



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

## MANEJO NUTRIMENTAL PARA CONTROLAR EL MANCHADO DEL CÁLIZ EN JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.)

DANIEL ORTEGA ENCARNACIÓN

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Manejo nutricional para controlar el manchado del cáliz en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)**, realizada por el estudiante: **Daniel Ortega Encarnación**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)

FIRMA

Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR (A)

FIRMA

Dr. Gabriel Alcántar González

ASESOR (A)

FIRMA

Dr. Javier Hernández Morales

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, septiembre de 2022

# MANEJO NUTRIMENTAL PARA CONTROLAR EL MANCHADO DEL CÁLIZ EN JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Daniel Ortega Encarnación, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

En México existe una disminución de la producción de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) debido a diversos factores. Uno de los principales es la nutrición y el mal manejo de las enfermedades. Con este escenario se estudió el efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner (SNS) y la forma de nitrógeno en el desarrollo, estado nutricional, rendimiento y calidad de cálices de jamaica y sobre la severidad de enfermedades fungosas. Se realizaron dos experimentos; el primero se evaluó la concentración porcentual de la SNS: 50, 100 y 150%; este mismo factor se combinó con la inoculación de los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*, y se midió la severidad de la enfermedad. El segundo experimento consistió en explorar la respuesta de la jamaica a la forma de nitrógeno (amonio y nitrato) en las relaciones: 0/100, 25/75 y 50/50 (%); este mismo factor se combinó con la inoculación de los hongos antes mencionados. Los tratamientos fueron evaluados bajo condiciones de invernadero, en la variedad de jamaica Tecoanapa. La SNS 150% disminuyó la altura de la planta, sin embargo, altas concentraciones (100 y 150%) aumentan el peso y número de cálices maduros. La solución nutritiva a concentraciones de 100 y 150% no disminuyó la severidad de las infecciones, pero se obtuvo un rendimiento alto de cálices comercializables. En la relación 0/100 se obtuvieron plantas de mayor tamaño con menor diámetro de tallo. Las plantas regadas con una relación 50/50 mostraron un crecimiento más bajo con mayor número de ramas. El rendimiento más elevado se obtuvo en la relación 25/75. Los hongos fitopatógenos influyeron en la concentración nutricional de jamaica combinados y de forma independiente. Un suministro nutricional óptimo en la SNS permitió, a pesar del ataque de los hongos fitopatógenos, obtener un peso y número de cálices similar al de las plantas control.

**Palabras clave:** *Hibiscus sabdariffa* L., hidroponía, hongos fitopatógenos, nitrógeno, relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .

# NUTRITIONAL MANAGEMENT TO CONTROL CALYX SPOTTING IN ROSELLE (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Daniel Ortega Encarnación, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## ABSTRACT

In Mexico there is a decrease in the production of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) due to various factors. One of the main ones is nutrition and poor disease management. In this scenario, the effect of the percentage concentration of the Steiner nutrient solution (SNS) and the form of nitrogen on the development, nutritional status, yield and quality of roselle calyxes and on the severity of fungal diseases was studied. Two experiments were set up; the first evaluated the percentage concentration of the SNS: 50, 100 and 150% on plant yield and development; this same factor (SNS) was combined with the inoculation of the phytopathogenic fungi *Coniella javanica* and *Corynespora cassiicola*, and the severity of the disease was measured. The second experiment comprised exploring the response of roselle to the form of nitrogen (ammonium and nitrate) in the ratios: 0/100, 25/75 and 50/50 (%). The form of nitrogen was combined with the inoculation of the fungi above mentioned. Both experiments were developed under greenhouse conditions using the variety of roselle Tecoaapa. The SNS 150% decreased the height of the plant, however, high concentrations (100 and 150%) increased the weight and number of mature calyxes. The nutrient solution at concentrations of 100 and 150% did not reduce the severity of the infections, but a high yield of marketable calyxes was obtained. In the 0/100 ratio, larger plants with a smaller stem diameter were obtained. Plants irrigated with a 50/50 ratio showed lower growth with a higher number of branches. The highest yield was obtained in the 25/75 ratio. Phytopathogenic fungi influenced the nutrient concentration of roselle combined and independently. An optimal nutritional supply in the SNS allowed, despite the attack of phytopathogenic fungi, to get a weight and number of calyxes similar to that of the control plants.

**Keywords:** *Hibiscus sabdariffa* L., hydroponics, phytopathogenic fungi, nitrogen,  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados campus Montecillo, por permitirme desarrollar mi investigación dentro de sus instalaciones.

Al posgrado de Edafología por darme las herramientas y conocimiento necesario para mi formación.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa quien siempre me apoyo y permaneció atento a la investigación y en mi formación. Además de tener una calidad humana y una trayectoria profesional que me ha inspirado a superarme día con día.

Al Dr. Gabriel Alcántar González y al Dr. Javier Hernández Morales por estar siempre en la mejor disposición de ayudar, y otorgarme guía y sabiduría.

A la Dra. María Guadalupe Peralta Sánchez por su guía y dedicación, quien agradezco todo el tiempo brindado.

Al Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, por el apoyo en la medición de las variables nutrimentales.

A todos los profesores que de alguna manera contribuyeron en mi formación profesional.

A mi familia por todo el apoyo incondicional que me brindaron.

A mis compañeros Andrés Alberto Valenzuela, Oyuky Librado, Ricardo Antonio Cisneros, Atzintlali Martínez, Guadalupe Contreras, Candelario Ortega, Luis Antonio Hernández y Luis Alberto Olvera por su apoyo durante la investigación.

A los amigos que aquí encontré y que forjé amistad, quienes me apoyaron en la realización de la investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Adrián Ortega Gómez y Zeferina Encarnación Arenas, que siempre he recibo su apoyo incondicional y nunca me han dejado solo.

A mi hermana María Anallely, mis hermanos Sergio y Pedro por ser parte importante de la familia, y permanecer unidos.

A mi novia Adriana Sánchez Guerrero que siempre he recibido su apoyo incondicional.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa quien demostró siempre su apoyo y compromiso durante esta investigación y en mi formación.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>DEDICATORIA</b> .....	vi
<b>LISTAS DE CUADROS</b> .....	ix
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>GLOSARIO</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	3
Objetivos .....	3
General .....	3
Específicos .....	3
Hipótesis .....	3
General .....	3
Específicas .....	3
<b>CAPÍTULO 1. CONCENTRACIÓN PORCENTUAL DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA STEINER EN EL CONTROL DEL MANCHADO DEL CÁLIZ EN JAMAICA</b> .....	5
1.1 RESUMEN .....	5
1.2 ABSTRACT .....	6
1.3 INTRODUCCIÓN .....	7
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
1.4.1. Diseño experimental y tratamientos .....	9
1.4.2. Variables evaluadas .....	10
1.4.3. Fuente de inóculo .....	10
1.4.4. Evaluaciones de severidad .....	11
1.4.5. Análisis estadístico .....	12
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	13
1.5.1. Condiciones climáticas .....	13
1.5.2. Variables agronómicas .....	13
1.5.3. Análisis de extracto celular de pecíolo .....	18

1.5.4. Lecturas SPAD .....	18
1.5.5. Severidad.....	20
1.5.6. Análisis nutrimental de tejido vegetal.....	24
1.6 CONCLUSIONES .....	30
<b>CAPÍTULO 2. APLICACIÓN DE AMONIO Y NITRATO PARA CONTROLAR EL MANCHADO DEL CÁLIZ EN JAMAICA .....</b>	<b>31</b>
2.1 RESUMEN .....	31
2.2 ABSTRACT.....	32
2.3 INTRODUCCIÓN .....	33
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
2.4.1. Diseño experimental y tratamientos.....	36
2.4.2. Variables evaluadas.....	36
2.4.3. Fuente de inóculo .....	37
2.4.4. Análisis estadístico .....	38
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
2.5.1. Condiciones climáticas .....	39
2.5.2. Variables agronómicas .....	39
2.5.3. Lecturas SPAD .....	41
2.5.4. Análisis de extracto celular de pecíolo.....	43
2.5.5. Análisis nutrimental de tejido vegetal.....	48
2.6 CONCLUSIONES .....	57
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>58</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
Anexo 1.....	68
Análisis estadístico mediante el programa R-UCA .....	68



## LISTAS DE CUADROS

<b>Cuadro 1.1.</b> Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa, en etapa vegetativa (85 ddt).....	19
<b>Cuadro 1.2.</b> Concentración de pH y CE en extracto celular de pecíolo y lecturas SPAD en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa, en etapa vegetativa (85 ddt).....	20
<b>Cuadro 1.3.</b> Efecto de la interacción de la solución nutritiva por hongo inoculado en la concentración de macronutrientes y micronutrientes en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en etapa vegetativa (85 ddt).....	25
<b>Cuadro 1.4.</b> Concentración de macronutrientes en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en etapa vegetativa (85 ddt), por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner. ....	25
<b>Cuadro 1.5.</b> Concentración de micronutrientes en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en etapa vegetativa (85 ddt), por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner. ....	26
<b>Cuadro 1.6.</b> Concentración de macronutrientes y micronutrientes en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en etapa vegetativa (85 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.....	26
<b>Cuadro 1.7.</b> Concentración de macronutrientes en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en etapa reproductiva (160 ddt), por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner. ....	27
<b>Cuadro 1.8.</b> Concentración de micronutrientes en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en etapa reproductiva (160 ddt), por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner. ....	28
<b>Cuadro 1.9.</b> Concentración de macronutrientes y micronutrientes en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en etapa reproductiva (160 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. ....	28

<b>Cuadro 2.1.</b> Separación de medias de diámetro de tallo, número de ramas y número de cálices maduros en jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaapa, por efecto de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ producidas en invernadero. ....	41
<b>Cuadro 2.2.</b> Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo en hojas de jamaica en etapa vegetativa (58 ddt), por efecto de la interacción de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ e inoculación con los hongos fitopatógenos producidas en condiciones de invernadero.....	44
<b>Cuadro 2.3.</b> Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo en hojas de jamaica en etapa vegetativa (58 ddt), por efecto de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ producidas en condiciones de invernadero.....	45
<b>Cuadro 2.4.</b> Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo en hojas de jamaica en etapa vegetativa (58 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.....	45
<b>Cuadro 2.5.</b> Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo (ECP) en hojas de jamaica en etapa de floración (106 ddt), por efecto de la interacción de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ e inoculación con los hongos fitopatógenos producidas en condiciones de invernadero.....	47
<b>Cuadro 2.6.</b> Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo (ECP) en hojas de jamaica en etapa de floración (106 ddt), por efecto de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ producidas en condiciones de invernadero. ....	47
<b>Cuadro 2.7.</b> Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo (ECP) en hojas de jamaica en etapa de floración (106 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. ....	48
<b>Cuadro 2.8.</b> Concentración de macronutrientes en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ e inoculación con hongos fitopatógenos. ....	50

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Escalas logarítmicas diagramáticas para evaluar la severidad del manchado en jamaica inducida por <i>Corynespora cassiicola</i> . A) Escala para evaluar la severidad en hojas. B) Escala para evaluar la severidad en cálices (Ortega-Acosta <i>et al.</i> , 2016). .....	12
<b>Figura 1.2.</b> Condiciones climáticas en el invernadero donde se desarrolló el experimento.....	13
<b>Figura 1.3.</b> Altura de planta por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner en jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa, desarrollada en invernadero e hidroponía, 160 días después del trasplante (ddt). .....	15
<b>Figura 1.4.</b> Número de ramas por planta, por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner en jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa, desarrollada en invernadero e hidroponía, en etapa vegetativa (85 ddt).....	15
<b>Figura 1.5.</b> Número de cálices maduros en planta de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en hidroponía e invernadero a los 160 ddt por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner y hongos inoculados. ....	16
<b>Figura 1.6.</b> Peso seco de plantas, por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos en jamaica.....	17
<b>Figura 1.7.</b> Peso seco de cálices maduros por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner en jamaica .....	17
<b>Figura 1.8.</b> Separación de medias de las clases de severidad en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en la parte baja de la planta por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. ....	21
<b>Figura 1.9.</b> Progreso de la enfermedad en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en la parte baja de la planta,.....	22
<b>Figura 1.10.</b> Separación de medias de las clases de severidad en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoanapa en la parte intermedia de	

la planta por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.....	22
<b>Figura 1.11.</b> Progreso de la enfermedad en hojas en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en la parte intermedia de la planta,.....	23
<b>Figura 1.12.</b> Separación de medias de las clases de severidad en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en la parte nueva de la planta por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.....	23
<b>Figura 1.13.</b> Interacción de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner y de la inoculación con hongos fitopatógenos sobre la concentración de boro en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa, en etapa reproductiva a los 160 ddt.....	29
<b>Figura 2.1.</b> Condiciones climáticas en el invernadero donde se desarrolló el experimento.....	39
<b>Figura 2.2.</b> Altura de planta por efecto de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.).....	41
<b>Figura 2.3.</b> Lecturas SPAD en jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa, en etapa vegetativa (55 ddt), por efecto de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .....	42
<b>Figura 2.4.</b> Lecturas SPAD en jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa, en etapa vegetativa (55 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. ....	43
<b>Figura 2.5.</b> Concentración de Zn en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ e inoculación con hongos fitopatógenos. ....	50
<b>Figura 2.6.</b> Concentración de Ni en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ e inoculación con hongos fitopatógenos. ....	51

<b>Figura 2.7.</b> Concentración de macronutrientos en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero, por efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .....	51
<b>Figura 2.8.</b> Concentración de micronutrientos en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero, por efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .....	52
<b>Figura 2.9.</b> Concentración de macronutrientos en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. ....	52
<b>Figura 2.10.</b> Concentración de nitrógeno total en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa de floración (106 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ e inoculación con hongos fitopatógenos. ....	54
<b>Figura 2.11.</b> Concentración de azufre en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa de floración (106 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ e inoculación con hongos fitopatógenos. ....	55
<b>Figura 2.12.</b> Concentración de macronutrientos en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa de floración (106 ddt), producidas en condiciones de invernadero, por efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .....	55
<b>Figura 2.13.</b> Concentración de micronutrientos en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa de floración (106 ddt), producidas en condiciones de invernadero, por efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .....	56
<b>Figura 2.14.</b> Concentración de N y Mg en hojas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad Tecoaanapa en etapa de floración (106 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.....	56

## GLOSARIO

N; (nitrógeno)

P; (fósforo)

K; (potasio)

Ca; (calcio)

Mg; (magnesio)

S; (azufre)

Fe; (hierro)

Zn; (zinc)

Cu; (cobre)

Mn; (manganeso)

B; (boro)

Mo; (molibdeno)

Ni; (níquel)

$\text{NH}_4^+$ ; (amonio)

$\text{NO}_3^-$ ; (nitrato)

$\text{Ca}^{2+}$ ; (ion calcio)

$\text{K}^+$ ; (ion potasio)

$\text{Na}^+$ ; (ion sodio)

$\text{NO}_3^-$ ; (ion nitrato)

cm; (centímetro)

°C; (grados Celsius)

HR; (humedad relativa)

HR máx; (humedad relativa máxima)

HR mín; (humedad relativa mínima)

Tmáx; (temperatura máxima)

Tmín; (temperatura mínima)

mm; (milímetros)

mL; (mililitro)

g; (gramo)

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) pertenece a la familia Malvaceae, es originaria de la región tropical de África, desde Egipto y Sudán hasta Senegal, incluye a Malawi, Mozambique, Zambia y Zimbabwe. Por sus beneficios que ofrece y su fácil adaptación en regiones tropicales y subtropicales se ha distribuido en varias partes del mundo como: Tailandia, China, Egipto, Senegal, Tanzania, México, América Central y el sur y el sureste asiático (Ariza-Flores *et al.*, 2017; Domínguez *et al.*, 2008). En México se destinan aproximadamente 18,400 ha al año para su producción. Los principales estados productores son Guerrero, Michoacán y Oaxaca, representan el 93% de la superficie cultivada en el país (SIAP, 2019). Es un cultivo importante, tiene diversos usos, sus cálices frescos y secos se utilizan para preparar bebidas frías y calientes, también pueden ser utilizados para la elaboración de jaleas, mermeladas y salsas (Ramírez-Rodriguez *et al.*, 2011; Pino *et al.*, 2006). Además, la jamaica se ha utilizado como planta medicinal en fitoterapia (Ansari *et al.*, 2013). Estudios han demostrado el potencial farmacológico de los extractos del cáliz en alteraciones metabólicas como hipertensión, dislipidemia (niveles excesivamente elevados de colesterol o grasas (lípidos) en la sangre) e hiperuricemia (exceso de ácido úrico en la sangre) (Castañeda y Cáceres, 2014).

Retomando la problemática general de la producción de jamaica en México tenemos la cosecha (manual y demandante de mano de obra), el manejo de los cálices para obtener producto inocuo (que normalmente se lleva a cabo en patios de las casas en condiciones que contaminan los cálices) y específicamente en la producción; las enfermedades y el mal manejo de la nutrición. El cultivo es susceptible a diversos patógenos como *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Phyllosticta hibiscini*, *Phytophthora parasitica*, *Corynespora cassiicola* (Agbenin y Ogunlana, 2006; Swart y Langenhoven, 2000; Amusa, 2004; Ruíz-Ramírez *et al.*, 2015; Ortega-Acosta *et al.*, 2020). El hongo *Corynespora cassiicola* (Berk. & M.A. Curtis) C.T. Wei, afecta a hojas y cálices de jamaica, causando grandes pérdidas en la producción, sus síntomas en hojas consisten de manchas circulares a irregulares con centro color pajizo, bordes negros y anillos púrpuras, al paso del tiempo se forman grandes lesiones necróticas. En los cálices, en etapas iniciales se observan manchas



necróticas hundidas de forma circulares a irregular, y en etapas avanzadas de infección se genera un tizón, durante los últimos años se ha considerado la enfermedad más importante del cultivo (Ortega-Acosta *et al.*, 2015a; Hernández-Morales *et al.*, 2018). Por otro lado, Barrón-Coronado *et al.* (2019) reportaron por primera vez al hongo *Coniella javanica* causando tizón en hojas y cálices, los síntomas iniciales consisten en manchas foliares irregulares de color marrón claro, que van en aumento, cuando avanza la infección se presenta un marchitamiento en toda la planta.

Las enfermedades son una limitación importante para la producción y calidad de los cultivos, reducen la disponibilidad, la absorción, la distribución o el uso de nutrientes por parte de la planta. Los nutrientes minerales, en muchas situaciones, son la primera y principal línea de defensa contra las enfermedades (Huber y Haneklaus, 2007). La nutrición de la planta juega un papel importante en la aparición y susceptibilidad de patógenos en los cultivos. El adecuado suministro de una fertilización balanceada promueve el crecimiento óptimo de las plantas y contribuye a la resistencia de enfermedades (Sieiro-Miranda *et al.*, 2020).

La presente investigación tuvo como finalidad el desarrollo de tecnologías que ayuden al manejo integral del cultivo de jamaica, identificando la nutrición idónea y el manejo de las enfermedades, para mejorar la calidad y el rendimiento de cálices de jamaica.

## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### Objetivos

#### General

- Generar información del efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner y la forma de nitrógeno (amonio y nitrato) en el desarrollo, estado nutrimental, rendimiento y calidad de cálices de jamaica y sobre la severidad de enfermedades fungosas.

#### Específicos

- Determinar el efecto de tres niveles de la solución nutritiva Steiner: 50, 100 y 150% de su concentración original, sobre el desarrollo, rendimiento y calidad de cálices; además de evaluar el efecto sobre la severidad de enfermedades causadas por los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola* en jamaica.
- Evaluar el efecto de la aplicación de amonio y nitrato en plantas inoculadas con los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*, sobre el desarrollo, estado nutrimental, rendimiento y calidad de cálices de jamaica.

### Hipótesis

#### General

- Al menos una concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner y la forma de nitrógeno tiene efecto positivo sobre el desarrollo, estado nutrimental, rendimiento, calidad de cálices de jamaica, y se reduce significativamente los problemas ocasionados por hongos fitopatógenos que afectan al cultivo.

#### Específicas

- El suministro de la conductividad eléctrica a diferentes niveles de la solución nutritiva Steiner favorece el desarrollo, rendimiento y calidad de cálices de jamaica y se disminuye la severidad de enfermedades causadas por los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola* en jamaica.

- La presencia de amonio y nitrato en la solución nutritiva mejora el desarrollo, estado nutrimental, rendimiento y calidad de cálices de jamaica, a pesar de estar inoculadas con los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassicola*.

# CAPÍTULO 1. CONCENTRACIÓN PORCENTUAL DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA STEINER EN EL CONTROL DEL MANCHADO DEL CÁLIZ EN JAMAICA

## 1.1 RESUMEN

La incorrecta nutrición y el mal control de enfermedades en el cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) conduce a una pérdida considerable del rendimiento de cálices de jamaica. Con este escenario se estudió el efecto de tres niveles de la solución nutritiva Steiner (SNS): 50, 100 y 150% de su concentración original, sobre el desarrollo, rendimiento, calidad de cálices y severidad de enfermedades fungosas en jamaica. Los tratamientos se evaluaron bajo condiciones de invernadero, en la variedad criolla de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) Tecoaapa. La concentración porcentual de la SNS se combinó con la inoculación de los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*, además de un tratamiento sin inocular y se midió la severidad de la enfermedad. La SNS de 150% disminuyó la altura de la planta, sin embargo, altas concentraciones (100 y 150%) aumentan el peso y número de cálices maduros. El peso fresco de la planta se incrementó al aumentar la concentración porcentual de la SNS. La inoculación con hongos fitopatógenos en jamaica no afectó el diámetro del tallo; los hongos disminuyeron la concentración de nitratos en extracto celular de pecíolo (ECP) y restringieron la absorción de boro. La solución nutritiva a concentraciones de 100 y 150% no disminuyó la severidad de las infecciones por *Corynespora* y *Coniella*, sin embargo, se obtuvo un rendimiento alto de cálices comercializables. Un suministro nutrimental óptimo permitió, a pesar del ataque de los hongos fitopatógenos, obtener un peso y número de cálices similar al de las plantas control.

