), *Handbook of photosynthesis* (pp. 651–661). CRC Press.
- Coskun, D. y White, P. J. (2023). Ion-uptake mechanisms of individual cells and roots: Short-distance transport. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of plants* (3rd ed., pp. 11–71). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00002-9>
- Cragg, G. M. y Newman, D. J. (2005). Plants as a source of anti-cancer agents. *Journal of Ethnopharmacol*:72–79. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.05.011>
- Cramer, G. R., Läuchli, A. y Polito, V. S. (1985). Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from the plasmalemma of root cells: A primary response to salt stress? *Plant Physiology* 79:207–211. <https://doi.org/10.1104/pp.79.1.207>
- Dai, J. L., Duan, L. S. y Dong, H. Z. (2014). Improved nutrient uptake enhances cotton growth and salinity tolerance in saline media. *Journal of Plant Nutrition* 37:1269–1286. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.881869>
- De la Rosa-Mera, C. J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Sánchez-Colín, M. D. y Muñoz-Muñiz, O. D. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi and potassium bicarbonate enhance the foliar content of the vinblastine alkaloid in *Catharanthus roseus*. *Plant and Soil* 349:367–376. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0883-y>
- Diego, P. N. y Fonseca, R. M. (2004). *Apocynaceae*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de ciencias. México.

- Ding, Y., Luo, W. y Xu, G. (2006). Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. *Annals of Applied Biology* 149:111–123. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00080.x>
- Dubey, A., Tiwari, D., Srivastava, K., Prakash, O. y Kushwaha, R. (2020). A discussion on vinca plant. *Journal Pharmacognosy Phytochemistry* 9:27-31.
- Ehsan, N., Nawaz, R., Ahmad, S., Arshad, M., Umar, M. y Mahmood, R. (2016). Use of ornamental plant 'Vinca' (*Vinca rosea L.*) for remediation of lead-contaminated soil. *Journal of Biodiversity and Environmental Science* 8:46-54.
- Escalona, A., Salas-Sanjuán, M. C., Dos Santos, C. y Guzmán, M. (2014). Efecto de aguas salinas sobre el crecimiento, concentración y relaciones de iones en *Zinnia elegans* y *Tagetes erecta* para su uso en jardinería urbana. *ITEA Información Técnica Económica Agraria* 110: 325–334. <https://doi.org/10.12706/itea.2014.020>
- Espinal-Calani, J. A. y Del Castillo-Gutiérrez, C. R. (2018). Uso de las luces LED en la producción agrícola. *Revista Estudiantil AGRO-VET* 2:273–276.
- Ferreres, F., Pereira, D. M., Valentão, P. C., Andrade, P. B., Seabra, R. M. y Sottomayor, M. (2008). New phenolic compounds and antioxidant potential of *Catharanthus roseus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.56:9967–9974.
- García-Caparros, P. y Lao, M. T. (2018). The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Scientia Horticulturae* 240:430–439. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.022>
- García-Jiménez, A. L. (2009, octubre 8). Introducción a las plantas medicinales en México [Conferencia]. Jornada sobre Plantas Medicinales, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Casa Libertad, Iztapalapa, México D.F.
- Guzmán, M. R. y Marques, I. (2023). Effect of varied salinity on marigold flowers: Reduced size and quantity despite enhanced antioxidant activity. *Agronomy* 13:3076. <https://doi.org/10.3390/agronomy13123076>
- Hasanuzzaman, M., Raihan, M. R. H., Masud, A. A.C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., ... Fujita, M. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences* 22:9326. <https://doi.org/10.3390/ijms22179326>
- Hussain, M. S., Faree, S., Ansari, M. S., Rahman, A., Ahmad, I. Z. y Saeed, M. (2012). Current approaches toward production of secondary plant metabolites. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences* 4:10–20. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.92725>