**Palabras clave:** *Hibiscus sabdariffa* L., hidroponía, hongos fitopatógenos, severidad, solución nutritiva.

# PERCENTAGE CONCENTRATION OF THE STEINER NUTRIENT SOLUTION IN THE CONTROL OF CALYX SPOTTING IN ROSELLE

## 1.2 ABSTRACT

Incorrect nutrition and poor disease control in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivation leads to considerable loss of roselle calyx yield. With this scenario, the effect of three levels of the Steiner nutrient solution (SNS) was studied: 50, 100, and 150% of its original concentration, on the development, yield, quality of roselle calyces and severity of fungal diseases in roselle. We evaluated the treatments under greenhouse conditions, in the creole variety of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Tecoanapa. We combined the percentage concentration of the SNS with the inoculation of the phytopathogenic fungi *Coniella javanica* and *Corynespora cassiicola*, besides a treatment without inoculation, and the severity of the disease was measured. The SNS of 150% decreased the height of the plant, however, high concentrations (100 and 150%) increased the weight and number of mature calyces. The fresh weight of the plant increased as the percentage concentration of the SNS increased. Inoculation with phytopathogenic fungi in roselle did not affect stem diameter; fungi decreased the concentration of nitrates in petiole cell extract (PCE) and restricted boron uptake. The nutrient solution at concentrations of 100 and 150% did not reduce the severity of *Corynespora* and *Coniella* infections, however, a high yield of marketable calyces was obtained. An optimal nutritional supply allowed, despite the attack of phytopathogenic fungi, to obtain a weight and number of calyces similar to that of the control plants.

**Keywords:** *Hibiscus sabdariffa* L., hydroponics, phytopathogenic fungi, severity, nutrient solution.

### 1.3 INTRODUCCIÓN

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), también conocida como rosa de Abisinia, Roselle o Karkadé, pertenece a la familia Malvaceae, es originaria de África tropical, su cultivo se extiende por Sudán, Tailandia, China, Egipto, Senegal, Tanzania, México, América Central y el sur y el sureste asiático (Domínguez *et al.*, 2008). Morfológicamente, la jamaica es un arbusto semileñoso, anual o bianual, alcanza entre uno y tres metros de altura. Sus tallos son abundantes, ramificados y de corteza roja, con hojas alternas, de bordes aserrados (Ortiz, 2008).

En China las semillas se utilizan para extraer aceite y la planta se usa por sus propiedades medicinales, mientras que en África occidental las hojas y las semillas en polvo se aprovechan en las comidas. Además, se emplea en las industrias farmacéutica y alimentaria (Da-Costa *et al.*, 2014). En algunas partes del mundo, como México, los cálices de jamaica se utilizan para preparar bebidas refrescantes, mermeladas, jaleas, licores (Cid-Ortega y Guerrero-Beltrán, 2015).

Desde mediados de 1980, México empezó a importar grandes cantidades de jamaica procedente de China; años después se importaba también de países africanos, con lo que se desplaza el comercio de la jamaica producida en el país, debido a que el costo del producto importado al consumidor final era menos de la mitad del costo del producto nacional; aun cuando la jamaica importada era y sigue siendo de mala calidad, comparada con la producida en México. Esto ocasionó el abandono del cultivo en diversas zonas productoras del país. Sin embargo, en la actualidad hay interés de retomar el cultivo de jamaica, además de generar recursos económicos a los productores, es fuente de empleo para trabajadores rurales de zonas marginadas, donde por lo general se produce esta especie.

La nutrición de los cultivos puede influir en la incidencia y severidad de las enfermedades (Walters y Bingham, 2007). Bhaduri *et al.* (2014) mencionan que la severidad de la mayoría de las enfermedades puede reducirse en gran medida mediante un manejo adecuado de los nutrientes.

Otro de los factores que han influido en la pérdida de producción de jamaica en México, es el incremento de los problemas fitosanitarios, posiblemente relacionado con el abandono del cultivo e importar el producto desde otros países, sin ninguna regulación. Ruíz-Ramírez *et al.* (2015) mencionan a “la pata prieta”, ocasionada por el oomiceto *Phytophthora parasitica*, la cual era hasta hace 15 años la principal enfermedad en el cultivo de jamaica, induce una pudrición en el cuello de la planta. También hay reportes de especies de hongos que inducen síntomas similares en el cultivo, como son: *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotium rolfsii*, *Phymatotrichopsis omnivora*, *Fusarium oxysporum*, *F. semitectum*, *F. solani* y *F. equiseti* (Amusa *et al.*, 2005; Hassan *et al.*, 2014b; Ortega-Acosta *et al.*, 2015b).

Otra de las enfermedades es la causada por *Corynespora cassiicola* (Berk. & M.A. Curtis) C.T. Wei, (Ortega-Acosta *et al.*, 2016), cuyos síntomas son manchas blanquecinas o grisáceas rodeadas por un halo violáceo que, al paso del tiempo, aumentan en número y tamaño, en ocasiones, cubren completamente la lámina foliar; en cálices, el daño inicia con pequeños puntos negros que se van expandiendo hasta quedar completamente necrosados. En 2013 *C. cassiicola* ocasionó pérdidas de hasta 100% en la producción y provocó la disminución significativa de la superficie de siembra en ciclos agrícolas posteriores. *Coniella javanica* también afecta a este cultivo, causando manchas en las hojas y cálices, es común encontrarla asociada a *C. cassiicola* (Berk. & M.A. Curtis) C.T. Wei, (Barrón-Coronado *et al.*, 2019).

En la presente investigación, el objetivo fue determinar el efecto de tres niveles de la solución nutritiva Steiner: 50, 100 y 150% de su concentración original, sobre el desarrollo, rendimiento y calidad de cálices de jamaica; además de evaluar el efecto sobre la severidad de enfermedades fungosas. La hipótesis fue que el suministro de la conductividad eléctrica a diferentes niveles de la solución nutritiva Steiner favorece el desarrollo, rendimiento y calidad de cálices y se disminuye la severidad de enfermedades causadas por los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola* en jamaica.

## 1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en Texcoco, México, en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, en un invernadero con plástico UV-II-720 con transmitancia de 80% luz solar incidente. El invernadero está equipado con un calentador centinela de 250 000 BTU para uso en calefacción, el cual se calibró para que funcionará a partir de 2 °C. Además, se contó un sensor DHT-22 (Smarg-Da®, México) para registrar durante todo el experimento la temperatura y humedad relativa. Se utilizó la variedad criolla Tecoanapa registrada en el SNICS. Se evaluó la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner con 50, 100 y 150%, este mismo factor se combinó con la inoculación de los hongos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*, además de un tratamiento sin inoculación (testigo) y se midió la severidad de la infección. Las soluciones nutritivas no se aplicaron al inicio del experimento en la concentración indicada, solo una cuarta parte desde el trasplante hasta el inicio de ramificación de la planta. A partir de esta y durante un mes la solución nutritiva se aplicó a la mitad de la concentración nominal. Desde que se inició el alargamiento del tallo principal, 70 días después de trasplante (ddt), se aplicaron las soluciones nominales: 50, 100 y 150%.

### 1.4.1. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con un arreglo factorial tres por cuatro, con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue una planta colocada en una bolsa negra de polietileno con el sustrato tezontle, con granulometría de 1 a 5 cm, densidad aparente promedio de 0.82 g cm<sup>-3</sup>, 50% porosidad total, 45% porosidad de aireación, 5.42% de agua fácilmente disponible, sin capacidad de intercambio de cationes y conductividad eléctrica de 0.05 dS m<sup>-1</sup>. Se implementó un sistema de riego por goteo. El riego con la solución nutritiva se aplicó cuatro veces por día: 9, 12, 14 y 16 h con tiempo de riego de 2 min con un gasto de 167 mL en cada evento. Conforme las plantas crecieron, el tiempo de riego se incrementó a 3 min; como referencia se buscaba que existiera un excedente de riego de 20%, con la finalidad de evitar ensalitramiento del sustrato. Las plantas se mantuvieron en posición vertical mediante tutoreo, utilizando rafia.



### 1.4.2. Variables evaluadas

Se evaluaron variables altura de planta (cm) con una cinta métrica de marca Truper®, diámetro del tallo (mm) utilizando un vernier digital CALDI-6MP Truper® (medido 3 cm arriba del cuello de la planta), número de ramificaciones, número de cálices por planta, peso fresco y seco de planta, peso seco y fresco de cálices maduros e inmaduros (g) con una balanza digital marca Ohaus®, Modelo: Scout Pro SP-6001. A los 103 ddt se tomaron valores atLEAF en tres hojas recientemente maduras por planta con un medidor portátil atLEAF® CHL STD, los valores fueron transformados a lecturas SPAD de acuerdo los cálculos propuesto por Zhu *et al.* (2012). También se evaluó la concentración de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , en extracto celular de pecíolo; asimismo, se cuantificó la conductividad eléctrica y el pH, durante la etapa vegetativa. Para medir las concentraciones de los iones se utilizaron ionómetros marca Horiba® específicos para los iones indicados.

El análisis químico de tejido vegetal para macronutrientes (P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo y Ni) en etapa vegetativa y reproductiva se llevó a cabo con digestión húmeda en muestras molidas y secas, en la cual se pesó 0.5 g de material vegetal y se adicionaron 5 mL de la mezcla de ácido nítrico-perclórico, dejándose pre digerir por una noche y posteriormente digerir la muestra en una plancha de arena, en una campana extractora Hamilton®, modelo Safeaire a una temperatura de 190 °C hasta que la solución presentara un color claro. Una vez que las muestras se digitaron por completo, se aforaron a 25 mL de agua desionizada, se filtró con papel Whatman número 40 y se prosiguió a analizar los elementos en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma de la marca VARIAN®, modelo ICP-OES 725-ES. Además, se determinó nitrógeno total, con el método de Kjeldahl, mediante los procedimientos estándares de laboratorio descritos por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999).

### 1.4.3. Fuente de inóculo

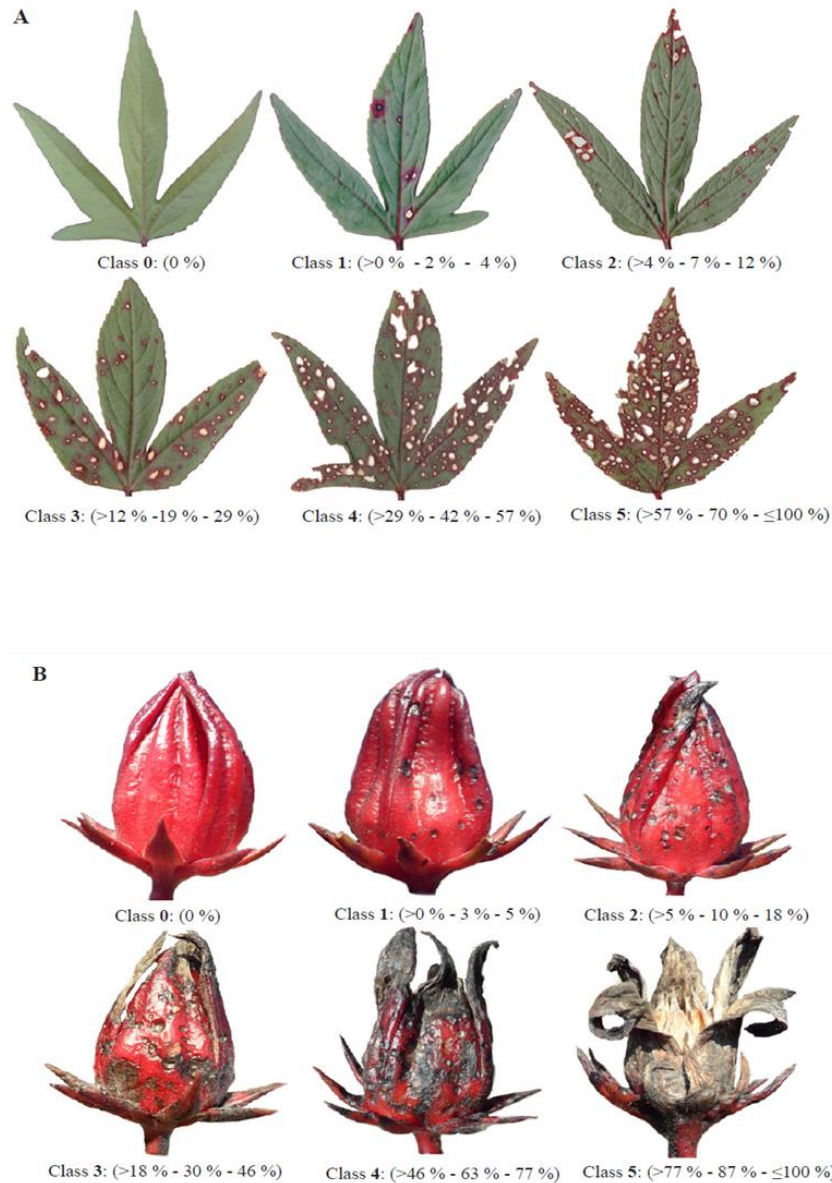
Como fuente de inóculo se utilizaron colonias de *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica*, para inocular las plantas sanas tratadas con diferentes soluciones nutritivas, la

inoculación se realizó asperjando el follaje y cálices. Para ambos patógenos se utilizó una concentración de esporas de  $2 \times 10^5$  conidios por mililitro (Ortega-Acosta *et al.*, 2015a; KC y Vallad, 2016).

#### **1.4.4. Evaluaciones de severidad**

Se realizaron evaluaciones de la severidad de los patógenos; se evaluaron 10 hojas y cinco cálices por planta. Las evaluaciones se hicieron en intervalos de siete días después de la inoculación, en un total de cinco evaluaciones. Para evaluar la severidad del manchado de hojas y cálices de jamaica, se utilizó una escala diagramática propuesta por Ortega-Acosta *et al.* (2016), con rango de 0 al 5, en hoja 0 = sano (0% de daño) y 5 = daño severo (> 57% de daño); en cáliz 0 = sano (0% de daño) y 5 = daño severo (> 77% de daño) para determinar la severidad.

Los rangos y los puntos medios de cada clase (0, 1, 2, 3, 4 y 5) se expresan como porcentaje de la superficie afectada (Ortega-Acosta *et al.*, 2016) (Figura 1.1). Así, para hojas: 0 = 0, 1 = (> 0 - 2 - 4), 2 = (> 4 - 7 - 12), 3 = (> 12 - 19 - 29), 4 = (> 29 - 42 - 57) y 5 = (> 57 - 70 ≤ 100); y para cálices: 0 = 0, 1 = (> 0 - 3 - 5), 2 = (> 5 - 10 - 18), 3 = (> 18 - 30 - 46), 4 = (> 46 - 63 - 77) y 5 = (> 77 - 87 ≤ 100).



**Figura 1.1. Escalas logarítmicas diagramáticas para evaluar la severidad del manchado en jamaica inducida por *Corynespora cassiicola*. A) Escala para evaluar la severidad en hojas. B) Escala para evaluar la severidad en cálices (Ortega-Acosta *et al.*, 2016).**

#### 1.4.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos previamente se analizaron con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene ( $p \leq 0.05$ ), los cuales resultaron razonablemente normales y con homogeneidad de varianzas. Posteriormente se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias con Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con el programa estadístico R versión 4.1.1. (R Core Team, 2021).

## 1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.5.1. Condiciones climáticas

Se aclara que las condiciones climáticas en que se desarrolló este experimento fueron adversas (bajas temperaturas nocturnas y días cortos). Desde el establecimiento del experimento (17 de septiembre de 2020) hasta el muestreo final (febrero de 2021), las plantas crecieron bajo condiciones de acortamiento de la duración del día y temperaturas de 2 a 34 °C durante diciembre y enero (Figura 1.2).

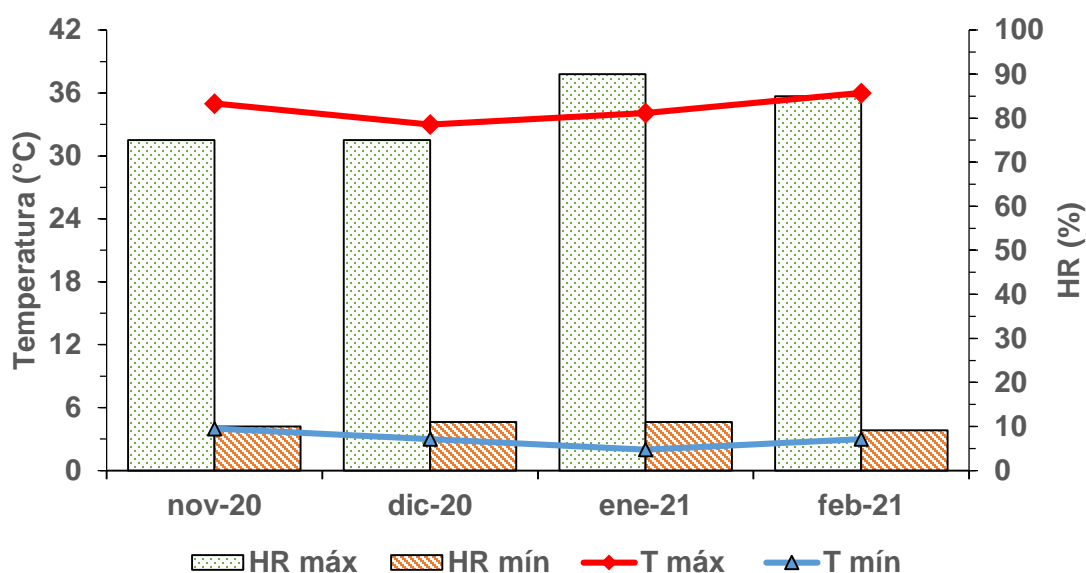


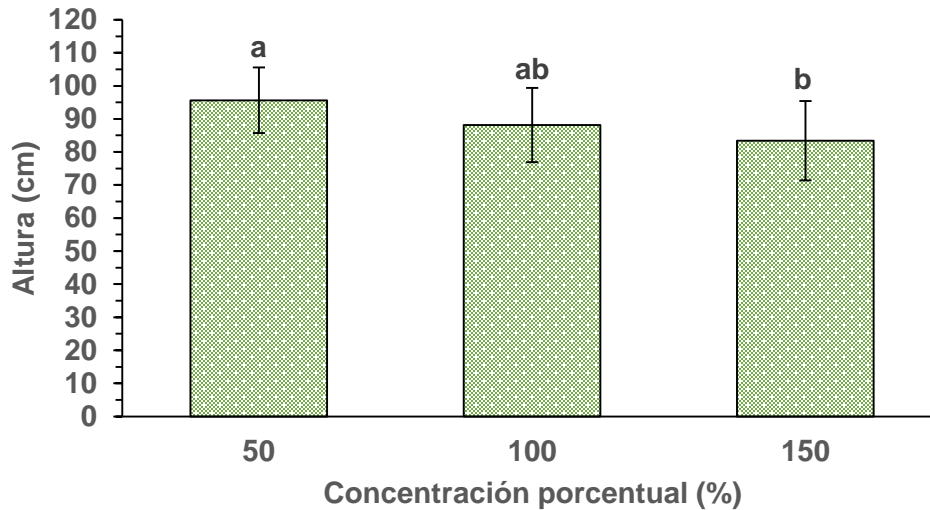
Figura 1.2. Condiciones climáticas en el invernadero donde se desarrolló el experimento.

### 1.5.2. Variables agronómicas

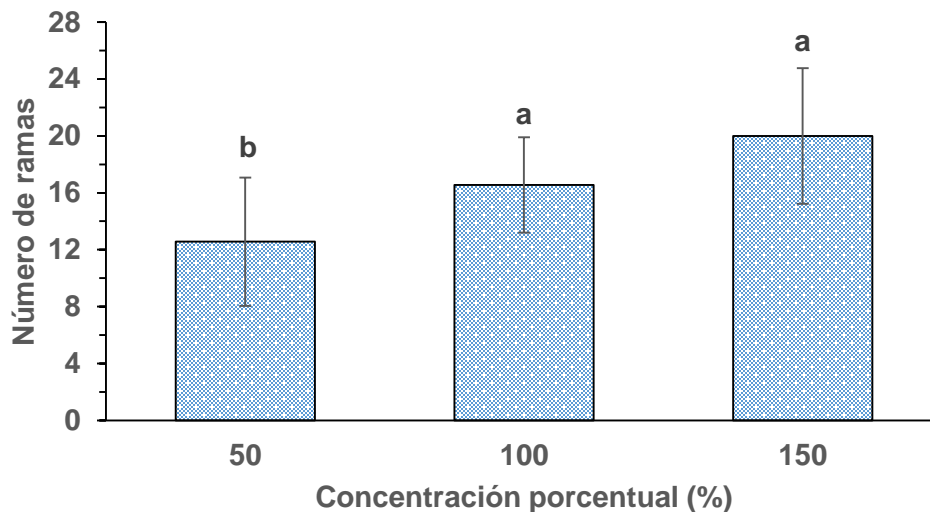
La concentración de 150% de la solución nutritiva (SN) disminuyó la altura de la planta y la concentración de 50% presentó el mayor crecimiento en las plantas (Figura 1.3), estos resultados coinciden con los realizados por Sales *et al.* (2019) donde estudiaron el desarrollo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en función de seis niveles de salinidad del agua de riego; encontraron que conforme se incrementaron los niveles de salinidad hubo una reducción significativa de altura de planta. Altas concentraciones (100 y 150%) aumentan el peso y número de cálices maduros. Hinojosa-Gómez *et al.* (2018) señalan que, bajo condiciones de cultivo hidropónico, se pueden obtener aumentos considerables

en el contenido de minerales en los cálices de jamaica. El peso fresco de la planta y de cálices maduros e inmaduros, no fueron influenciados por la concentración de la solución nutritiva ni por la inoculación de hongos fitopatógenos. El mayor diámetro de tallo correspondió a la solución de 150%, pero tanto en baja como en alta concentración de la misma el diámetro del tallo es similar. El número de ramas por planta fue menor en la concentración de 50%, en las concentraciones 100 y 150% de la solución nutritiva fueron similares estadísticamente (Figura 1.4). Estos resultados coinciden a los reportados por Fahmy y Hassan (2019), quienes obtuvieron de 7.33 a 15.67 ramas por planta. Ruiz-González y Victorino-Ramírez (2015) reportaron de 12 a 31 ramas por planta de jamaica variedad Victor, mientras que Ibrahim (2019) registró de 3.15 a 5.63 ramas por planta, valores por debajo a los obtenidos en este estudio.

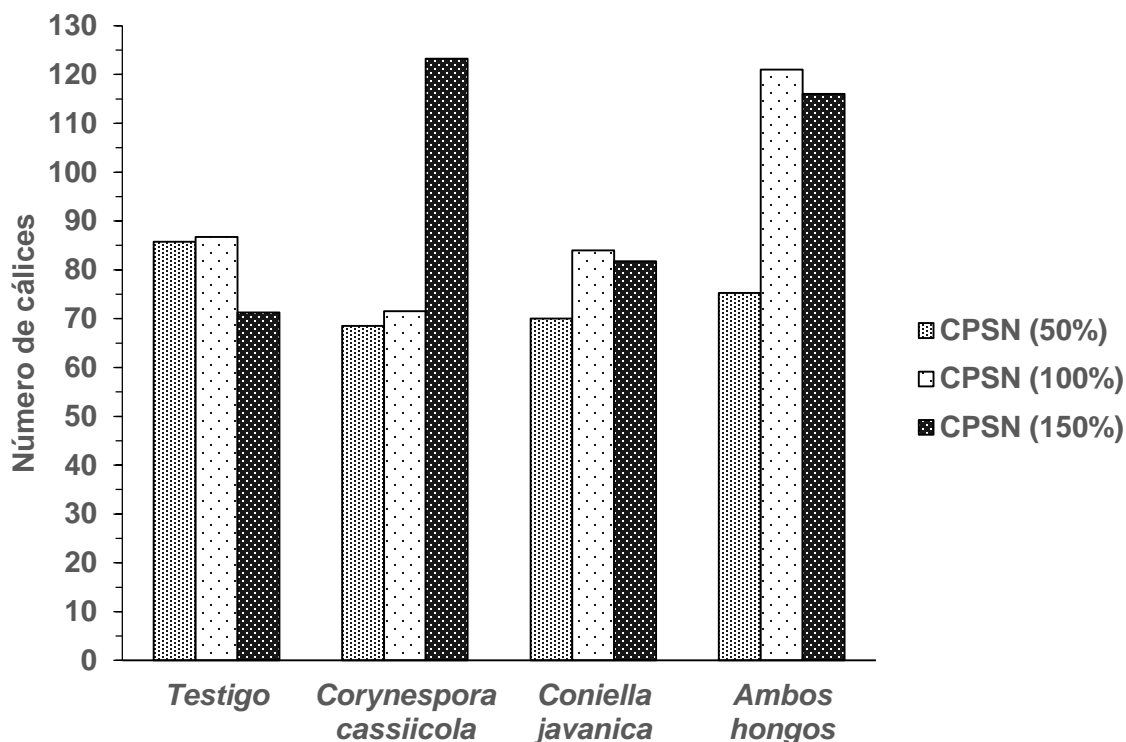
Sin inoculación de patógenos, el número de cálices maduros (NCM) fue mayor con 100% de la SN al igual que en la combinación de *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica*, excepto cuando se inoculó *Corynespora cassiicola* de forma individual donde se registró el mayor número de cálices con la concentración de 150% (Figura 1.5). En un estudio realizado por Sánchez-Prado *et al.* (2019), en el cultivo de jamaica, encontraron que el mejor potencial osmótico de la solución nutritiva Steiner fue -0.072 MPa para la producción de cáliz seco, con rendimiento de 1.98 t ha<sup>-1</sup>, lo cual equivale a una concentración de 100%.



**Figura 1.3. Altura de planta por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa, desarrollada en invernadero e hidroponía, 160 días después del trasplante (ddt).** Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

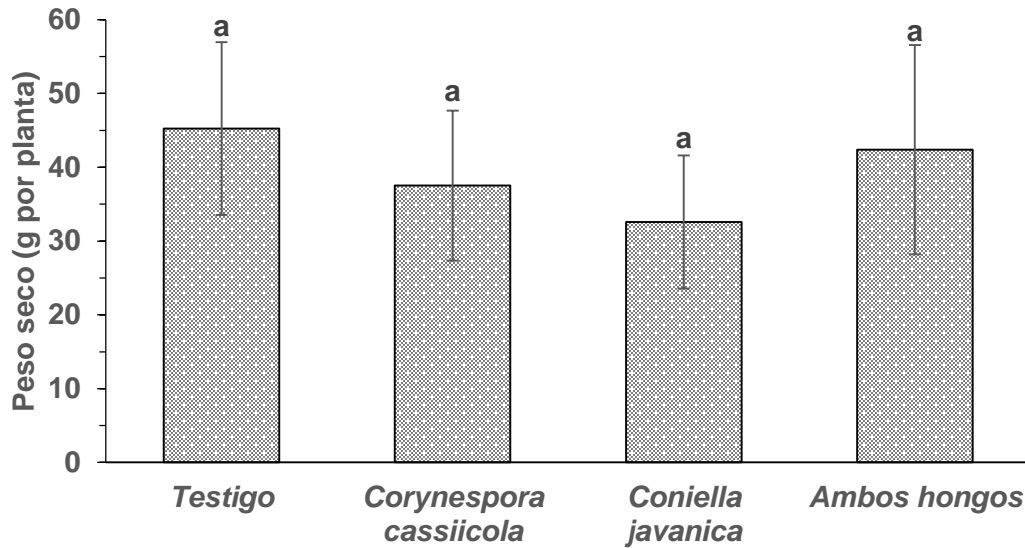


**Figura 1.4. Número de ramas por planta, por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa, desarrollada en invernadero e hidroponía, en etapa vegetativa (85 ddt).** Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

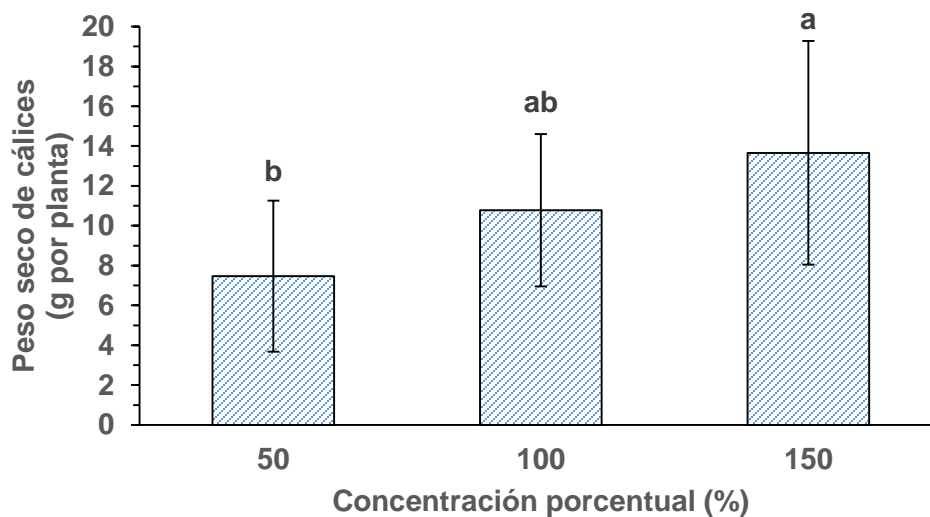


**Figura 1.5. Número de cálices maduros en planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa en hidroponía e invernadero a los 160 ddt por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner y hongos inoculados. CPSN: concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner.**

El peso seco de las plantas disminuyó con la inoculación de los hongos por separado, pero combinados *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* se anula su efecto deletéreo (Figura 1.6). El peso seco de los cálices fue óptimo con la solución nutritiva Steiner completa (100%); aumentarla no repercute en incrementos significativos, y con la solución a 50% el peso de los mismos disminuye drásticamente (Figura 1.7). Por lo tanto, la producción de cálices requiere del suministro óptimo de nutrientes. Apáez-Barrios *et al.* (2018) sugieren dos aplicaciones de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de Cu pueden mejorar la calidad nutracéutica de los extractos de jamaica sin afectar el rendimiento de cálices secos. Al-Sayed *et al.* (2019), estudiaron la influencia del compost y las diferentes tasas de nitrógeno inorgánico en el crecimiento y la composición química de *Hibiscus sabdariffa* L. así como en el rendimiento, obtuvieron que las plantas tratadas con la combinación de nitrógeno mineral y fertilización orgánica dieron los valores más significativos de las variables de crecimiento. Es decir, altura de la planta, así como peso fresco y seco de hojas, clorofila, carotenoides, y concentración de N, P y K en los tejidos de las hojas.



**Figura 1.6. Peso seco de plantas, por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa, desarrollada en invernadero e hidroponía. Cosecha el 28 de febrero de 2021.** Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.



**Figura 1.7. Peso seco de cálices maduros por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa, desarrollada en invernadero e hidroponía. Cosecha el 28 de febrero de 2021.** Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.



### 1.5.3. Análisis de extracto celular de pecíolo

A través de los análisis de extracto celular de pecíolo (ECP) se encontró que la concentración de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y conductividad eléctrica (CE) se incrementan en los pecíolos conforme aumenta la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner (CPSN). Para calcio la mayor concentración se obtuvo con 100% de la SN, al igual que el valor de pH que fue más alto en esta concentración (Cuadros 1.1 y 1.2). Los valores obtenidos son muy superiores a los reportados por Flores-Bernal *et al.* (2021) encontraron valores de 332 a 872  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$ , de 1722 a 2740  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{K}^+$ , de 3.60 a 8  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$ , en ECP de ocho genotipos de jamaica en etapa de floración. Sin embargo, los resultados encontrados en el presente trabajo se aproximan a los valores de iones en ECP reportados en otras especies como tomate cultivado en invernadero las concentraciones oscilan de 4592 a 6235  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$ , de 4000 a 4869  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{K}^+$ , de 486 a 640  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$  (Llanderal *et al.*, 2020). Mientras que Benavides-Mendoza *et al.* (2021) reportaron valores de 1775 a 4225  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$ , de 2875 a 5200  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{K}^+$ , de 128 a 273  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$  en ECP de frambuesa etapa vegetativa y en el cultivo de papaya concentraciones de 400 a 1325  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$ , de 4875 a 9375  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{K}^+$ , de 160 a 602  $\text{mg L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$ .

En el análisis de varianza se obtuvo que para  $\text{K}^+$ , pH y CE no hay diferencias significativas entre tratamientos con hongos inoculados. Los patógenos *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* de forma independiente, tienen preferencia sobre  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . En los Cuadros 1.1 y 1.2, se puede observar como disminuye la concentración de estos iones, en contraste con  $\text{K}^+$  y pH. La prueba de comparación de medias mostró que la combinación de *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* dan como resultado la mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . En las plantas inoculadas con *Coniella javanica* se obtuvo que la concentración de estos iones fue menor que en las plantas sin inoculación de hongos.

### 1.5.4. Lecturas SPAD

Los tratamientos no mostraron diferencias estadísticas significativas en las lecturas SPAD, sin embargo, es notorio que conforme aumentó la CPSN, los valores incrementaron. En la SN de 150% se registró el mayor valor (Cuadro 1.2). Los resultados

obtenidos son similares con los reportados por Abou-Sreea *et al.* (2022) con lecturas SPAD de 36.53 a 52.10 donde se evaluó la aplicación foliar de extracto de Aloe y silicato de potasio ( $K_2SiO_3$ ) sobre la reducción de los impactos de la salinidad en el desarrollo, el rendimiento y las características de las plantas de jamaica. Kiapour *et al.* (2020) obtuvieron lecturas SPAD de 36.9 a 41.5 en jamaica bajo aplicación foliar de magnesio y nanopartículas de óxido de hierro. Estos valores son menores a los encontrados en este estudio.

**Cuadro 1.1. Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa, en etapa vegetativa (85 ddt).**

Interacción	$NO_3^-$	$K^+$ mg L <sup>-1</sup>	$Ca^{2+}$
50:0	4900 ± 200 <sup>def</sup>	3167 ± 58 <sup>d</sup>	197 ± 12 <sup>abc</sup>
50:1	3867 ± 153 <sup>f</sup>	2900 ± 200 <sup>d</sup>	223 ± 55 <sup>abc</sup>
50:2	4933 ± 115 <sup>def</sup>	3367 ± 306 <sup>cd</sup>	150 ± 35 <sup>c</sup>
50:3	4533 ± 153 <sup>ef</sup>	3033 ± 153 <sup>d</sup>	190 ± 17 <sup>abc</sup>
100:0	5333 ± 503 <sup>cde</sup>	2767 ± 306 <sup>d</sup>	237 ± 42 <sup>ab</sup>
100:1	5267 ± 252 <sup>cde</sup>	3433 ± 416 <sup>bcd</sup>	250 ± 35 <sup>ab</sup>
100:2	4467 ± 115 <sup>ef</sup>	2700 ± 100 <sup>d</sup>	197 ± 21 <sup>abc</sup>
100:3	4933 ± 777 <sup>def</sup>	2467 ± 252 <sup>d</sup>	270 ± 17 <sup>a</sup>
150:0	6600 ± 529 <sup>bc</sup>	4233 ± 379 <sup>abc</sup>	190 ± 26 <sup>abc</sup>
150:1	7067 ± 723 <sup>ab</sup>	4433 ± 862 <sup>ab</sup>	173 ± 6 <sup>bc</sup>
150:2	6067 ± 493 <sup>bcd</sup>	4533 ± 115 <sup>a</sup>	210 ± 20 <sup>abc</sup>
150:3	7967 ± 681 <sup>a</sup>	4400 ± 360 <sup>ab</sup>	217 ± 21 <sup>abc</sup>
CV	8.32	9.99	13.61
DMSH	1358.029	1024.851	84.31

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CE: conductividad eléctrica, 50: solución nutritiva Steiner 50%, 100: solución nutritiva Steiner 100%, 150: solución nutritiva Steiner 150%, 0: control, 1: *Corynespora cassiicola*, 2: *Coniella javanica* y 3: ambos hongos, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 1.2. Concentración de pH y CE en extracto celular de pecíolo y lecturas SPAD en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoañapa, en etapa vegetativa (85 ddt).**

Interacción	pH	CE mS cm <sup>-1</sup>	Lecturas SPAD
50:0	2.8 ± 0.0 <sup>bcd</sup>	11.3 ± 1.3 <sup>c</sup>	49 ± 5.8 <sup>a</sup>
50:1	2.7 ± 0.1 <sup>cde</sup>	12.5 ± 2.5 <sup>bc</sup>	51 ± 1.9 <sup>a</sup>
50:2	2.8 ± 0.1 <sup>bcd</sup>	11.4 ± 1.4 <sup>bc</sup>	49 ± 2.1 <sup>a</sup>
50:3	2.8 ± 0.2 <sup>bcd</sup>	12.1 ± 2.5 <sup>bc</sup>	53 ± 4.7 <sup>a</sup>
100:0	3.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	12.6 ± 0.6 <sup>bc</sup>	55 ± 2.0 <sup>a</sup>
100:1	3.1 ± 0.1 <sup>ab</sup>	12.2 ± 2.6 <sup>bc</sup>	51 ± 3.2 <sup>a</sup>
100:2	2.8 ± 0.1 <sup>bcd</sup>	11.9 ± 1.1 <sup>bc</sup>	51 ± 6.9 <sup>a</sup>
100:3	3.1 ± 0.0 <sup>ab</sup>	12.5 ± 1.6 <sup>bc</sup>	52 ± 6.7 <sup>a</sup>
150:0	2.6 ± 0.2 <sup>de</sup>	13.2 ± 3.3 <sup>bc</sup>	56 ± 1.1 <sup>a</sup>
150:1	2.9 ± 0.1 <sup>abc</sup>	19.6 ± 0.5 <sup>a</sup>	55 ± 0.7 <sup>a</sup>
150:2	3.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	16.6 ± 2.7 <sup>abc</sup>	54 ± 3.9 <sup>a</sup>
150:3	2.5 ± 0.1 <sup>e</sup>	17.3 ± 2.5 <sup>ab</sup>	54 ± 1.0 <sup>a</sup>
CV	3.71	14.89	7.30
DMSH	0.317	6.009	9.516

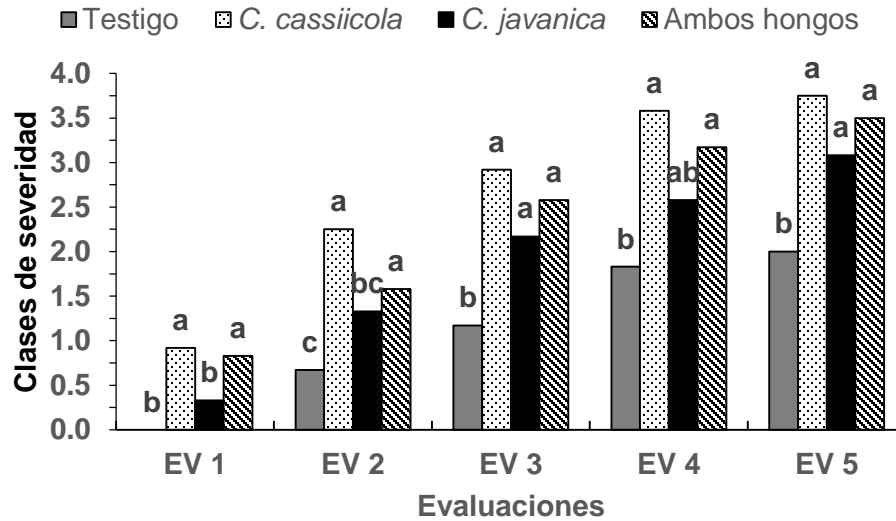
Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ )  $\pm$  desviación estándar. SPAD: Soil Plant Analysis Development, CE: conductividad eléctrica, 50: solución nutritiva Steiner 50%, 100: solución nutritiva Steiner 100%, 150: solución nutritiva Steiner 150%, 0: control, 1: *Corynespora cassiicola*, 2: *Coniella javanica* y 3: ambos hongos, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

### 1.5.5. Severidad

Los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos no mostraron síntomas en cálices, únicamente en hojas. La severidad de los síntomas en hojas está asociada a la inoculación de los hongos y no existe interacción con la concentración porcentual de la solución nutritiva. La prueba de separación de medias indica que a pesar del uso de bolsas de plástico transparente para evitar la contaminación de plantas testigo estas se infectaron (Figuras 1.8, 1.10, y 1.12), es probable que las hormigas que aparecieron en el invernadero provocaron dispersión del inóculo en las plantas testigo.

La mayor severidad se presentó en la parte baja de la planta, causada por el hongo *Corynespora cassiicola* con una severidad del 53% en la última evaluación (Figura 1.9). En la parte intermedia de la planta se presentó una severidad máxima del 49% (Figura 1.11) y en los brotes nuevos de crecimiento la severidad fue inferior al 10%. Es notable que el hongo *Corynespora cassiicola* tiene mayor severidad en los diferentes estratos de la planta y el hongo *Coniella javanica* con excepción del testigo mostró menor severidad (Figuras 1.8, 1.10, y 1.12). Los géneros *Coniella* y *Corynespora* tienen la facilidad de

propagarse a partir de esporas; en un estudio realizado por Noriega-Cantú *et al.* (2020) encontraron que estos géneros de hongos fitopatógenos son los más comunes, presentes en el aire sobre el cultivo de jamaica y que las variaciones del clima y temperatura determinan la concentración de esporas.



**Figura 1.8. Separación de medias de las clases de severidad en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaanapa en la parte baja de la planta por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.** Valores con la misma letra en cada evaluación, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). EV 1: evaluación 1 a los 64 ddt, EV 2: evaluación 2 a los 71 ddt, EV 3: evaluación 3 a los 78 ddt, EV 4: evaluación 4 a los 85 ddt, EV 5: evaluación 5 a los 91 ddt.

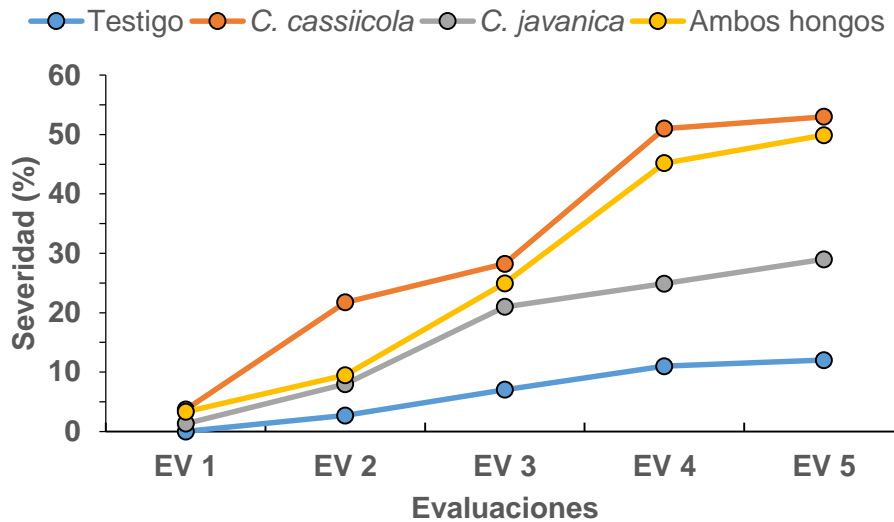


Figura 1.9. Progreso de la enfermedad en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en la parte baja de la planta, en los diferentes tratamientos, durante las cinco evaluaciones.