- Idrees, M., Naeem, M., y Khan, M. M. A. (2010). The superiority of cv 'rosea' over cv 'alba' of periwinkle (*Catharanthus roseus* L.) in alkaloid production and other physiological attributes. *Turkish Journal of Biology* 34:81–88. <https://doi.org/10.3906/biy-0808-11>
- Idrees, M., Naeem, M., Aftab, T., Khan, M. M. A. y Moinuddin, F. (2011). Salicylic acid mitigates salinity stress by improving antioxidant defence system and enhances vincristine and vinblastine alkaloids production in periwinkle [*Catharanthus roseus* (L.) G. Don]. *Acta Physiologiae Plantarum* 33:987–999. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0631-6>
- Izco, J., Barreno, E., Brugués, M., Costa, M., Devesa, J. y Fernández, F. (2005). *Botánica*, 2ª ed. McGraw-Hill-Interamericana. Madrid, España.
- Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, y Kim, K. M. (2021). Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. *Agronomy* 11: 1–31. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050968>
- Jiménez, L. (2016). Efecto de la intensidad lumínica de lámparas LED en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*). Facultad de Educación Técnica Para el Desarrollo. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Kausar, A. y Gull, M. (2019). Influence of salinity stress on the uptake of magnesium, phosphorus, and yield of salt susceptible and tolerant sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Applied Biology and Biotechnology* 7:53–58. <https://doi.org/10.7324/JABB.2019.70310>
- Khos-Kholgh Sima N. A., Ahmad, S. T., Alitabar, R. A., Mottaghi, A. y Pessarakli, M. (2012). Interactive effects of salinity and phosphorus nutrition on physiological responses of two barley species. *Journal of Plant Nutrition* 35:1411–1428. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.684132>
- Lewis, W. H. (1982). Plants for man: their potential in human health. *Canadian Journal of Botany* 60:310-315.
- Liu, D., Jin, H., Chen, Y., Cui, L., Ren, W., Gong, Y. Gao, F. (2007). Biosynthesis of indole alkaloids and metabolic engineering in *Catharanthus roseus*. *Journal of integrative Plant Biology* 49:961-974.
- Llopart, N. E. (2016). Las plantas medicinales como fuente de compuestos antineoplásicos Universidad Complutense de Madrid, España.
- Malikov, V. M. y Yunusov, S. Y. (1977). Vinca alkaloids. *Chemistry of Natural Compounds*, 13: 497–512. <https://doi.org/10.1007/BF00931429>
- Marković, M., Šoštarić, J., Kojić, A., Popović, B., Bubalo, A., Bošnjak, D. y Stanisavljević, A. (2022). Zinnia (*Zinnia elegans* L.) and periwinkle

- (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don) responses to salinity stress. *Water* 14:1066. <https://doi.org/10.3390/w14071066>
- Martínez, M. F. (s.f.). Guía para el cultivo de vinca (*Catharanthus roseus*). Nombre común: Teresita.
- Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J. y Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1: 26–35.
- Miñano, E. V., Baker, T. R., Banda, K., Coronado, E. H., Monteagudo, A., Phillips, O. L. y Martínez, R. V. (2018). El sumidero de carbono en los bosques primarios amazónicos es una oportunidad para lograr la sostenibilidad de su conservación. *Folia Amazónica*, 27:101-109. <https://doi.org/10.24841/fa.v27i1.456>
- Misra, N., y Gupta, A. K. (2006). Effect of salinity and different nitrogen sources on the activity of antioxidant enzymes and indole alkaloid content in *Catharanthus roseus* seedlings. *Journal of Plant Physiology* 163:11–18. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.02.009>
- Muñoz-Cendales, D. y Cuca Suárez, L. (2016). Compuestos citotóxicos de origen vegetal y su relación con proteínas inhibidoras de apoptosis (IAP). *Revista Colombiana de Cancerología* 20:124-34. <https://doi.org/10.1016/j.rccan.2016.05.005>
- Nawaz, F., Shehzad, M. A., Majeed, S., Ahmad, K. S., Aqib, M., Usmani, M. M. y Shabbir, R. N. (2020). Role of mineral nutrition in improving drought and salinity tolerance in field crops. In M. Hasanuzzaman, K Nahar, M Fujita, SH Wani (Eds.), *Agronomic crops: Volume 3: Stress responses and tolerance* (pp. 129–147). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0025-1_8
- Negrão, S., Schmöckel, S. M. y Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany* 119:1–11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>
- Nejat, N., Valdiani, A., Cahill, D., Tan, Y. H, Maziah, M. y Abiri, R. (2015). Ornamental exterior versus therapeutic interior of Madagascar periwinkle (*Catharanthus roseus*): The two faces of a versatile herb. *Scientific World Journal* 2015:1–19. <https://doi.org/10.1155/2015/982412>
- Nieves-Cordones, M., Al Shiblawi, F. R, Sentenac H. (2016). Roles and transport of sodium and potassium in plants. In A Sigel, H Sigel, RKO Sigel (Eds.), *The alkali metal ions: Their role for life* (pp. 291–324). Springer International Publishing.
- Nisar, A., Mamat, A. S., Hatim, M. I., Aslam, M. S., & Syarhabil, M. (2016). An updated review on *Catharanthus roseus*: phytochemical and

pharmacological analysis. *Indian Research Journal of Pharmacy and Science* 3:631-653.