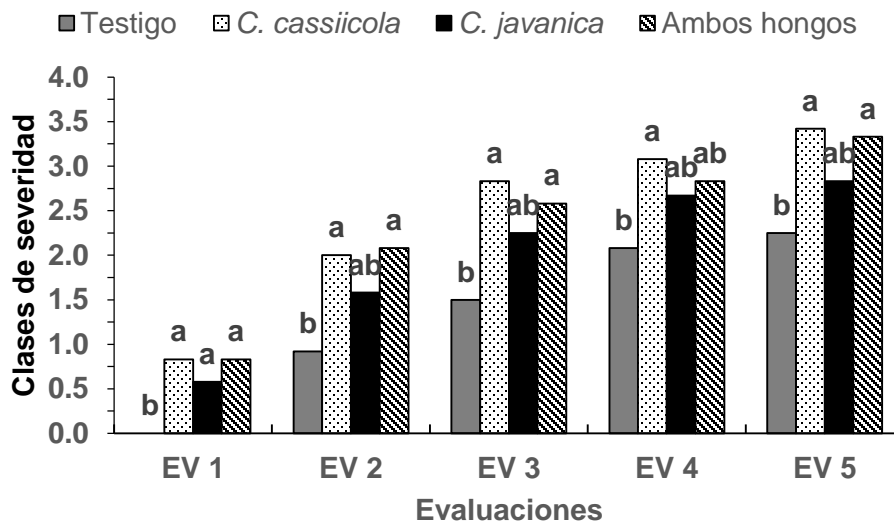


Figura 1.10. Separación de medias de las clases de severidad en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en la parte intermedia de la planta por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. Valores con la misma letra en cada evaluación, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). EV 1: evaluación 1 a los 64 ddt, EV 2: evaluación 2 a los 71 ddt, EV 3: evaluación 3 a los 78 ddt, EV 4: evaluación 4 a los 85 ddt, EV 5: evaluación 5 a los 91 ddt.

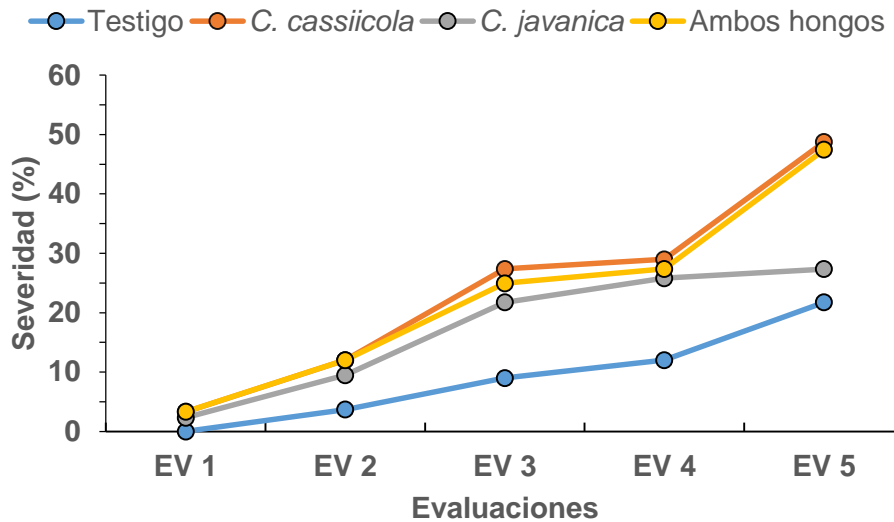


Figura 1.11. Progreso de la enfermedad en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en la parte intermedia de la planta, en los diferentes tratamientos, durante las cinco evaluaciones.

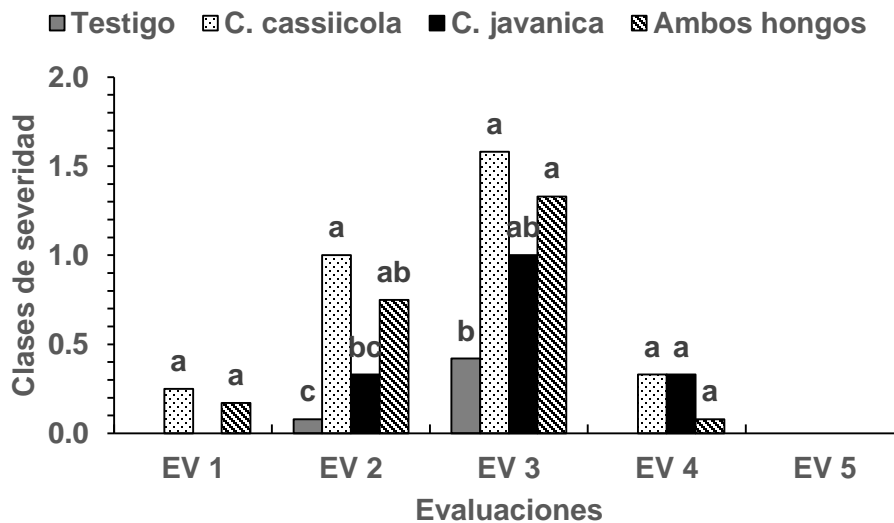


Figura 1.12. Separación de medias de las clases de severidad en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en la parte nueva de la planta por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. Valores con la misma letra en cada evaluación, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). EV 1: evaluación 1 a los 64 ddt, EV 2: evaluación 2 a los 71 ddt, EV 3: evaluación 3 a los 78 ddt, EV 4: evaluación 4 a los 85 ddt, EV 5: evaluación 5 a los 91 ddt.

### 1.5.6. Análisis nutrimental de tejido vegetal

El análisis de varianza de los datos de concentración nutrimental en el muestreo vegetativo (85 ddt) resalta la importancia de la concentración de N, Ca, S, Zn y Mn en hojas. En el Cuadro 1.3 se muestra el efecto de ambos factores y su interacción significativa. Asimismo, la solución afectó estos nutrientes. Conforme se incrementó la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner, las concentraciones de estos nutrientes aumentaron en hoja (Cuadro 1.4), excepto para Mg y Fe sus concentraciones disminuyeron cuando la solución nutritiva estuvo más concentrada (Cuadros 1.4 y 1.5). Los valores obtenidos en el presente estudio son similares a los reportados por Richardson y Arlotta (2021), quienes registraron valores de 2.2 a 3.3% N, de 0.20 a 0.25% S, de 85 a 210 mg kg<sup>-1</sup> Fe, de 20 a 30 mg kg<sup>-1</sup> Zn, en hojas de jamaica, sin embargo, obtuvieron valores superiores de 1.80 a 2.55% Ca y de 25 a 310 mg kg<sup>-1</sup> Mn. Mientras que Atta *et al.* (2010a) encontraron valores de 40 a 50 mg kg<sup>-1</sup> Zn y de 300 mg kg<sup>-1</sup> Mn en hojas de jamaica etapa vegetativa, concentraciones superiores a las encontradas.

Los hongos fitopatógenos influyeron en la concentración de N total, Ca, Zn y Fe. La combinación de *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* tienen menor efecto sobre la concentración de nutrimentos, al inocularlos por si solos es mayor su efecto (Cuadro 1.6).

**Cuadro 1.3. Efecto de la interacción de la solución nutritiva por hongo inoculado en la concentración de macronutrientes y micronutrientes en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en etapa vegetativa (85 ddt).**

Interacción	N	Ca	S	Zn	Mn
50:0	0.74 ± 0.18 <sup>de</sup>	1.35 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>ab</sup>	23.45 ± 0.52 <sup>bcd</sup>	106.03 ± 10.55 <sup>abc</sup>
50:1	0.63 ± 0.07 <sup>e</sup>	1.08 ± 0.14 <sup>b</sup>	0.34 ± 0.02 <sup>ab</sup>	24.17 ± 0.50 <sup>abcd</sup>	93.78 ± 10.98 <sup>bc</sup>
50:2	0.53 ± 0.18 <sup>e</sup>	1.14 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.33 ± 0.01 <sup>b</sup>	21.97 ± 0.53 <sup>d</sup>	88.30 ± 11.20 <sup>c</sup>
50:3	4.70 ± 0.46 <sup>b</sup>	1.33 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>ab</sup>	22.29 ± 0.53 <sup>cd</sup>	108.30 ± 11.33 <sup>abc</sup>
100:0	2.42 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.16 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.37 ± 0.02 <sup>ab</sup>	22.36 ± 1.6 <sup>cd</sup>	109.53 ± 0.96 <sup>abc</sup>
100:1	5.02 ± 0.23 <sup>ab</sup>	1.25 ± 0.10 <sup>ab</sup>	0.41 ± 0.04 <sup>a</sup>	26.39 ± 0.70 <sup>a</sup>	117.97 ± 8.45 <sup>ab</sup>
100:2	6.02 ± 0.68 <sup>a</sup>	1.27 ± 0.09 <sup>ab</sup>	0.38 ± 0.01 <sup>ab</sup>	24.20 ± 1.32 <sup>abcd</sup>	127.36 ± 16.74 <sup>a</sup>
100:3	6.07 ± 0.39 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.10 <sup>ab</sup>	0.39 ± 0.01 <sup>ab</sup>	24.91 ± 1.24 <sup>abc</sup>	122.43 ± 2.42 <sup>a</sup>
150:0	5.46 ± 0.63 <sup>ab</sup>	1.16 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.36 ± 0.02 <sup>ab</sup>	23.15 ± 0.59 <sup>bcd</sup>	118.76 ± 4.93 <sup>ab</sup>
150:1	1.93 ± 0.67 <sup>cd</sup>	1.19 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.39 ± 0.02 <sup>ab</sup>	25.27 ± 1.59 <sup>ab</sup>	119.21 ± 6.06 <sup>ab</sup>
150:2	6.21 ± 0.71 <sup>a</sup>	1.33 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.01 <sup>a</sup>	26.32 ± 0.43 <sup>a</sup>	126.24 ± 3.87 <sup>a</sup>
150:3	5.32 ± 0.14 <sup>ab</sup>	1.35 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.03 <sup>ab</sup>	26.21 ± 1.47 <sup>a</sup>	99.52 ± 8.92 <sup>abc</sup>
CV	11.38	6.75	6.39	3.82	8.51
DMSH	1.268	0.249	0.072	2.746	28.176

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ )  $\pm$  desviación estándar. 50: solución nutritiva Steiner 50%, 100: solución nutritiva Steiner 100%, 150: solución nutritiva Steiner 150%, 0: testigo, 1: *Corynespora cassiicola*, 2: *Coniella javanica* y 3: ambos hongos, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 1.4. Concentración de macronutrientes en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en etapa vegetativa (85 ddt), por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner.**

CPSN	N	Ca	S	Mg
50	1.65 ± 1.86 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.45 ± 0.04 <sup>a</sup>
100	4.88 ± 1.59 <sup>a</sup>	1.23 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>ab</sup>
150	4.73 ± 1.80 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.03 <sup>b</sup>
CV	11.38	6.75	6.39	7.62
DMSH	0.438	0.086	0.025	0.034

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ )  $\pm$  desviación estándar. CPSN: concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner, 50: solución nutritiva Steiner 50%, 100: solución nutritiva Steiner 100%, 150: solución nutritiva Steiner 150%, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.



**Cuadro 1.5. Concentración de micronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en etapa vegetativa (85 ddt), por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner.**

CPSN	Zn	Mn mg kg <sup>-1</sup>	Fe
50	22.97 ± 1.03 <sup>b</sup>	99.10 ± 12.81 <sup>b</sup>	154.92 ± 32.50 <sup>a</sup>
100	24.46 ± 1.85 <sup>a</sup>	119.32 ± 10.59 <sup>a</sup>	124.30 ± 15.32 <sup>b</sup>
150	25.24 ± 1.65 <sup>a</sup>	115.93 ± 11.65 <sup>a</sup>	123.93 ± 18.59 <sup>b</sup>
CV	3.82	8.51	14.81
DMSH	0.948	9.73	20.41

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CPSN: concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner, 50: solución nutritiva Steiner 50%, 100: solución nutritiva Steiner 100%, 150: solución nutritiva Steiner 150%, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 1.6. Concentración de macronutrientos y micronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en etapa vegetativa (85 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.**

Tratamiento inoculado	N	Ca	Zn	Fe
	%		mg kg <sup>-1</sup>	
Testigo	2.87 ± 2.10 <sup>c</sup>	1.22 ± 0.10 <sup>ab</sup>	22.99 ± 1.02 <sup>b</sup>	126.80 ± 33.93 <sup>ab</sup>
<i>Corynespora cassiicola</i>	2.52 ± 1.98 <sup>c</sup>	1.17 ± 0.11 <sup>b</sup>	25.28 ± 1.32 <sup>a</sup>	134.24 ± 12.76 <sup>ab</sup>
<i>Coniella javanica</i>	4.25 ± 2.84 <sup>b</sup>	1.25 ± 0.10 <sup>ab</sup>	24.16 ± 2.03 <sup>ab</sup>	123.94 ± 10.17 <sup>b</sup>
Ambos hongos	5.36 ± 0.67 <sup>a</sup>	1.31 ± 0.10 <sup>a</sup>	24.47 ± 1.100 <sup>a</sup>	152.55 ± 34.96 <sup>a</sup>
CV	11.38	6.75	3.82	14.81
DMSH	0.559	0.110	1.21	26.06

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

En la etapa reproductiva, la concentración de la SN tuvo efecto sobre la concentración de N total, P, K, Ca, S, B, Mn y Mo, con incrementos directamente proporcionales al suministro (Cuadros 1.7 y 1.8). Liu *et al.* (2021) encontraron valores de 2.5 a 3.1% N, de 0.48 a 0.65% P y de 1.5 a 1.8% K en brotes de plantas de jamaica, la concentración de K es similar a la reportada en el presente estudio mientras que N es menor. Por otra parte, Ondo *et al.* (2017) obtuvieron concentraciones de 0.43 a 0.63% P, de 1.4 a 2.58% Ca y de 0.08 a 0.32% Mg en hojas de jamaica, mientras que Eman *et al.* (2007) obtuvieron concentraciones de 2.09 a 2.86% N, de 0.39 a 0.64% P, de 1.78 a 2.04% K y de 57.2 a 88.2 mg kg<sup>-1</sup> Mn en hojas de jamaica en etapa de fructificación.

Garrett-Owen (2019) identificó los rangos de suficiencia de nutrientes del tejido foliar de dos cultivares de *Hibiscus*, obtuvo las siguientes concentraciones, de 4.20 a 4.68% N, de 0.45 a 0.57% P, de 2.59 a 3.02% K, de 1.76 a 1.90% Ca, de 0.38 a 0.46% S, de 18.1

a 99.7 mg L<sup>-1</sup> Mn y de 28.0 a 35.6 mg L<sup>-1</sup> B en hojas recientemente maduras, estos valores son similares a los reportados en el presente estudio, excepto para K que se encuentra en mayor concentración, B y Mn en menores concentraciones.

Los hongos fitopatógenos influyeron en la concentración de N, Mg, B y Mn. El nitrógeno total fue mayor en el testigo y en la combinación de *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica*. Magnesio, B y Mn se concentraron en ausencia de los hongos fitopatógenos (Cuadro 1.9). La concentración de B fue afectada por la interacción de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner y la inoculación de hongos fitopatógenos. La mayor concentración de B en hoja corresponde a la solución de 150% sin inoculación de hongos, la aplicación de hongos fitopatógenos disminuye la concentración foliar de B, lo cual se agrava con 100 y 150% de la solución (Figura 1.13). Es decir, los hongos restringen la absorción de B. En la etapa reproductiva el B debe monitorearse y suministrarse en niveles óptimos, al ser el único nutrimento afectado por los dos factores de estudio. En el cultivo de jamaica las flores son el órgano de interés comercial, el manejo de B es crucial para tener más ramas e incrementar el amarre de flores.

**Cuadro 1.7. Concentración de macronutrientes en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa en etapa reproductiva (160 ddt), por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner.**

CPSN	N	P	K %	Ca	S
50	4.16 ± 0.53 <sup>c</sup>	0.20 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.42 ± 0.20 <sup>b</sup>	1.91 ± 0.30 <sup>b</sup>	0.48 ± 0.08 <sup>b</sup>
100	7.32 ± 0.45 <sup>b</sup>	0.27 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.35 ± 0.14 <sup>b</sup>	2.07 ± 0.26 <sup>ab</sup>	0.51 ± 0.08 <sup>b</sup>
150	7.81 ± 0.48 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.72 ± 0.18 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.30 <sup>a</sup>	0.61 ± 0.08 <sup>a</sup>
CV	5.32	16.54	12.33	13.56	13.04
DMSH	0.351	0.0512	0.189	0.294	0.071

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CPSN: concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner, 50: solución nutritiva Steiner 50%, 100: solución nutritiva Steiner 100%, 150: solución nutritiva Steiner 150%, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 1.8. Concentración de micronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa en etapa reproductiva (160 ddt), por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner.**

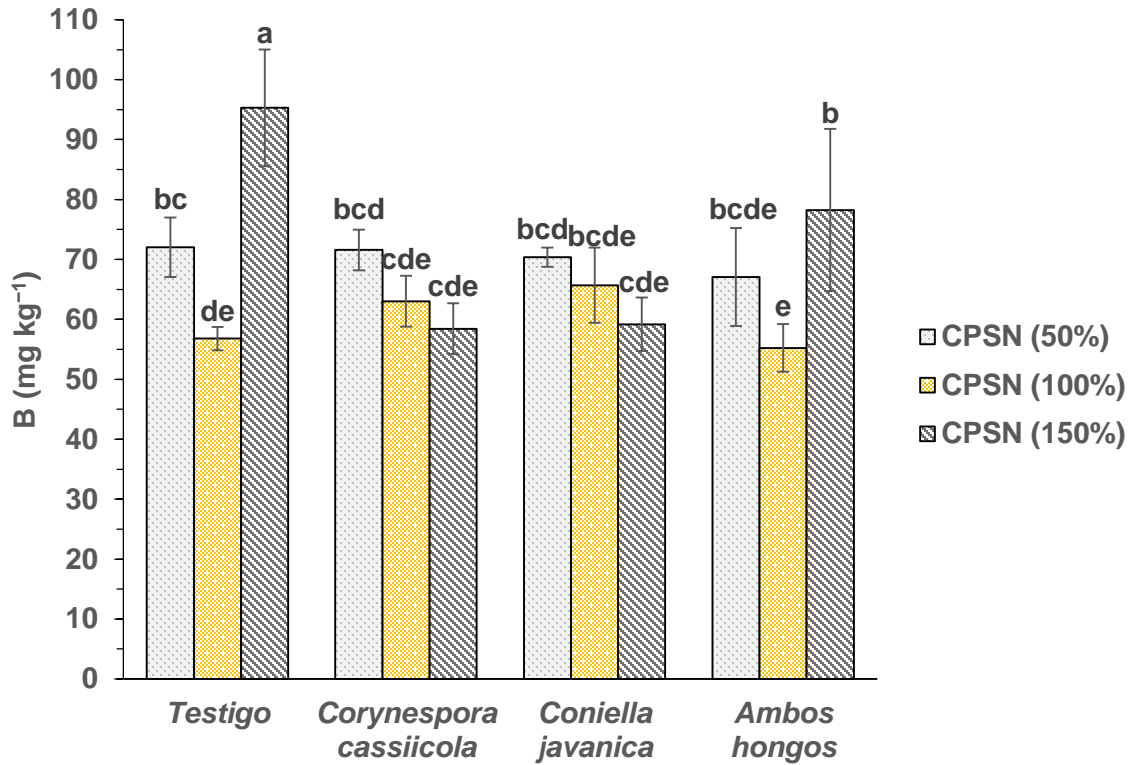
CPSN	B	Mn mg kg <sup>-1</sup>	Mo
50	70.26 ± 4.82 <sup>a</sup>	112.06 ± 21.30 <sup>c</sup>	24.12 ± 2.88 <sup>b</sup>
100	60.18 ± 5.86 <sup>b</sup>	178.28 ± 35.17 <sup>b</sup>	31.61 ± 3.93 <sup>a</sup>
150	72.79 ± 17.61 <sup>a</sup>	227.31 ± 57.12 <sup>a</sup>	31.36 ± 5.43 <sup>a</sup>
CV	7.49	17.66	12.37
DMSH	5.20	31.26	3.68

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CPSN: concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner, 50: solución nutritiva Steiner 50%, 100: solución nutritiva Steiner 100%, 150: solución nutritiva Steiner 150%, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 1.9. Concentración de macronutrientos y micronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa en etapa reproductiva (160 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.**

Tratamiento inoculado	N	Mg	B	Mn
	%		mg kg <sup>-1</sup>	
Testigo	6.91 ± 1.68 <sup>a</sup>	0.68 ± 0.15 <sup>a</sup>	74.70 ± 17.68 <sup>a</sup>	215.48 ± 84.03 <sup>a</sup>
<i>Corynespora cassiicola</i>	6.03 ± 1.82 <sup>b</sup>	0.59 ± 0.06 <sup>ab</sup>	64.35 ± 6.73 <sup>b</sup>	156.35 ± 41.28 <sup>b</sup>
<i>Coniella javanica</i>	6.16 ± 1.89 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.05 <sup>b</sup>	65.09 ± 6.25 <sup>b</sup>	161.71 ± 47.27 <sup>b</sup>
Ambos hongos	6.61 ± 1.57 <sup>a</sup>	0.56 ± 0.10 <sup>b</sup>	66.85 ± 12.87 <sup>b</sup>	156.65 ± 55.34 <sup>b</sup>
CV	5.32	15.04	7.49	17.66
DMSH	0.448	0.116	6.638	39.89

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.



**Figura 1.13. Interacción de la concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner y de la inoculación con hongos fitopatógenos sobre la concentración de boro en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa, en etapa reproductiva a los 160 ddt.** Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar. CPSN: concentración porcentual de la solución nutritiva Steiner.

## 1.6 CONCLUSIONES

Con la concentración del 100% de la solución nutritiva Steiner, el cultivo de jamaica favorece la producción de cálices sanos, de buena calidad, sin daños físicos. Lo anterior, incluso cuando las plantas crecen bajo condiciones climáticas adversas y están infectadas por los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*. La combinación de estos hongos genera un efecto patogénico menor, en comparación con una condición infecciosa en que solo un hongo infecta a las plantas de jamaica.

## CAPÍTULO 2. APLICACIÓN DE AMONIO Y NITRATO PARA CONTROLAR EL MANCHADO DEL CÁLIZ EN JAMAICA

### 2.1 RESUMEN

En la producción de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), el manejo de las enfermedades con la nutrición es vital para asegurar el éxito del cultivo, por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la aplicación de amonio y nitrato en plantas inoculadas con los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*, sobre el desarrollo, estado nutrimental, rendimiento y calidad de cálices de jamaica. El experimento se realizó en invernadero con un diseño experimental en bloques completos al azar, con un arreglo factorial tres por cuatro, con seis repeticiones por tratamiento. Se estudió la respuesta de la jamaica variedad Tecoaapa a la forma de nitrógeno: amonio y nitrato, en las relaciones 0/100, 25/75 y 50/50 (%), este mismo factor se combinó con la inoculación de los hongos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*, además de un tratamiento sin inoculación. En la relación 0/100 se obtuvieron plantas de mayor tamaño con menor diámetro de tallo. Las plantas nutridas en una relación 50/50 mostraron un crecimiento más bajo con mayor número de ramas, el mejor rendimiento se obtuvo en la relación 25/75. Las lecturas SPAD fueron mayores conforme se incrementó el amonio. Los hongos fitopatógenos *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* influyeron en la concentración nutrimental de jamaica combinados y de forma independiente. El suministro de una parte del nitrógeno como amonio en la solución nutritiva favorece al cultivo de jamaica, mejora su desarrollo, incrementa el rendimiento y calidad de cálices, a pesar de estar infectadas con los hongos fitopatógenos.

**Palabras clave:** *Hibiscus sabdariffa* L., nitrógeno, relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ , hongos fitopatógenos, solución nutritiva.

# APPLICATION OF AMMONIUM AND NITRATE TO CONTROL CALYX SPOTTING IN ROSELLE

## 2.2 ABSTRACT

In the production of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), the management of diseases with nutrition is vital to ensure the success of the crop, therefore, the objective of this research was to determine the effect of the application of ammonium and nitrate in plants inoculated with the phytopathogenic fungi *Coniella javanica* and *Corynespora cassiicola*, on the development, nutritional status, yield and quality of roselle calyxes. The experiment was carried out in a greenhouse with a randomized complete block experimental design, with a factorial arrangement of three by four, with six replications per treatment. The response of the roselle variety Tecoanapa to the form of nitrogen: ammonium and nitrate, in the ratios 0/100, 25/75 and 50/50 (%) was studied, this same factor was combined with the inoculation of the fungi *Coniella javanica* and *Corynespora cassiicola*, in addition to a treatment without inoculation. In the 0/100 ratio, larger plants with a smaller stem diameter were obtained. Plants fed in a 50/50 ratio showed lower growth with a higher number of branches, the highest yield was obtained in the 25/75 ratio. The SPAD readings were higher as ammonium increased. The phytopathogenic fungi *Corynespora cassiicola* and *Coniella javanica* influenced the nutrient concentration of roselle combined and independently. The supply of a part of ammonium in the nutrient solution favors the roselle crop, improves its development, increases the yield and calyx quality, despite being infected with phytopathogenic fungi.

**Keywords:** *Hibiscus sabdariffa* L., nitrogen,  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratio, phytopathogenic fungi, nutrient solution.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

En México se destinan aproximadamente 18,400 ha al año para la producción de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) (SIAP, 2019). Es un cultivo importante, se puede utilizar como un alimento funcional, debido a que es rico en vitamina C y antocianinas (Juhari *et al.*, 2018). Es una planta anual, tiene diversos usos, sus cálices se utilizan principalmente, para preparar bebidas refrescantes, mermeladas, jaleas, té y licores (Cid-Ortega y Guerrero-Beltrán, 2015).

El cultivo es susceptible a *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, y *Macrophomina phaseolina*, que son agentes causales de las enfermedades de pudrición y marchitez de la raíz (Hassan *et al.*, 2014a). El hongo *Rhizoctonia solani* es capaz de afectar a plántulas de jamaica (Eslaminejad y Zakaria, 2011). Por otro lado, Correa-Sánchez *et al.* (2011) reportaron por primera vez al hongo *Pilidiella diplodiella* (sin. *Phoma diplodiella*) en el cultivo de jamaica causando manchas foliares, los síntomas inician en las hojas inferiores avanza hacia las hojas superiores, provocando defoliación total con la consecuente pérdida en productividad. Más tarde, Huda-Shakirah *et al.* (2020) identificaron a *Fusarium concentricum* causante manchas en cálices de jamaica, los síntomas son lesiones necróticas irregulares de color marrón a medida que avanza la enfermedad, las lesiones se hundén, aumentan de tamaño y se vuelven de un color marrón más oscuro, provocando la aparición de síntomas de manchas.

Dentro de las enfermedades que puede causar la pérdida total de la producción de jamaica se encuentra la mancha de hoja y cáliz, inducida por el hongo *Corynespora cassiicola* (Berk. & M.A. Curtis) C.T. Wei. Sus síntomas son manchas circulares irregulares en las hojas con centros de color pajizo, bordes negros y anillos púrpuras. Con el tiempo las manchas de las hojas se forman en áreas necróticas. Los cálices forman manchas hundidas necróticas, circulares a irregulares (Ortega-Acosta *et al.*, 2015a). El hongo *Corynespora cassiicola* se encuentra principalmente en las regiones tropicales y subtropicales, es muy diverso en cuanto a la utilización de sustratos y la asociación de hospedantes (Dixon *et al.*, 2009).



Las enfermedades en plantas de jamaica son uno de los principales factores que disminuyen la producción. Una nutrición equilibrada puede controlar las enfermedades hasta cierto punto, es vital tener conocimiento sobre el manejo de las enfermedades con la nutrición y así asegurar mejores rendimientos de producción. Bhaduri *et al.* (2014) mencionan que las plantas que sufren un estrés nutrimental serán más susceptibles a las enfermedades, mientras que una nutrición adecuada de los cultivos hace que las plantas sean más tolerantes o resistentes.

El nitrógeno (N) es un componente importante de todas las proteínas y ácidos nucleicos de las plantas. Está presente en coenzimas, nucleótidos, amidas, ureidos, aminoácidos y en la clorofila (Alcántar-González *et al.*, 2016; Zhihua Zhang *et al.*, 2020). Las plantas requieren N para el crecimiento, desarrollo y defensa contra el estrés abiótico y biótico. El contenido y la forma de N juegan un papel esencial en el metabolismo primario y secundario en las plantas (Mur *et al.*, 2016). El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) son las principales fuentes de N inorgánico absorbidas por las raíces de las plantas superiores (Hawkesford *et al.*, 2012). La urea ( $\text{NH}_2$ )<sub>2</sub>CO es quizás la fuente de N orgánico más utilizada como fertilizante. Tanto las formas orgánicas como las inorgánicas de N se metabolizan en las plantas (Mokhele *et al.*, 2012). En la rizósfera, la raíz puede liberar oxígeno y exudados que influyen en gran medida en el potencial redox local y en la densidad y actividad de las poblaciones microbianas (Guohua *et al.*, 2012).

Los cambios en las cantidades disponibles y el desequilibrio en el suministro de algunas formas de N pueden ser tóxicos para las plantas y, en casos extremos, pueden provocar cambios en la vegetación (Miller y Cramer, 2004). M'rah *et al.* (2010) encontraron que en plántulas de *Arabidopsis thaliana*, bajo cultivo hidropónico cuando la fuente de N amoniacal fue predominante, la deposición de biomasa de toda la planta disminuyó, se presentaron síntomas de estrés celular, clorosis en las hojas, y el contenido de clorofila disminuyó. Sin embargo, hay reportes que una relación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  óptima en la solución nutritiva se logran mayores rendimientos. En los cultivos de fresa (Roosta, 2014), tomate (Hernández *et al.*, 2021), pimiento (Jing Zhang *et al.*, 2019) se obtuvieron los mejores resultados en estimulación de desarrollo de raíces, promoción de actividades

enzimáticas y mayor producción con una relación de amonio y nitrato en la solución nutritiva.

El suministro de N puede afectar las interacciones planta-patógeno a través de un efecto sobre la virulencia del patógeno y en la producción de defensa de la planta (Fagard *et al.*, 2014). López-Berges *et al.* (2010) reportaron que en plantas de tomate suministradas con  $\text{NH}_4^+$  en lugar de  $\text{NO}_3^-$  mostraron una reducción significativa en los síntomas de marchitez vascular agente causal *Fusarium oxysporum*, además encontraron que la fuente de N también afectó el crecimiento invasivo de los hongos *Magnaporthe oryzae* causante del tizón del arroz y *Fusarium graminearum* causante del tizón de la espiga del trigo. Por otro lado, Lecompte *et al.* (2013) obtuvieron que los hongos *Botrytis cinerea* y *Sclerotinia sclerotiorum* inoculados en hojas de plantas de lechuga, se favorecieron por la fertilización de alto contenido de  $\text{NO}_3^-$ . La forma del N en los cultivos se puede utilizar como parte de las estrategias de control de enfermedades, la manera en que se logre dependerá del cultivo y los patógenos que se tienen mayor riesgo (Walters y Bingham, 2007).

En la presente investigación, el objetivo fue determinar el efecto de la aplicación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en plantas inoculadas con los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*, sobre el desarrollo, estado nutrimental, rendimiento y calidad de cálices de jamaica. La hipótesis fue que la presencia de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en la solución nutritiva mejora el desarrollo, estado nutrimental, rendimiento y calidad de cálices de jamaica, a pesar de estar inoculadas con los hongos fitopatógenos.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero con plástico UV-II-720 con transmitancia de 80% luz solar incidente, del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. La temperatura y humedad relativa se registró con el sensor DHT-22 (Smarg-Da®, México) durante todo el experimento. Se utilizó la variedad criolla Tecoanapa registrada en el SNICS. Se evaluó la respuesta de la jamaica a la forma de N:  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , en las relaciones 0/100, 25/75 y 50/50 (%), este mismo factor se combinó con la inoculación de los hongos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*, además de un tratamiento sin inoculación (testigo). Las soluciones nutritivas se elaboraron con base en la solución universal Steiner (1984), la cual se modificó de acuerdo con los tratamientos al usar N en forma de amonio  $\text{NH}_4^+$  dado que originalmente se usa  $\text{NO}_3^-$ . Las soluciones nutritivas no se aplicaron al inicio del experimento con las relaciones indicadas, solo una cuarta parte desde el trasplante hasta el inicio de ramificación de la planta, 40 días después de trasplante (ddt), se aplicaron las soluciones indicadas.

### 2.4.1. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con un arreglo factorial tres por cuatro, con seis repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue una planta colocada en una bolsa negra de polietileno con el sustrato tezontle, con granulometría de 1 a 2 cm, densidad aparente promedio de  $1.13 \text{ g cm}^{-3}$ , 50% porosidad total, 23% porosidad de aireación, 27% de capacidad de retención de humedad, sin capacidad de intercambio de cationes y conductividad eléctrica de  $0.05 \text{ dS m}^{-1}$ . Se implementó un sistema de riego por goteo. El riego con la solución nutritiva se aplicó cuatro veces por día: 9, 12, 14 y 16 h con tiempo de riego de 2 min con un gasto de 167 mL en cada evento. Conforme las plantas crecieron, el tiempo de riego se incrementó a 3 min. Las plantas se mantuvieron en posición vertical mediante tutoreo, utilizando rafia.

### 2.4.2. Variables evaluadas

Se evaluaron variables altura de planta (cm) con una cinta métrica de marca Truper®, diámetro del tallo (mm) utilizando un vernier digital CALDI-6MP Truper® (medido 3 cm arriba del cuello de la planta), número de ramificaciones, número de cálices por planta,

peso fresco y seco de planta, peso seco de cálices (g) con una balanza digital marca Ohaus®, Modelo: Scout Pro SP-6001. Se tomaron valores atLEAF en tres hojas recientemente maduras por planta con un medidor portátil atLEAF® CHL STD, los valores fueron transformados a lecturas SPAD de acuerdo los cálculos propuesto por Zhu *et al.* (2012). También se evaluó las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ , en extracto celular de pecíolo (ECP). Asimismo, se cuantificó en ECP la conductividad eléctrica y el pH, durante la etapa vegetativa y floración. Para medir las concentraciones de los iones se utilizaron ionómetros marca Horiba® específicos para los iones indicados.

Se realizó un análisis químico de tejido vegetal de macronutrientes (P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo y Ni) en etapa vegetativa y floración. Esta determinación se realizó mediante una digestión húmeda en muestras molidas y secas, en la cual se pesó 1 g de material vegetal y se adicionaron 8 mL de la mezcla de ácido nítrico-perclórico, dejándose pre digestar por una noche y posteriormente digestar la muestra en una plancha de arena, en una campana extractora Hamilton®, modelo Safeaire a una temperatura de 190 °C hasta que la solución presentara un color claro. Una vez que las muestras se digestaron por completo, se aforaron 25 mL con agua desionizada, se filtró con papel Whatman número 40 y se prosiguió a analizar los elementos en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma de la marca VARIAN®, modelo ICP-OES 725-ES. También, se determinó N total, con el método de Kjeldahl, mediante los procedimientos estándares de laboratorio descritos por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999).

#### **2.4.3. Fuente de inóculo**

En etapa vegetativa y floración las plantas tratadas con diferentes relaciones de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , se inocularon con los hongos fitopatógenos a saber, se utilizaron colonias de *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica*, la inoculación se realizó asperjando el follaje y cálices. Para ambos patógenos se utilizó una concentración de esporas de  $2 \times 10^5$  conidios por mililitro (Ortega-Acosta *et al.*, 2015a; KC y Vallad, 2016).

#### **2.4.4. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos previamente se analizaron con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene ( $p \leq 0.05$ ), los cuales resultaron razonablemente normales y con homogeneidad de varianzas. Posteriormente se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias con Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con el programa estadístico R versión 4.1.1. (R Core Team, 2021).

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1. Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas en que se desarrolló el presente experimento fueron temperaturas por debajo de los 5 °C en los meses de noviembre de 2021 a febrero de 2022. La máxima temperatura registrada fue de 35.5 °C, la humedad relativa mínima que se registró fue de 10% y la máxima de 92%. Las plantas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa, se desarrollaron y cumplieron su ciclo bajo este ambiente (Figura 2.1).

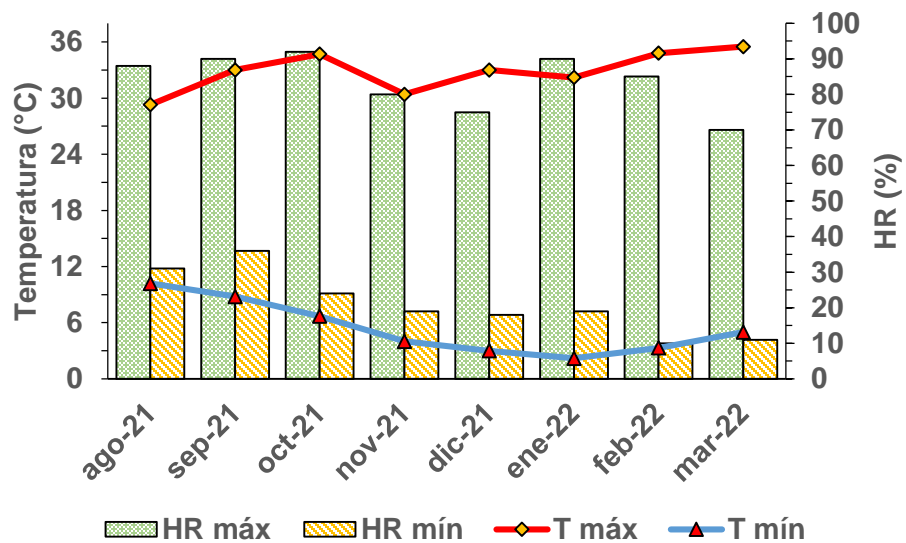


Figura 2.1. Condiciones climáticas en el invernadero donde se desarrolló el experimento.

### 2.5.2. Variables agronómicas

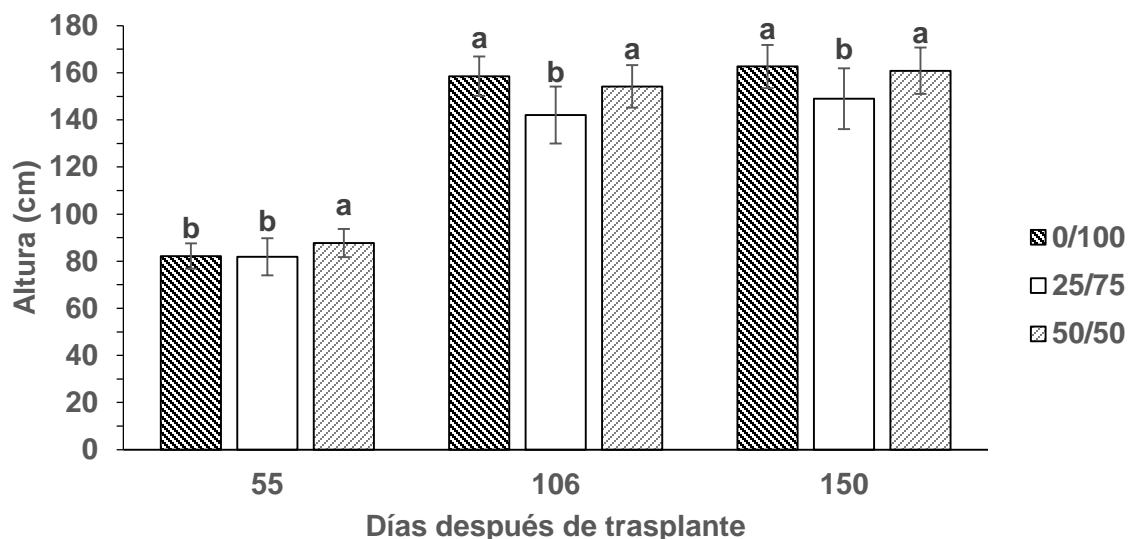
Es importante resaltar que hasta el momento no se encontraron estudios de relaciones  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Sin embargo, se tienen registros en diferentes cultivos. Las relaciones de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  0/100 y 50/50 mostraron alturas de plantas estadísticamente similares en las diferentes etapas fenológicas, pero es notorio que sobresale la relación 0/100 con mayor tamaño, en la relación 25/75 se obtuvieron plantas de menor tamaño (Figura 2.2). La nutrición nitrogenada juega un papel importante en el crecimiento y vigor de las plantas (Hirel *et al.*, 2011; Gill *et al.*, 2011). Ahmadi *et al.* (2021) demostraron que el incremento de la relación  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  aumenta

los parámetros de crecimiento de las plantas y la composición de los aceites esenciales en *Echinacea purpurea*. Por otro lado, Na *et al.* (2014) reportaron que en plántulas de sandía la altura de los brotes disminuyó al aumentar la proporción de  $\text{NH}_4^+$ . Las mayores alturas corresponden al tratamiento con suministro de 100% nitrato, mientras que Lara-Izaguirre *et al.* (2019) en plantas de lechuga, obtuvieron que la aplicación en la relación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  de 0/100 aumentó el crecimiento, en la estación de verano. Estos estudios coinciden a los encontrados en la presente investigación.

El diámetro de tallo es mayor en las plantas con suministro 50/50 de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  y menor en las tratadas con solo nitrato. Las plantas tratadas con una parte de  $\text{NH}_4^+$  tienden a tener un crecimiento más bajo con mayor número de ramas (Cuadro 2.1). El peso fresco y seco de las plantas, estadísticamente no hubo diferencias significativas, sin embargo, la relación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  25/75 mostró el mayor peso fresco de plantas. Chen *et al.* (2011) encontraron que combinaciones 25/75 y 50/50  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  pueden aumentar significativamente la producción de biomasa en cultivo de soya. Por otro lado, Qin *et al.* (2017) reportaron que toda la biomasa de raíces y brotes de los dos cultivares de canola (*Brassica napus* L.) fue mayor en la proporción de 7.5/7.5, de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en una concentración constante de N de 15 mmol/L.

En la relación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  25/75 se obtuvo el mayor número de cálices maduros, y menor número de cálices en la relación 0/100, asimismo como menor peso fresco de plantas (Cuadro 2.1). En el peso seco de cálices maduros estadísticamente no hubo diferencias significativas, sin embargo, en la relación 25/75 mostro mayor peso con un promedio de 21.79 g planta<sup>-1</sup>. Roosta (2014) reportó que al aumentar la proporción de  $\text{NH}_4^+$  en las soluciones nutritivas, mejora el crecimiento reproductivo, en términos de número de frutos y rendimiento en el cultivo de fresa. Hernández *et al.* (2021) identificaron que con la relación  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  de 15/85 en plantas de tomate se obtuvo mayor número de frutos por planta. Mientras que González-Chávez *et al.* (2019) obtuvieron la mejor respuesta de rendimiento en pimiento morrón con la adición de 10% de  $\text{NH}_4^+$  y 90% de  $\text{NO}_3^-$ .

Respecto a la interacción de relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos, no hubo diferencias estadísticas en las variables agronómicas.