- Ocegueda, S., Moreno, E. y Koleff, P. (2005). Plantas utilizadas en la medicina tradicional y su identificación científica. *Biodiversitas*, 62:12–15.
- Oliveira, M. A, Velázquez, D. y Bermúdez, A. (2005). La investigación etnobotánica sobre plantas medicinales: Una revisión de sus objetivos actuales. *InterCiencia*, 30(7), 453–459.
- Orosco-Alcalá, B. E., Núñez-Paleniús, H. G., Pérez-Moreno, L. Valencia-Posadas, M., Trejo-Téllez, L. I., Díaz-Serrano, F. R., Ruiz-Nieto, J. E. y Abraham-Juárez, M. R. (2018). Tolerancia a salinidad en plantas cultivadas: Una visión agronómica. *AgEcon Search*, 11(7), 57–57.
- Pérez, K., y Sandoval, E. (2014). Comportamiento fisiológico de plantas de rábano (*Raphanus sativus* L.) sometidas a estrés por salinidad. *Conexagro JDC*, 4: 11–22.
- Pérez, M. J., Silva, T. D. y Lao, M. T. (2006). Light management in ornamental crops. In J. A. Teixeira da Silva (Ed.), *Floriculture, ornamental and plant biotechnology* (pp. 683–694). UK: Global Science Books.
- Portal, R., Lameira, O., De Assis, R. M. A. y Medeiros, A. (2014). Caracterização fenológica da espécie *Catharanthus roseus* [L.] G. In Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Seminário de iniciação científica, 18.; seminário de pós graduação da Embrapa Amazônia Oriental, 2., 2014, Belém, PA. Anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental.
- Ramos, Y. y Ramírez, E. (2016, noviembre 22). Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores – vertical farming (VF). Colombia.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Rhodes, R., Miles, N. y Hughes, J. C. (2018). Interactions between potassium, calcium and magnesium in sugarcane grown on two contrasting soils in South Africa. *Field Crops Research* 223:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.001>
- Rischer, H., Oresic, M., Seppänen-Laakso, T., Katajamaa, M., Lammertyn, F., Ardiles-Díaz, W., Van Montagu, M. C. E., Inzé, D., Oksman-Caldentey, K. M., y Goossens, A. (2006). Gene-to-metabolite networks for terpenoid indole alkaloid biosynthesis in *Catharanthus roseus* cells. *Proceedings of*

the National Academy of Sciences of the United States of America
103:5614–5619.

- Strzepek, K. y Boehlert, B. (2010). Competition for water for the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365:2927–2940.
- Tafur, V., Tello, E. G., Rodríguez, D. T., Orellana, Y. G., y Borges, J. B. (2020). Uso medicinal del *Solanun nigrum* y su relación con la presencia de metabolitos secundarios. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente* 14: 158-176. <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/2837>
- Taher, Z. M., Agouillal, F., Marof, A. Q., Dailin, D. J., Nurjayadi, M., Razif, E. N., Gomaa, S. E., y Enshasy H. A. (2019). Anticancer molecules from *Catharanthus roseus*. *Indonesiab Journal Pharmacy* 30:147-156. <https://doi.org/10.22146/ijp.39829>
- Talavera, S., Andrés, C., Arista, M., Fernández-Piedra, M. P., Gallego, M. J., Ortiz, P. L., Romero-Zarco, C. y Castroviejo, S. (2012) *Flora Iberica*. vol. XI: 102-109. Real Jardín Botánico, CSIC.
- Tang, R. J. y Luan, S. (2017). Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: From transporters to signaling network. *Current Opinion in Plant Biology* 39:97–105. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.009>
- Thakur, M., Bhattacharya, S., Khosla, P. K., y Puri, S. (2019). Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 12:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.004>
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Belmonte-Ureña, L. J. y Román-Sánchez, I. M. (2018). Sustainable water use in agriculture: A review of worldwide research. *Sustainability* 10:1084. <https://doi.org/10.3390/su10041084>
- Villarino, G. H. y Mattson, N. S. (2011). Assessing tolerance to sodium chloride salinity in fourteen floriculture species. *HortTechnology* 21:539–545. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.5.539>
- Vrabec, R., Drašar, P., Opletal, L., Kosturko, Š., Blunden, G. y Cahlíková, L. (2025). Alkaloids from the genus *Vinca roseus* L. (Apocynaceae): A comprehensive biological and structural review. *Phytochemistry Reviews*. <https://doi.org/10.1007/s11101-025-10102-z>
- Wang, S., Zheng, Z. y Weng, Y. (2004) Angiogenesis and anti angiogenesis activity of Chinese medicinal herbal extracts. *Life Science* 74:2467-2478. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.09.038>

- Wani, S. H., Kumar, V., Khare, T., Guddimalli, R., Parveda, M., Solymosi, K., ... Kavi Kishor, P. B. (2020). Engineering salinity tolerance in plants: Progress and prospects. *Planta* 251:76. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03366-6>
- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F. y Guo, S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal* 9:249–256. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005>
- Xie, W., Yang, J., Gao, S., Yao, R. y Wang, X. (2022). The effect and influence mechanism of soil salinity on phosphorus availability in coastal salt-affected soils. *Water* 14:2804. <https://doi.org/10.3390/w14182804>
- Zaman, M., Shahid, S. A. y Heng, L. (2018). Irrigation water quality. In M. Zaman, S. A. Shahid, & L. Heng (Eds.), *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* (pp. 113–131). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3>
- Zhao, J., Zhu, W. H. y Hu, Q. (2001). Effects of light and plant growth regulators on vindoline biosynthesis and other indole alkaloids in *Catharanthus roseus* callus cultures. *Plant Growth Regulation* 33:43-49. <https://doi.org/10.1023/A:1017593515000>
- Zhu, J., Wang, M., Wen, W., y Yu, R. (2015). Biosynthesis and regulation of terpenoid indole alkaloids in *Catharanthus roseus*. *Pharmacognosy Reviews* 9:24-28. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.156323>