**Figura 2.2. Altura de planta por efecto de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoañapa, producida en invernadero.** Valores con la misma letra en los mismos días son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

**Cuadro 2.1. Separación de medias de diámetro de tallo, número de ramas y número de cálices maduros en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoañapa, por efecto de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  producidas en invernadero.**

Relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Diámetro de tallo <sup>†</sup> mm	Número de ramas <sup>‡</sup>	Número de cálices maduros <sup>§</sup>
0/100	9.04 ± 0.77 <sup>b</sup>	21.08 ± 5.90 <sup>b</sup>	54.79 ± 32.53 <sup>b</sup>
25/75	9.54 ± 1.07 <sup>ab</sup>	23.42 ± 6.97 <sup>b</sup>	110.46 ± 53.93 <sup>a</sup>
50/50	10.14 ± 0.89 <sup>a</sup>	27.71 ± 5.95 <sup>a</sup>	102.13 ± 62.32 <sup>a</sup>
CV	9.23	24.84	53.34
DMSH	0.614	4.152	33.01

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. <sup>†, ‡, §</sup> Muestreo a los 55, 106 y 204 días después del trasplante, respectivamente. CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

### 2.5.3. Lecturas SPAD

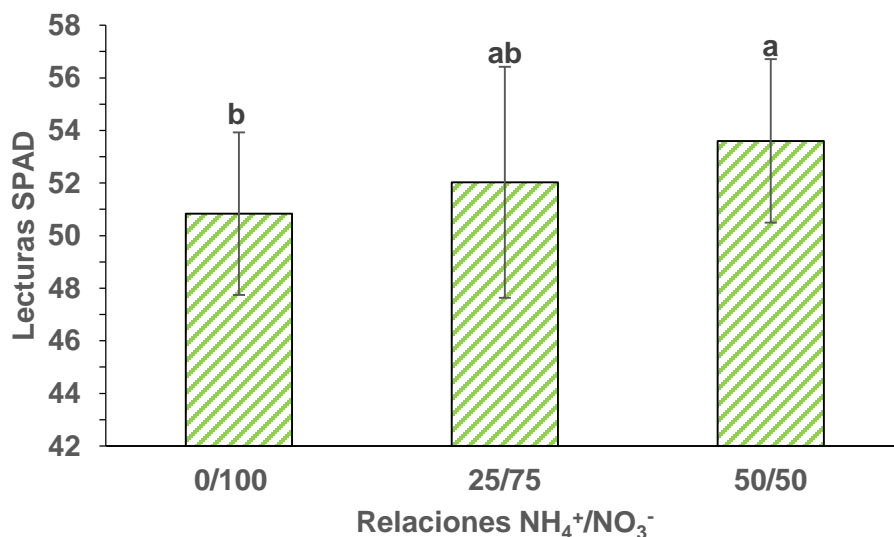
Las lecturas SPAD mostraron diferencias estadísticamente significativas para las relaciones  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , conforme se incrementó el  $\text{NH}_4^+$  los valores fueron más altos (Figura 2.3). Los resultados obtenidos oscilan en el intervalo reportados por Seghatoleslami *et al.* (2013) con lecturas SPAD de 36.5 a 54.3, donde evaluaron tratamientos de riego y fechas de siembra en jamaica. Por otra parte, Liu *et al.* (2021) registraron lecturas SPAD de 38 a 50, estudiaron los efectos del biocarbón y el compost



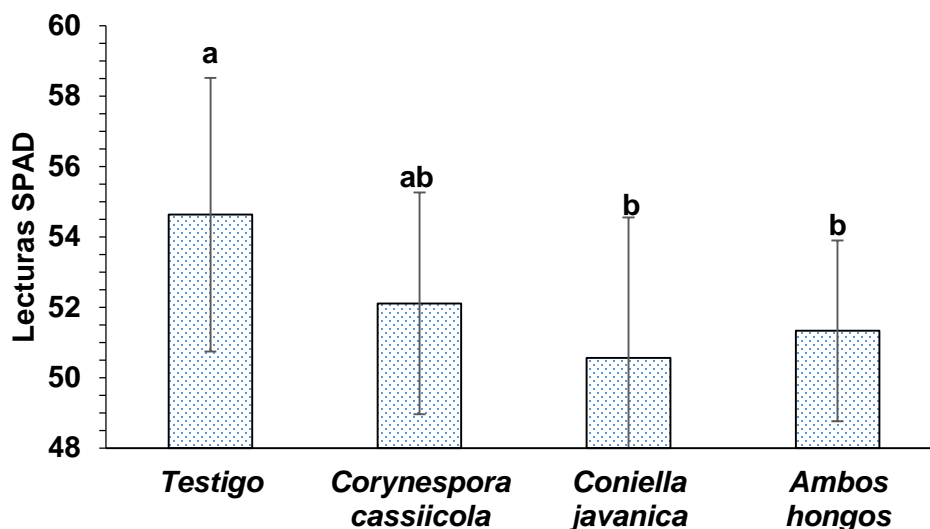
en jamaica. Por el contrario, Loeza-Corte *et al.* (2016) obtuvieron lecturas SPAD de 27.8 a 30.12 en jamaica bajo el efecto de niveles de N, valores inferiores a los encontrados en este estudio.

En una investigación realizada por Zhang *et al.* (2020) evaluaron diferentes relaciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , sobre la eficiencia de la fotosíntesis en pimiento (*Capsicum annuum* L.); obtuvieron que una relación 75/25 aumentó los contenidos de clorofila a, área foliar y materia seca. Mientras que Fernandes-Carr *et al.* (2020) encontraron que las relaciones de  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  de 87.5/12.5 y 50/50 en plantas de café presentan una mayor capacidad fotosintética.

Los hongos fitopatógenos *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* inoculados, en etapa vegetativa afectaron las lecturas SPAD, combinados y de forma independiente, provocando mayor efecto negativo el hongo *C. javanica*, donde se registraron menores valores (Figura 2.4).



**Figura 2.3. Lecturas SPAD en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa, en etapa vegetativa (55 ddt), por efecto de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  producidas en condiciones de invernadero.** Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.



**Figura 2.4.** Lecturas SPAD en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa, en etapa vegetativa (55 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

#### 2.5.4. Análisis de extracto celular de pecíolo

Existe interacción entre las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y presencia por inoculación de hongos patógenos, en la concentración de iones específicos de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en el extracto celular de pecíolo (ECP) en etapa vegetativa. Los valores más altos se registraron en las plantas tratadas con 100%  $\text{NO}_3^-$  y sin presencia de hongos fitopatógenos (Cuadro 2.2). En los análisis de ECP, por efecto de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  se encontró que la concentración de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , pH y CE se incrementa en la relación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  0/100 y para  $\text{Na}^+$  es mayor su concentración en la relación 50/50, en la mayoría de los iones las menores concentraciones se registraron en las relaciones 25/75 y 50/50 (Cuadro 2.3). No se encontraron valores de referencia de iones específicos de ECP en etapa vegetativa en jamaica, pero los resultados obtenidos en el presente estudio se aproximan a los valores de iones en ECP reportados en otros cultivos como en pimiento dulce Rodríguez *et al.* (2021) proponen el valor de suficiencia de  $6200 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  y Peña-Fleitas *et al.* (2015) sugieren  $4650 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  para el cultivo de tomate y en melón obtuvieron un promedio de  $5137 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$  en el tratamiento de  $13.4 \text{ mmol L}^{-1}$  de N. Por otro lado, Llanderal *et al.* (2019) reportaron para tomate en etapa vegetativa concentraciones de  $4871 \text{ mg L}^{-1}$   $\text{NO}_3^-$ , de  $4000 \text{ mg L}^{-1}$   $\text{K}^+$  y de  $486 \text{ mg L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$ . Mientras

que Benavides-Mendoza *et al.* (2021) reportaron valores de 6675 a 9225 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de 3575 a 4800 mg L<sup>-1</sup> K<sup>+</sup>, de 35 a 102 mg L<sup>-1</sup> Ca<sup>2+</sup>, de 81 a 132 mg L<sup>-1</sup> Na<sup>+</sup> en ECP de melón etapa vegetativa.

En el análisis de varianza se obtuvo que para K<sup>+</sup>, pH y CE no existe efecto de tratamientos con hongos inoculados. Caso contrario para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Na<sup>+</sup> donde si hubo efectos. El hongo fitopatógeno *Coniella javanica* afectó las concentraciones de estos iones, dando como resultado los valores más bajos, la combinación de *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* disminuyen su efecto en comparación de los hongos inoculados de forma independiente (Cuadro 2.4).

**Cuadro 2.2. Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo en hojas de jamaica en etapa vegetativa (58 ddt), por efecto de la interacción de las relaciones NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e inoculación con los hongos fitopatógenos producidas en condiciones de invernadero.**

Interacción		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TI	mg L <sup>-1</sup>		
0/100	0	8766.67 ± 472.6 <sup>a</sup>	5566.67 ± 57.7 <sup>a</sup>	206.67 ± 20.8 <sup>a</sup>
	1	7400.00 ± 200.0 <sup>b</sup>	4866.67 ± 208.2 <sup>ab</sup>	163.33 ± 5.8 <sup>b</sup>
	2	6266.67 ± 305.5 <sup>bc</sup>	5466.67 ± 230.9 <sup>a</sup>	146.67 ± 5.8 <sup>b</sup>
	3	7066.67 ± 550.8 <sup>b</sup>	5433.33 ± 305.5 <sup>a</sup>	166.67 ± 5.8 <sup>b</sup>
25/75	0	5333.33 ± 115.5 <sup>cd</sup>	5100.00 ± 264.6 <sup>ab</sup>	143.33 ± 5.8 <sup>b</sup>
	1	5300.00 ± 300.0 <sup>cd</sup>	4300.00 ± 264.6 <sup>b</sup>	140.00 ± 10.0 <sup>b</sup>
	2	3800.00 ± 953.9 <sup>e</sup>	4766.67 ± 230.9 <sup>ab</sup>	136.67 ± 11.55 <sup>b</sup>
	3	3633.33 ± 288.7 <sup>e</sup>	5100.00 ± 435.9 <sup>ab</sup>	136.67 ± 5.8 <sup>b</sup>
50/50	0	6866.67 ± 378.6 <sup>b</sup>	4833.33 ± 288.7 <sup>ab</sup>	170.00 ± 10.0 <sup>b</sup>
	1	4166.67 ± 251.7 <sup>de</sup>	5433.33 ± 152.8 <sup>a</sup>	96.00 ± 4.0 <sup>c</sup>
	2	3400.00 ± 264.6 <sup>e</sup>	5000.00 ± 608.3 <sup>ab</sup>	100.67 ± 9.0 <sup>c</sup>
	3	3933.33 ± 378.6 <sup>e</sup>	4933.33 ± 57.7 <sup>ab</sup>	166.67 ± 20.8 <sup>b</sup>
CV		7.99	5.99	7.66
DMSH		1304.568	901.462	33.609

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. TI: tratamiento inoculado, 0: control, 1: *Corynespora cassiicola*, 2: *Coniella javanica* y 3: ambos hongos, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 2.3. Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo en hojas de jamaica en etapa vegetativa (58 ddt), por efecto de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  producidas en condiciones de invernadero.**

Relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+$	pH	CE mS $\text{cm}^{-1}$
	mg $\text{L}^{-1}$					
0/100	7375 ± 1005 <sup>a</sup>	5333 ± 342 <sup>a</sup>	171 ± 25 <sup>a</sup>	62 ± 8 <sup>b</sup>	3 ± 0.10 <sup>a</sup>	18 ± 1.3 <sup>a</sup>
25/75	4517 ± 949 <sup>b</sup>	4817 ± 432 <sup>b</sup>	139 ± 7.9 <sup>b</sup>	53 ± 3 <sup>c</sup>	2.8 ± 0.08 <sup>b</sup>	16 ± 0.6 <sup>b</sup>
50/50	4592 ± 1429 <sup>b</sup>	5050 ± 380 <sup>ab</sup>	133 ± 38 <sup>b</sup>	70 ± 23 <sup>a</sup>	2.8 ± 0.07 <sup>b</sup>	16 ± 1.1 <sup>b</sup>
CV	7.99	5.99	7.66	8.91	3.21	6.49
DMSH	450.458	311.268	11.61	5.62	0.094	1.10

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 2.4. Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo en hojas de jamaica en etapa vegetativa (58 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.**

Tratamiento inoculado	$\text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+$
	mg $\text{L}^{-1}$		
Testigo	6988.89 ± 1521.06 <sup>a</sup>	173.33 ± 30.00 <sup>a</sup>	75.44 ± 23.71 <sup>a</sup>
<i>Corynespora cassicola</i>	5622.22 ± 1437.69 <sup>b</sup>	133.11 ± 30.23 <sup>c</sup>	57.89 ± 9.96 <sup>b</sup>
<i>Coniella javanica</i>	4488.89 ± 1440.87 <sup>c</sup>	128.00 ± 22.38 <sup>c</sup>	54.22 ± 4.09 <sup>b</sup>
Ambos hongos	4877.78 ± 1686.55 <sup>c</sup>	156.67 ± 18.70 <sup>b</sup>	58.44 ± 7.81 <sup>b</sup>
CV	7.99	7.66	8.91
DMSH	574.967	14.813	7.17

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

Existe interacción entre las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y presencia por inoculación de hongos patógenos, en la concentración de iones específicos en el ECP en etapa de floración, los resultados muestran que en promedio los valores más altos de nitratos y CE se encontraron en las relaciones 0/100 y 25/75 y menores concentraciones en la relación 50/50. La mayor concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  se registró en la relación 25/75, y las concentraciones más altas de  $\text{Na}^+$  y pH se obtuvieron en la relación 50/50 (Cuadros 2.5 y 2.6). En el análisis de varianza que se obtuvo para pH y CE no existe efecto de tratamientos con hongos inoculados. En contraste para  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  donde si hubo efectos, los hongos fitopatógenos inoculados de forma independiente tienen mayor efecto, disminuyen la concentración de estos iones (Cuadro 2.7). Los valores obtenidos son superiores a los reportados por Flores-Bernal *et al.* (2021), quienes encontraron

concentraciones de 332 a 872 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de 1722 a 2740 mg L<sup>-1</sup> K<sup>+</sup>, 3.60 a 8 mg L<sup>-1</sup> Ca<sup>2+</sup>, en ECP de ocho genotipos de jamaica en etapa de floración.

Sin embargo, los resultados encontrados en el presente trabajo se aproximan a los valores de iones específicos en ECP reportados en otras especies como en papa cultivar Diacol Capiro, se reportan niveles de referencia en etapa de floración de K<sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en savia con 3280 mg L<sup>-1</sup> y de 5451 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente (Gómez *et al.*, 2017). Por otra parte, Hochmuth *et al.* (2012) registraron las siguientes concentraciones adecuadas de nitrato y potasio en la savia fresca del pecíolo en etapa de floración en los siguientes cultivos: pimiento, los valores oscilan de 6200 a 7086 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de 3000 a 3200 mg L<sup>-1</sup> K<sup>+</sup>, tomate cultivado en campo abierto, intervalos de 2657 a 3543 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de 3500 a 4000 mg L<sup>-1</sup> K<sup>+</sup>, y melón inicio de floración concentraciones de 4429 a 5314 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de 4000 a 5000 mg L<sup>-1</sup> K<sup>+</sup>. Mientras que Ojodeagua-Arredondo *et al.* (2008) reportaron concentraciones de 2329 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de 437 mg L<sup>-1</sup> P, de 4357 mg L<sup>-1</sup> K<sup>+</sup>, de 260 mg L<sup>-1</sup> Ca<sup>2+</sup> y de 250 mg L<sup>-1</sup> Mg<sup>2+</sup> en ECP de tomate cultivar Gironda cultivado en tezontle en etapa reproductiva.

**Cuadro 2.5. Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo (ECP) en hojas de jamaica en etapa de floración (106 ddt), por efecto de la interacción de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e inoculación con los hongos fitopatógenos producidas en condiciones de invernadero.**

Interacción $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	TI	$\text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+$	pH	CE $\text{mS cm}^{-1}$
		$\text{mg L}^{-1}$				
0/100	0	8167 ± 322 <sup>ab</sup>	130 ± 0 <sup>abc</sup>	57 ± 0 <sup>c</sup>	2.8 ± 0.1 <sup>abc</sup>	11 ± 0.3 <sup>b</sup>
	1	8200 ± 458 <sup>ab</sup>	117 ± 6 <sup>abcd</sup>	67 ± 5 <sup>c</sup>	2.9 ± 0.1 <sup>ab</sup>	12 ± 1.4 <sup>a</sup>
	2	8033 ± 416 <sup>ab</sup>	99 ± 10 <sup>d</sup>	65 ± 3 <sup>c</sup>	2.8 ± 0.1 <sup>abcd</sup>	11 ± 0.2 <sup>b</sup>
	3	8133 ± 153 <sup>ab</sup>	133 ± 6 <sup>ab</sup>	56 ± 4 <sup>c</sup>	2.8 ± 0.1 <sup>abcd</sup>	11 ± 0.5 <sup>ab</sup>
25/75	0	8267 ± 252 <sup>ab</sup>	120 ± 10 <sup>abcd</sup>	147 ± 15 <sup>a</sup>	2.7 ± 0.0 <sup>cd</sup>	10 ± 0.1 <sup>b</sup>
	1	8600 ± 265 <sup>a</sup>	140 ± 10 <sup>a</sup>	56 ± 1 <sup>c</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>d</sup>	11 ± 0.2 <sup>b</sup>
	2	8167 ± 252 <sup>ab</sup>	110 ± 10 <sup>abcd</sup>	110 ± 10 <sup>b</sup>	2.8 ± 0.2 <sup>abcd</sup>	11 ± 0.7 <sup>ab</sup>
	3	8733 ± 666 <sup>a</sup>	123 ± 12 <sup>abcd</sup>	137 ± 6 <sup>ab</sup>	2.7 ± 0.1 <sup>bcd</sup>	11 ± 0.5 <sup>ab</sup>
50/50	0	9133 ± 551 <sup>a</sup>	130 ± 17 <sup>abc</sup>	150 ± 27 <sup>a</sup>	2.8 ± 0.1 <sup>abc</sup>	11 ± 0.2 <sup>b</sup>
	1	6533 ± 208 <sup>c</sup>	103 ± 6 <sup>cd</sup>	160 ± 17 <sup>a</sup>	2.9 ± 0.0 <sup>a</sup>	10 ± 0.4 <sup>b</sup>
	2	7300 ± 346 <sup>bc</sup>	113 ± 6 <sup>abcd</sup>	163 ± 6 <sup>a</sup>	2.8 ± 0.1 <sup>abc</sup>	11 ± 0.3 <sup>b</sup>
	3	7133 ± 153 <sup>bc</sup>	109 ± 12 <sup>abcd</sup>	137 ± 6 <sup>ab</sup>	2.8 ± 0.1 <sup>abc</sup>	10 ± 0.3 <sup>b</sup>
CV		4.81	7.75	10.02	2.00	4.14
DMSH		1146.523	27.396	32.339	0.166	1.349

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. TI: tratamiento inoculado, 0: control, 1: *Corynespora cassiicola*, 2: *Coniella javanica* y 3: ambos hongos, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 2.6. Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo (ECP) en hojas de jamaica en etapa de floración (106 ddt), por efecto de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  producidas en condiciones de invernadero.**

Relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Na}^+$	pH	CE $\text{mS cm}^{-1}$
	$\text{mg L}^{-1}$			
0/100	8133 ± 311 <sup>a</sup>	61 ± 5.8 <sup>c</sup>	2.81 ± 0.07 <sup>a</sup>	11.38 ± 0.9 <sup>a</sup>
25/75	8442 ± 419 <sup>a</sup>	112 ± 38 <sup>b</sup>	2.71 ± 0.09 <sup>b</sup>	10.94 ± 0.6 <sup>ab</sup>
50/50	7525 ± 1058 <sup>b</sup>	153 ± 18 <sup>a</sup>	2.83 ± 0.08 <sup>a</sup>	10.58 ± 0.3 <sup>b</sup>
CV	4.81	10.02	2.00	4.14
DMSH	395.886	11.166	0.057	0.466

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

**Cuadro 2.7. Concentración de iones específicos en el extracto celular de pecíolo (ECP) en hojas de jamaica en etapa de floración (106 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.**

Tratamiento inoculado	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
		mg L <sup>-1</sup>		
Testigo	8522 ± 574 <sup>a</sup>	6289 ± 280 <sup>a</sup>	127 ± 11 <sup>a</sup>	118 ± 48 <sup>a</sup>
<i>Corynespora cassiicola</i>	7778 ± 991 <sup>b</sup>	5833 ± 274 <sup>bc</sup>	120 ± 17 <sup>a</sup>	94 ± 50 <sup>b</sup>
<i>Coniella javanica</i>	7833 ± 503 <sup>b</sup>	5611 ± 509 <sup>c</sup>	107 ± 10 <sup>b</sup>	113 ± 43 <sup>a</sup>
Ambos hongos	8000 ± 783 <sup>b</sup>	6111 ± 209 <sup>ab</sup>	122 ± 14 <sup>a</sup>	110 ± 41 <sup>a</sup>
CV	4.81	5.42	7.75	10.02
DMSH	505.312	423.198	12.074	14.253

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) ± desviación estándar. CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.

### 2.5.5. Análisis nutrimental de tejido vegetal

Existe diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, en la concentración nutrimental de hojas de jamaica en etapa vegetativa por efecto de la interacción de las relaciones NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e inoculación con hongos fitopatógenos. La mayor concentración de N total y Mg se registró en la relación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0/100 en combinación con el testigo, y la menor concentración en la relación 50/50. El P fue menor su concentración en la relación 25/75 y mayor en la relación 0/100. Las concentraciones de S aumentaron a medida que se incrementó el NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, en la relación 50/50 en combinación con el testigo se obtuvo la concentración más alta y la menor concentración en la relación 0/100 en combinación con los hongos *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* (Cuadro 2.8). Respecto a las concentraciones de los micronutrientes, únicamente hubo diferencias de interacción entre tratamientos para Zn y Ni; su concentración fue mayor en la relación 50/50 y menor en las plantas con suministro 100% NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en combinación con el hongo *Coniella javanica* (Figuras 2.5 y 2.6).

En la concentración de N total, Ca y Mg por efecto de las relaciones NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, presentan la misma tendencia, cuando se incrementa el NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, la concentración de estos nutrientes disminuye. La concentración de P también disminuye con el suministro de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en las relaciones 25/75 y 50/50 estadísticamente son iguales (Figura 2.7). Las concentraciones de B, Mn, Zn y Ni disminuyen en la NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0/100, conforme se incrementa el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sus concentraciones aumentan (Figura 2.8).

Las concentraciones de los nutrimentos encontrados son similares a los reportados en otras investigaciones. Ayeni (2021) obtuvo concentraciones de 0.3 a 0.40% P, de 0.5 a 0.60% Mg, de 1.6 a 2.0% Ca, de 80 mg kg<sup>-1</sup> Fe, de 20 mg kg<sup>-1</sup> Zn y de 86 a 173 mg kg<sup>-1</sup> Mn, en hojas de jamaica etapa vegetativa. Por otro lado, Sánchez-Prado *et al.* (2019) encontraron concentraciones de 3.8% N, de 0.40% P, de 3.7% K, de 2.5% Ca y de 0.70% Mg en la biomasa aérea total de jamaica, en etapa vegetativa 45 días después del trasplante. Mientras que Atta *et al.* (2010b) reportaron concentraciones de 0.54 a 0.58% P, de 2.7 a 3.7% K, de 1.36 a 2.2% Ca y de 0.50 a 0.55% Mg en jamaica etapa vegetativa, las concentraciones mencionadas se encuentran en los intervalos detectados en el presente estudio. En contraste Musa y Ogbadoyi (2012) obtuvieron concentraciones de 18.78 a 20.79 mg kg<sup>-1</sup> Mg, de 24.14 a 24.81 mg kg<sup>-1</sup> Ca, de 31.77 a 33.17 mg kg<sup>-1</sup> Fe y de 0.03 a 0.04 mg kg<sup>-1</sup> Zn, en jamaica etapa vegetativa.

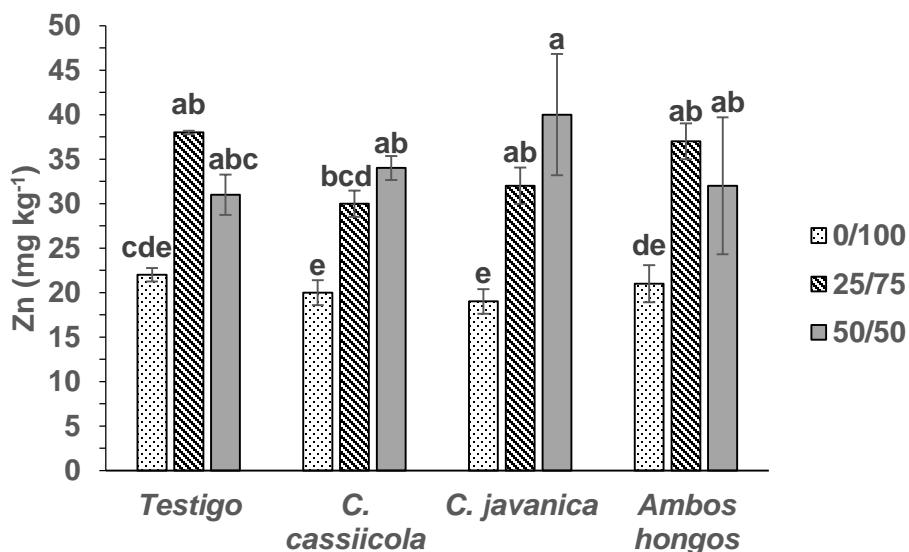
Los hongos fitopatógenos influyeron en la concentración de N, P y S. El hongo *Coniella javanica* tiene mayor efecto patogénico, las plantas inoculadas con este patógeno mostraron menores concentraciones de los nutrimentos mencionados. En ausencia de estos se tienen mayores concentraciones (Figura 2.9).



**Cuadro 2.8. Concentración de macronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e inoculación con hongos fitopatógenos.**

Interacción		N	P	Mg	S
$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	TI	%			
0/100	0	4.78 ± 0.32 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.71 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.01 <sup>ef</sup>
	1	4.41 ± 0.28 <sup>a</sup>	0.67 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.44 ± 0.01 <sup>ef</sup>
	2	3.73 ± 0.21 <sup>b</sup>	0.45 ± 0.05 <sup>c</sup>	0.63 ± 0.07 <sup>abc</sup>	0.41 ± 0.03 <sup>ef</sup>
	3	4.43 ± 0.18 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.07 <sup>bc</sup>	0.70 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.01 <sup>f</sup>
25/75	0	3.45 ± 0.11 <sup>bc</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.52 ± 0.03 <sup>bcd</sup>	0.59 ± 0.02 <sup>bc</sup>
	1	3.13 ± 0.11 <sup>cd</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>cd</sup>	0.49 ± 0.01 <sup>de</sup>
	2	2.87 ± 0.07 <sup>d</sup>	0.27 ± 0.03 <sup>d</sup>	0.57 ± 0.02 <sup>abcd</sup>	0.57 ± 0.04 <sup>bc</sup>
	3	2.94 ± 0.21 <sup>cd</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.52 ± 0.04 <sup>bcd</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>cd</sup>
50/50	0	3.17 ± 0.04 <sup>cd</sup>	0.30 ± 0.03 <sup>d</sup>	0.43 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.71 ± 0.05 <sup>a</sup>
	1	2.78 ± 0.21 <sup>d</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.50 ± 0.01 <sup>cd</sup>	0.68 ± 0.00 <sup>a</sup>
	2	3.17 ± 0.11 <sup>cd</sup>	0.28 ± 0.03 <sup>d</sup>	0.55 ± 0.01 <sup>bcd</sup>	0.67 ± 0.04 <sup>a</sup>
	3	3.22 ± 0.07 <sup>bcd</sup>	0.26 ± 0.02 <sup>d</sup>	0.45 ± 0.04 <sup>d</sup>	0.64 ± 0.03 <sup>ab</sup>
CV		5.24	10.11	8.47	5.01
DMSH		0.546	0.109	0.141	0.081

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). ± desviación estándar. TI: tratamiento inoculado, 0: control, 1: *Corynespora cassiicola*, 2: *Coniella javanica* y 3: ambos hongos, CV: coeficiente de variación, DMSH: diferencia mínima significativa honesta.



**Figura 2.5. Concentración de Zn en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e inoculación con hongos fitopatógenos.** Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

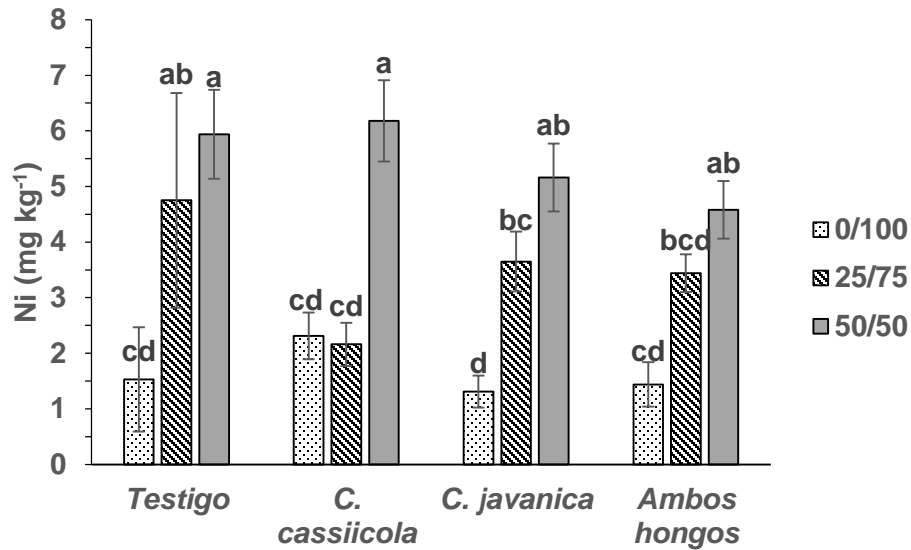


Figura 2.6. Concentración de Ni en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e inoculación con hongos fitopatógenos. Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

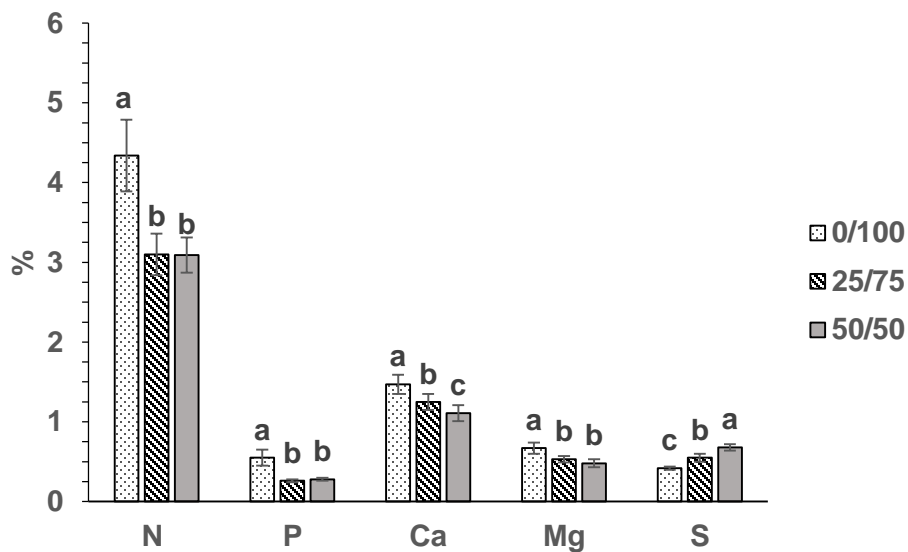
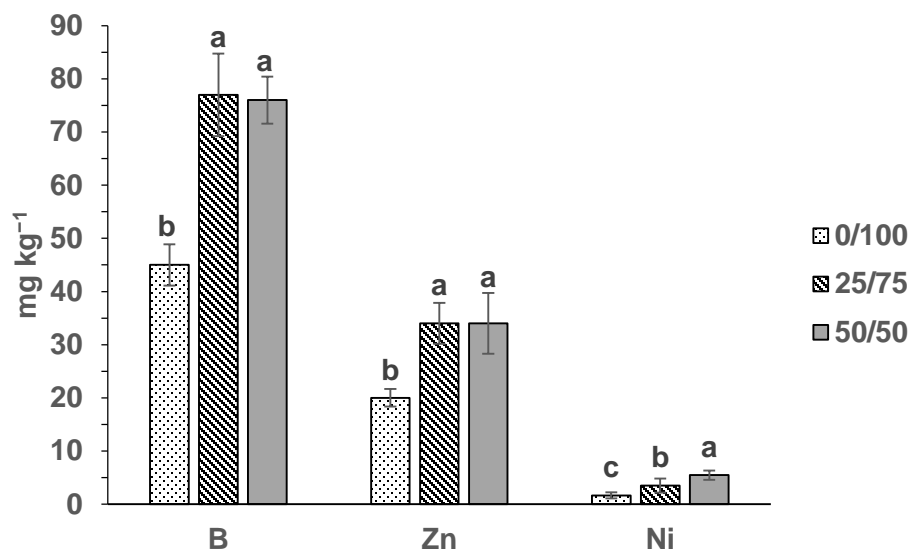
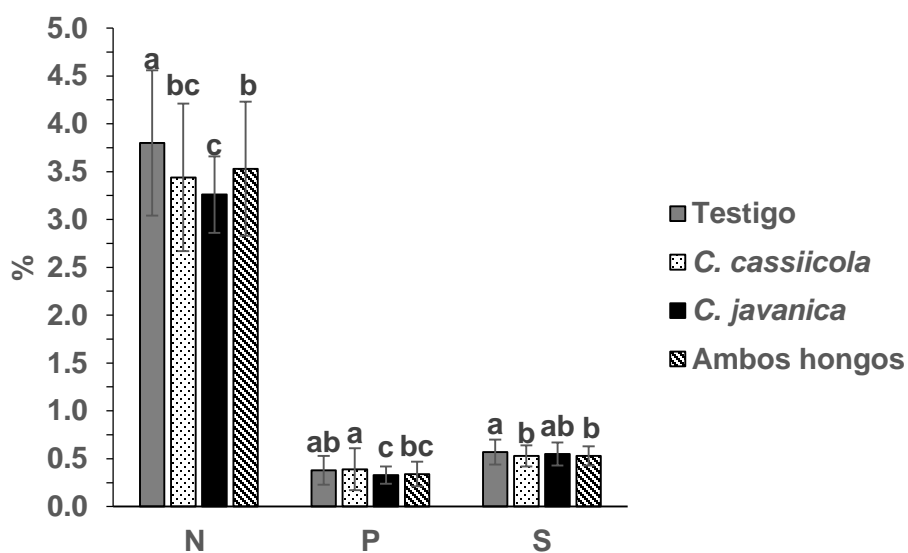


Figura 2.7. Concentración de macronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero, por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra en cada nutriente, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.



**Figura 2.8. Concentración de micronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), producidas en condiciones de invernadero, por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ .** Valores con la misma letra en cada nutriente, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.



**Figura 2.9. Concentración de macronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaanapa en etapa vegetativa (58 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos.** Valores con la misma letra en cada nutriente, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

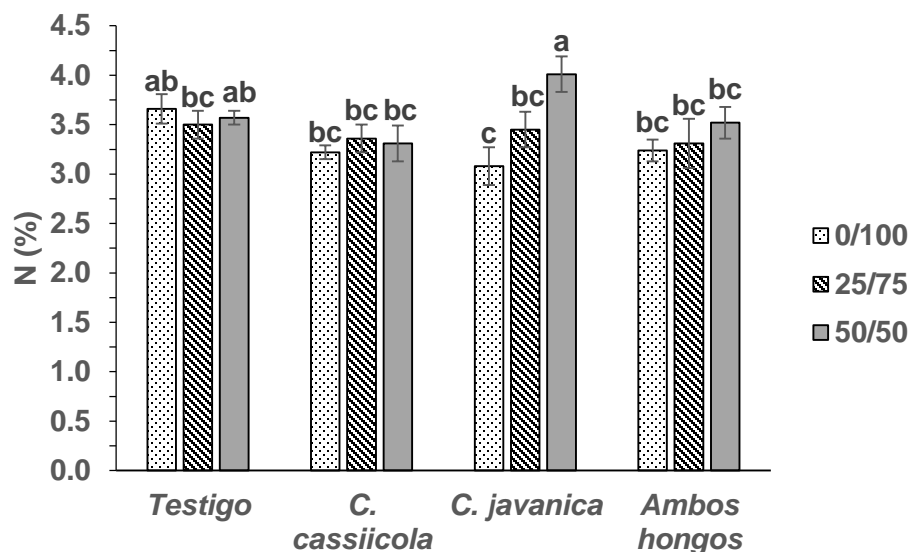
En el análisis nutrimental de tejido vegetal en etapa de floración solamente hubo efectos de interacción de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e inoculación con hongos fitopatógenos en la

concentración de nitrógeno total y azufre. Las menores concentraciones de estos nutrimentos mencionados se registraron en la relación amonio y nitrato 0/100 en combinación con el hongo *Coniella javanica* y las mayores concentraciones en la relación 50/50 (Figuras 2.10 y 2.11).

Las relaciones amonio y nitrato tuvieron efecto sobre la concentración de N total, P, Mg, S, B, Zn, Cu y Ni con incrementos directamente proporcionales al suministro de amonio. En los nutrimentos mencionados se encontraron las menores concentraciones en la relación 0/100, excepto para P y Mg se obtuvieron menores concentraciones en la relación 25/75 (Figuras 2.12 y 2.13). Para K y Ca no hubo diferencias significativas entre tratamientos, pero sus concentraciones se encontraron en intervalos de 1.03 a 1.30% de K, y 1.41 a 1.52% de Ca. Las concentraciones de nutrimentos encontradas en el presente trabajo son similares a las reportadas por Flores-Bernal *et al.* (2021) obtuvieron concentraciones de 1.91% K, de 1.51% Ca, de 129.7 mg kg<sup>-1</sup> Fe, de 179.4 mg kg<sup>-1</sup> Mn, de 46.54 mg kg<sup>-1</sup> B y de 4.17 mg kg<sup>-1</sup> Cu, en hojas de jamaica en la variedad Tecoanapa, etapa de floración, sin embargo, obtuvieron concentraciones inferiores de 1.93% N, de 0.15% P, de 0.23% Mg y de 10.05 mg kg<sup>-1</sup> Zn. Mientras que Olatundun-Salami y Jide-Afolayan (2021) encontraron concentraciones de 0.28% P, de 2.2% K, de 1.77% Ca, de 0.42%Mg, de 63 mg kg<sup>-1</sup> Mn, de 26.5 mg kg<sup>-1</sup> Zn, y de 7 mg kg<sup>-1</sup> Cu en el cultivar rojo de jamaica en etapa de floración, estas concentraciones son similares a las encontradas en este experimento excepto para K que se encuentra en mayor concentración.

Por otra parte Garrett-Owen (2019) identificó los rangos de suficiencia adecuados de nutrimentos del tejido foliar en dos cultivares de Hibiscus, obtuvo las siguientes concentraciones, de 4.20 a 4.68% N, de 0.45 a 0.57% P, de 2.59 a 3.02% K, de 1.76 a 1.90% Ca, de 0.43 a 0.53% Mg, de 0.38 a 0.46% S, de 75.6 a 82.9 mg L<sup>-1</sup> Fe, de 18.1 a 99.7 mg L<sup>-1</sup> Mn, de 44.7 a 45.7 mg L<sup>-1</sup> Zn, de 5.9 a 10.3 mg L<sup>-1</sup> Cu y de 28.0 a 35.6 mg L<sup>-1</sup> B en hojas recientemente maduras, estas concentraciones oscilan a los reportadas en el presente estudio, excepto para potasio que se encuentra en mayor concentración y boro en menor concentración.

Los hongos fitopatógenos *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica* influyeron en la concentración de nitrógeno y magnesio en hojas de jamaica, combinados y de forma independiente (Figura 2.14).



**Figura 2.10. Concentración de nitrógeno total en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoaapa en etapa de floración (106 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e inoculación con hongos fitopatógenos.** Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

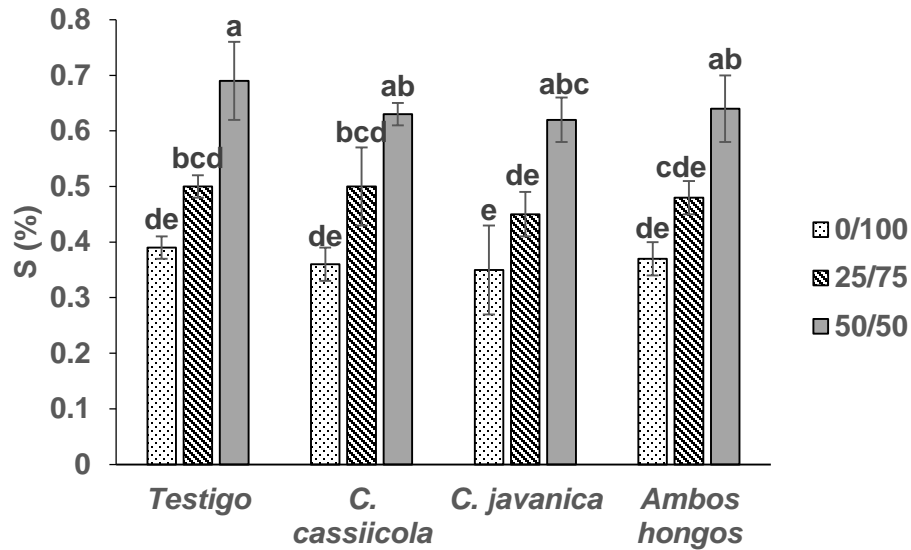


Figura 2.11. Concentración de azufre en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa en etapa de floración (106 ddt), producidas en condiciones de invernadero por efecto de la interacción de las relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  e inoculación con hongos fitopatógenos. Valores con la misma letra son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

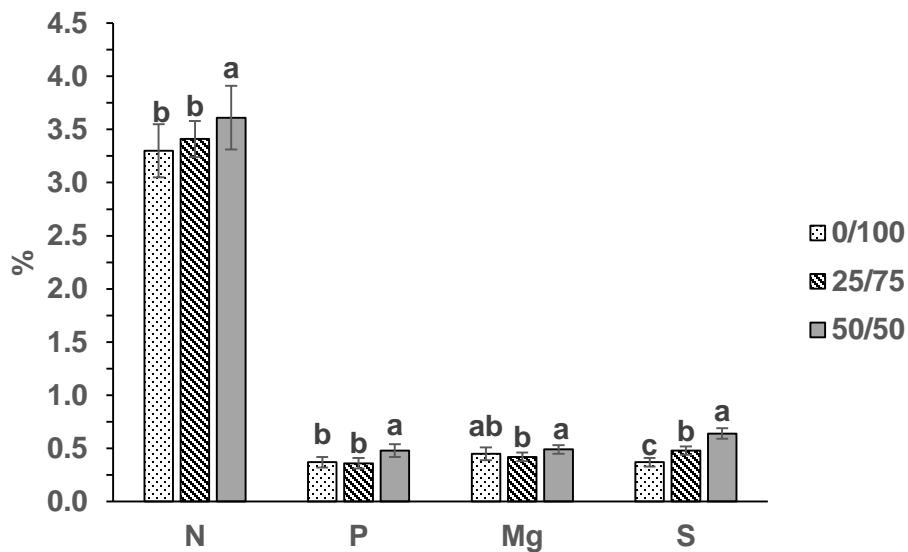


Figura 2.12. Concentración de macronutrientes en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa en etapa de floración (106 ddt), producidas en condiciones de invernadero, por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra en cada nutriente, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

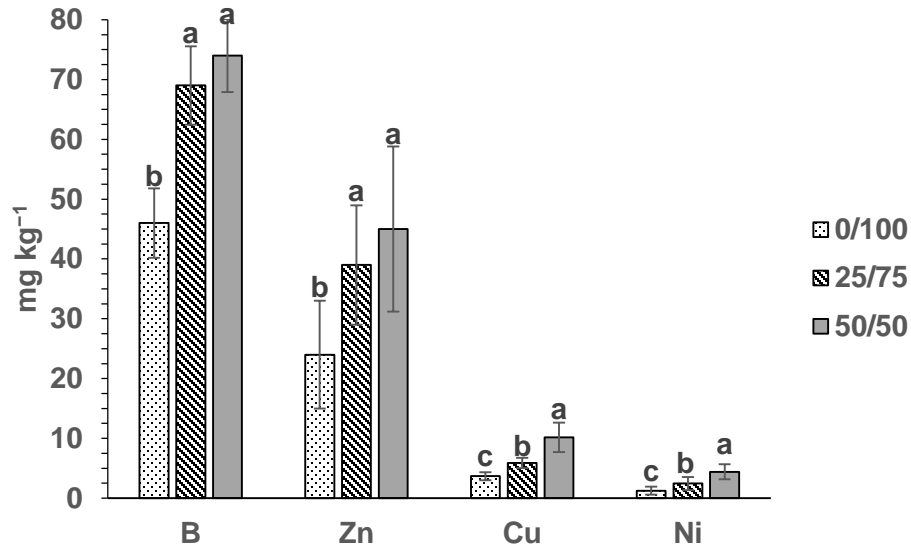


Figura 2.13. Concentración de micronutrientos en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa en etapa de floración (106 ddt), producidas en condiciones de invernadero, por efecto de la relación  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . Valores con la misma letra en cada nutriente, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

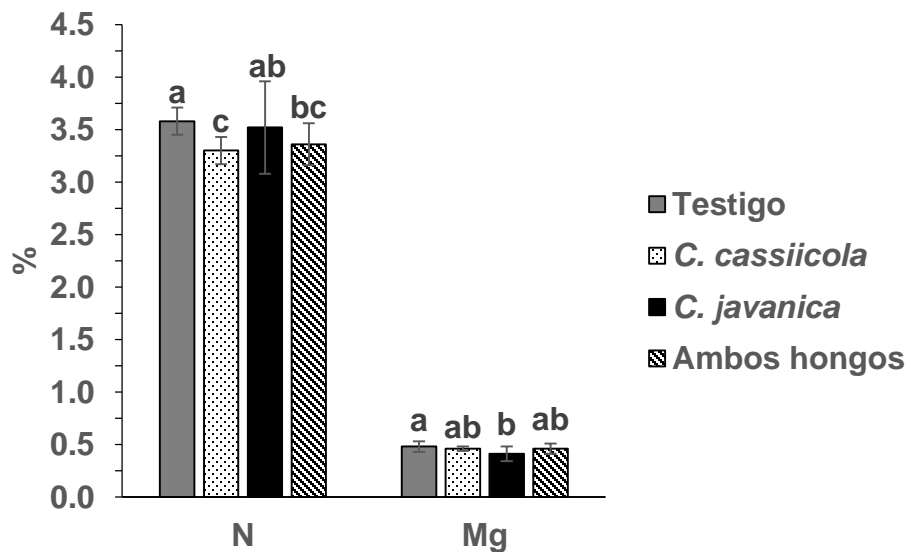


Figura 2.14. Concentración de N y Mg en hojas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad Tecoanapa en etapa de floración (106 ddt), por efecto de los tratamientos inoculados con hongos fitopatógenos. Valores con la misma letra en cada nutriente, son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). En la gráfica se indica la desviación estándar.

## 2.6 CONCLUSIONES

El suministro de una parte del nitrógeno como amonio en la solución nutritiva favorece al cultivo de jamaica, mejora su desarrollo, se incrementa el rendimiento y calidad de cálices, a pesar de estar infectadas con los hongos fitopatógenos *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica*. La combinación de los hongos disminuye su efecto patogénico sobre las variables de estudio en comparación de forma independiente.

Las relaciones amonio y nitrato tuvieron efecto positivo sobre las lecturas SPAD, las concentraciones de iones en extracto de savia en pecíolo y de nutrimentos en jamaica variedad Tecoaapa en etapa vegetativa y floración.



## CONCLUSIONES GENERALES

Una nutrición adecuada del cultivo de jamaica favorece la producción de cálices sanos, de buena calidad, sin daños físicos. Lo anterior, incluso cuando las plantas crecen bajo condiciones climáticas adversas y están infectadas por los hongos fitopatógenos *Coniella javanica* y *Corynespora cassiicola*.

La severidad de los síntomas ocasionados por los hongos inoculados en jamaica actúa independiente de la concentración porcentual de la solución nutritiva, lo cual, implica que los síntomas se pueden presentar, pero, aun así, una nutrición adecuada favorece la producción de cálices en peso y número.

Los hongos restringen la absorción de boro en la etapa reproductiva, dado que en jamaica lo importante son las flores el manejo de este nutrimento es crucial.

El suministro de una relación de amonio y nitrato 25/75 en la solución nutritiva favorece al cultivo de jamaica, mejora su desarrollo, se incrementa el rendimiento y calidad de cálices, a pesar de estar infectadas con los hongos fitopatógenos *Corynespora cassiicola* y *Coniella javanica*.

La combinación de los hongos disminuye su efecto patogénico sobre las variables de estudio en comparación de forma independiente.

Los valores detectados en el ECP, lecturas SPAD y nutrimentos en tejido vegetal pueden ser usados como valores de referencia para estudios posteriores.

Se recomienda que, en las etapas iniciales del cultivo hasta el inicio de ramificación de la planta, una solución nutritiva con conductividad eléctrica de  $0.5 \text{ dS m}^{-1}$  dado que el cultivo en un inicio presenta baja tolerancia a salinidad.

## LITERATURA CITADA

- Abou-Sreea, A. I. B., Roby, M. H. H., Mahdy, H. A. A., Abdou, N. M., El-Tahan, A. M., El-Saadony, M. T., El-Tarabily, K. A. y El-Saadony, F. M. A. (2022). Improvement of selected morphological, physiological, and biochemical parameters of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) grown under different salinity levels using potassium silicate and *aloe saponaria* extract, *Plants*, 11(4), 497. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/plants11040497>
- Agbenin, O. N., and Ogunlana MO. (2006). Occurrence of *Fusarium* wilt and nematodes on red calyx roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in northern Nigeria, *Journal of Plant Protection Research*, 46(2), 117-121.
- Ahmadi, F., Samadi, A., Sepehr, E., Rahimi, A., and Shabala, S. (2021). Optimizing hydroponic culture media and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ratio for improving essential oil compositions of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.), *Scientific Reports*, 11(8009). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87391-9>
- Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., Fernández-Pavía, L., y Rodríguez-Mendoza, M. N. (2016). Elementos esenciales. In: Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I. y Gómez-Merino, F. (Eds.), *Nutrición de cultivos* (pp. 21-55) Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México.
- Alcántar-González, G., y Sandoval-Villa, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal*, (publicación especial 10). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 156 p.
- Al-Sayed, H. M., Hegab, S. A., Youssef, M. A. y Khalafalla, M.Y. (2019). Integrated effect of inorganic and organic nitrogen sources on growth and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), *Assiut Journal of Agricultural Sciences* 50(3), 164-183.
- Amusa, N. A. (2004). Foliar blight of Roselle and its effect on yield in tropical forest region of Southwestern Nigeria, *Mycopathologia* 157, 327–331.
- Amusa, N. A., Adegbite, A. A. y Oladapo, M. O. (2005). Vascular wilt of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*) in the humid forest region of Southwestern Nigeria, *Plant Pathology Journal* 4(2), 122-125. <https://scialert.net/abstract/?doi=ppj.2005.122.125>
- Ansari, M., Eslaminejad, T., Sarhadynejad Z., and Eslaminejad T. (2013). An overview of the roselle plant with particular reference to its cultivation, diseases and usages, *European Journal of Medicinal Plants* 3(1), 135-145.
- Apáez-Barrios, P., Rocha-Granados, M. C., Pedraza-Santos, M. E. y Raya-Montaño, Y. A. (2018). Effect of foliar copper application on yield and anthocyanin concentration in *Hibiscus sabdariffa* calyces, *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 50(2), 65-75.

- Ariza-Flores, R., Serrano-Altamirano, V., Michel-Aceves, A. C., Barrios-Ayala A., Otero-Sánchez, M. A., Avendaño-Arrazate, C. H. y 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.
- Atta, S., Diallo, A. B., Bakasso, Y., Sarr, B., Saadou, M. y Glew, R. H. (2010a). Micro-element contents in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) at different growth stages, *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 10(5), 2615-2628. <https://doi.org/10.4314/ajfand.v10i5.57898>
- Atta, S., Diallo, A. B., Sarr, B., Bakasso, Y., Saadou, M., and Glew, R. H. (2010b). Variation in macro-elements and protein contents of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) from Niger, *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 10, 2707-2718.
- Ayeni, A. (2021). Nutrient content of micro/baby-green and field-grown mature foliage of tropical spinach (*Amaranthus* sp.) and Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), *Foods*, 10(11), 2546. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10112546>
- Barrón-Coronado, A. K., Ayala-Escobar, V., Leyva-Mir, S. G., Nava-Díaz, C., Aranda-Ocampo, S. y Hernández-Morales, J. (2019). First report of *Coniella javanica* causing blight on roselle leaves and calyx in Guerrero, Mexico, *Plant Disease*, 103(5), 1030-1030. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1609-PDN>
- Benavides-Mendoza, A., De Alba-Romenus, K. y Francisco-Francisco, N. (2021). Relation between soil solution composition and petiole cellular extract of crops in western México, *Terra Latinoamericana*, 39, 1-13. e873. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.873>
- Bhaduri, D., Rakshit, R. y Chakraborty, K. (2014). Primary and secondary nutrients-a boon to defense system against plant diseases, *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 5(1), 461-466. <https://doi.org/10.5958/0976-4038.2014.00597.1>
- Castañeda, R. y Cáceres, A. (2014). Compuestos bioactivos y propiedades terapéuticas de los cálices de rosa de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* Linn), *Revista Científica*, 24, 7-24.
- Chen, L., Liu, Q., Gai, J., Zhu, Y., Yang, L., and Wang, C. (2011). Effects of nitrogen forms on the growth and polyamine contents in developing seeds of vegetable soybean, *Journal of Plant Nutrition*, 34, 504–521. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.538113>
- Cid-Ortega, S. y Guerrero-Beltrán, J. A. (2015). Roselle calyces (*Hibiscus sabdariffa*), an alternative to the food and beverages industries: a review, *Journal of Association of Food Scientists & Technologists*, 52(11), 6859–6869. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1800-9>

- Correa-Sánchez, E., Ortiz-García, C. F., Torres de la Cruz, M., Bautista-Muñoz, C. C., Rivera-Cruz, M. C., Lagunes-Espinoza, L. C., y Hernández-Salgado, J. H. (2011). Etiología de la mancha acuosa de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en Tabasco, México, *Revista Mexicana de Fitopatología*, 29, 165-167.
- Da-Costa, R. I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I. y Heinrich, M. (2014). *Hibiscus sabdariffa* L. – A phytochemical and pharmacological review, *Food Chemistry*, 165, 424-443.
- Dixon, L. J., Schlub, R. L., Pernezny, K., and Datnoff, L. E. (2009). Host specialization and phylogenetic diversity of *Corynespora cassicola*. *Phytopathology*, 99, 1015-1027.
- Domínguez, L. A., Remondetto, G. E. y Navarro, S. (2008). Thermal kinetic degradation of anthocyanins in a roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. cv. 'Criollo') infusion, *International Journal of Food Science and Technology*, 43(2), 322-325.
- Eman, E. A., Gad, N. y Badran, N. M. (2007). Effect of cobalt and nickel on plant growth, yield and flavonoids content of *Hibiscus sabdariffa* L. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(2), 73-78.
- Eslaminejad, T., and Zakaria, M. (2011). Morphological characteristics and pathogenicity of fungi associated with Roselle (*Hibiscus Sabdariffa*) diseases in Penang, Malaysia, *Microbial Pathogenesis*, 51, 325-337. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2011.07.007>
- Fagard, M., Launay A., Clément, G., Courtial, J., Dellagi, A., Farjad, M., Krapp, A., Soulié, M. C., and Masclaux-Daubresse, C. (2014). Nitrogen metabolism meets phytopathology, *Journal of Experimental Botany*, 65, 5643–5656. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru323>
- Fahmy, A. A. y Hassan, H. M. S. (2019). Influence of different NPK fertilization levels and humic acid rates on growth, yield and chemical constituents of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), *Middle East Journal of Agriculture Research*, 8(4), 1182-1189. <https://doi.org/10.36632/mejar/2019.8.4.20>
- Fernandes-Carr, N., Boaretto, R. M., and Mattos Jr. D. (2020). Coffee seedlings growth under varied  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  ratio: Consequences for nitrogen metabolism, amino acids profile, and regulation of plasma membrane  $\text{H}^+$ -ATPase, *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.042>
- Flores-Bernal, E. F., Sandoval-Villa, M., Guzmán-Martínez, M., Espinosa-Rodríguez, M., Vázquez-Villamar, M. y Sabino-López, J. E. (2021). Estado nutrimental en el extracto celular de pecíolo y hojas de genotipos de jamaica, *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), e2928, 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a8n11.2928>
- Fox, John. (2005). The R Commander: A basic-statistics graphical user interface to R, *Journal of Statistical Software*, 14(9), 1-42. <http://www.jstatsoft.org/>

- Garrett-Owen, W. (2019). *Hibiscus* leaf tissue nutrient sufficiency ranges by chronological age, *American Society for Horticultural Science*, 54(3), 463–469. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13482-18>
- Gill, S. S., Khan, N. A., Anjum, N. A. and Tuteja, N. (2011). Amelioration of cadmium stress in crop plants by nutrient management: morphological, physiological and biochemical aspects, *Plant Stress* 5, 1-23.
- Gómez, S. M. I., Magnitskiy, S., y Rodríguez, L. E. (2017). Diagnóstico de  $K^+$  y  $NO_3^-$  en savia para determinar el estado nutricional en papa (*Solanum tuberosum* L. subsp. *andigena*), *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11, 133-142. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6132>
- González-Chávez O., Bugarín-Montoya, R., Alejo-Santiago, G., y Juárez-Rosete, C. R. (2019). Relación  $NO_3^-/NH_4^+$  en plantas de pimiento morrón con despunte temprano, *Revista Bio Ciencias* 6, e548. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.01.21>
- Guohua, Xu., Fan, X., and Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency, *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>
- Hassan, N., Elsharkawy, M. M., Shimizu, M., and Hyakumachi, M. (2014a). Control of root rot and wilt diseases of roselle under field conditions, *Mycobiology*, 42(4), 376-384. <http://doi.org/10.5941/MYCO.2014.42.4.376>
- Hassan, N., Shimizu, M. y Hyakumachi, M. (2014b). Occurrence of root rot and vascular wilt diseases in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Upper Egypt, *Mycobiology*, 42(1), 66-72.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager, M. I., and White, P. (2012). Chapter 6 - Functions of macronutrients. In: Petra Marschner, (Ed.), Third Edition, *Marschner's Mineral nutrition of higher plants*. (pp.135-189). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>
- Hernández, A., García, J. C., Robledo, V., Méndez, A., Sandoval, A., and Camposeco, N. (2021). Nitrate/ammonium ratio effect on the growth, yield and foliar anatomy of grafted tomato plants, *Horticultural Science*, 48, 80–89.
- Hernández-Morales, J., Ochoa-Martínez, D. L., Ortega-Acosta, S. A. y Vega-Muñoz, R. (2018). Survey on alternative hosts of *Corynespora cassiicola*, the cause of the leaf and calyx spot, in the surroundings of roselle fields in México, *Tropical Plant Pathology*, 43, 263-270. <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0206-9>
- Hinojosa-Gómez, J., San Martín-Hernández, C., Heredia, J. B., León-Félix, J., Osuna-Enciso, T. y Muy-Rangel, M. D. (2018). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivars calyx produced hydroponically: Physicochemical and nutritional quality, *Chilean Journal of Agricultural Research* 78(4), 478-485. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000400478>

- Hirel, B., Tétu, T., Lea, P. J., and Dubois, F. (2011). Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture, *Sustainability*, 3, 1452-1485. <https://doi.org/10.3390/su3091452>
- Hochmuth, G.; Maynard, D., Vavrina, C., Hanlon, E. and Simonne, E. (2012). HS964/EP081: Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida; *UF/IFAS extension University Florida: Gainesville, FL, USA*. Volume HS 964, 48 p.
- Huber, Don M. y Haneklaus, S. (2007). Managing nutrition to control plant disease, *Landbauforschung Völkenrode* 4(57), 313-322.
- Huda-Shakirah, A. R., Nur-Salsabila, K., and Mohd, M. H. (2020). First report of *Fusarium concentricum* causing fruit blotch on roselle (*Hibiscus sabdariffa*), *Australasian Plant Disease Notes*, 15. <https://doi.org/10.1007/s13314-020-00385-w>
- Ibrahim, O. H. M. (2019). Chelated iron and magnesium boost productivity and anthocyanins content in calyces of *Hibiscus sabdariffa* L., *Assiut Journals Agriculture Science*, 50(2), 93-108. <https://doi.org/10.21608/ajas.2019.41868>
- Jing Zhang., Lv, J., Mujitaba, D. M., Xie, J., Yu, J., Li, J., Zhang, X., Tang, C., Wang, C., and Gan, Y. (2019). Appropriate ammonium-nitrate ratio improves nutrient accumulation and fruit quality in pepper (*Capsicum annuum* L.), *Agronomy*, 9, 683, 1-21. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9110683>
- Juhari, N. H., Bredie, W. L. P., Toldam-Andersen, T. B., and Petersen, M. A. (2018). Characterization of Roselle calyx from different geographical origins, *Food Research International* 112, 378–389. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.049>
- KC, A. N. y Vallad, G. E. (2016). First Report of *Pilidiella granati* causing fruit rot and leaf spots on pomegranate in Florida, *Plant Disease*, 100(6) 1238-1238. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-15-1054-PDN>
- Kiapour, H., Moaveni, P., Sani, B., Rajabzadeh, F. y Mozafari, H. (2020). Changes in some physiological traits and mucilage yield of sour tea (*Hibiscus Sabdariffa* L.) under foliar application of magnesium and iron oxide nanoparticles, *Iranian Journal of Plant Physiology*, 10(4), 3333-3341.
- Lara-Izaguirre, A. Y., Rojas-Velázquez, A. N., Romero-Méndez, M. J., Ramírez-Tobías, H. M., Cruz-Crespo, E., Alcalá-Jáuregui, J. A., y Loredó-Ostí, C. (2019). Crecimiento y acumulación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en lechuga hidropónica con relaciones nitrato/amonio en dos estaciones de cultivo, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(1), 21–29.
- Lecompte, F., Abro, M. A., and Nicot, P. C. (2013). Can plant sugars mediate the effect of nitrogen fertilization on lettuce susceptibility to two necrotrophic pathogens: *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum*?, *Plant Soil*, 369, 387-401. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1577-9>

- Liu, D., Ding, Z., Ali, E. F., Kheir, A. M. S., Eissa, M. A. y Ibrahim, O. H. M. (2021). Biochar and compost enhance soil quality and growth of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) under saline conditions, *Scientific Reports*, 11, 8739. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88293-6>
- Llanderal, A., García-Caparrós, P., Pérez-Alonso, J., Contreras, J. I., Segura, M. L., Reca, J. y Lao, M. T. (2020). Approach to petiole sap nutritional diagnosis method by empirical model based on climatic and growth parameters, *Agronomy*, 10(2), 188. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020188>
- Llanderal, A., García-Caparrós, P., Segura, M. L., Contreras, J. I., and Lao, M. T. (2019). Nutritional changes in petiole sap over space and time in a tomato crop greenhouse, *Journal of Plant Nutrition*, 42(10), 1205-1217. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609504>
- Loeza-Corte, J. M., Morales-Ruiz, A., Olivar-Hernández, A., Vargas-Ramírez, E. J., Marin-Beltran, M. E., León-de la Rocha, J. F., Hernández-Herrera, P., and Díaz-López, E. (2016). Effect of nitrogen on agronomic yield, spad units and nitrate content in roselle (*Hibiscus sabdariffa*.) in dry weather, *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1, 769-776. <http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/1.4.22>
- López-Berges, M. S., Rispaill N., Prados-Rosales R. C., and Di-Pietro A. (2010). A nitrogen response pathway regulates virulence functions in *Fusarium oxysporum* via the protein kinase TOR and the bZIP protein MeaB, *The Plant Cell*, 22, 2459–2475. <https://doi.org/10.1105/tpc.110.075937>
- Miller, A. J. and Cramer, M. D. (2004). Root nitrogen acquisition and assimilation, *Plant and Soil*, 274, 1–36. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0965-1>
- Mokhele, B., Zhan, X., Yang, G. and Zhang, X. (2012). Review: Nitrogen assimilation in crop plants and its affecting factors, *Canadian Journal of Plant Science*, 92, 399-405. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-135>
- M'rah, H. S., Nebli, H., Kaddour, R., Mahmudi, H., Lachaâl, M., and Ouerghi, Z. (2010). Influence of nitrate-ammonium ratio on growth and nutrition of *Arabidopsis thaliana*, *Plant and Soil*, 336, 65-74. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0445-8>
- Mur, J. L. A., Simpson, C., Kumari, A., Gupta, A. K., and Gupta, K. J. (2016). Moving nitrogen to the centre of plant defence against pathogens, *Annals of Botany* 119, 703-709. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw179>
- Musa, A. and Ogbadoyi, E. O. (2012). Effect of nitrogen fertilizer on the levels of some nutrients, anti-nutrients and toxic substances in *Hibiscus sabdariffa*, *Asian Journal of Crop Science* 4, 103-112.
- Na, Liu., Li, Z., Xiangxiang, M., Ara, N., Jinghua, Y., and Mingfang, Z. (2014). Effect of nitrate/ammonium ratios on growth, root morphology and nutrient elements uptake

- of watermelon (*Citrullus lanatus*) seedlings, *Journal of Plant Nutrition*, 37(11), 1859-1872. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.911321>
- Noriega-Cantú, D. H., Toledo-Aguilar, R., Vásquez-Ortiz, R., Alejo-Jaimes, A., Garrido-Ramírez, E. R., Pereyda-Hernández, J. y González-Mateos, R. (2020). Relationship between spore fluctuations, environmental conditions and severity of calyx spot on roselle (*Hibiscus sabdariffa*), *Mexican Journal of Phytopathology*, 38(1), 1-24.
- Ojodeagua-Arredondo, J. L., Castellanos-Ramos, J. Z., Muñoz-Ramos, J. J., Alcántar-González, G., Tijerina-Chávez, L., Vargas-Tapia, P., Enríquez-Reyes, S. (2008). Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 367-374.
- Olatundun-Salami, S., and Jide-Afolayan, A. (2021). Evaluation of nutritional and elemental compositions of green and red cultivars of roselle: *Hibiscus sabdariffa* L., *Nature Research, Scientific Reports*, 11, 1030. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80433-8>
- Ondo, J. A., Eba, F., Francois, E., Hermance-Zita, M. M., Prudent, P., Vassalo, L., Anguile, J. J., Menye-Biyogo, R., Ndzoungou, D. y Ngodoua, E. R. (2017). Soil solution aluminum, and nutrient and aluminum uptake in *Hibiscus sabdariffa* under nitrogen and phosphorous fertilizers, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(14), 1636-1645. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1373795>
- Ortega-Acosta, S. A., Hernández-Morales, J., Sandoval-Islas, J. S., Ayala-Escobar, V., Soto-Rojas, L. y Alejo-Jaimes, A. (2015b). Distribución y frecuencia de organismos asociados a la enfermedad “pata prieta” de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), en Guerrero, México, *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(2), 173-194.
- Ortega-Acosta, S. A., Hernández-Morales, J., Ochoa-Martínez, D. L. y Ayala-Escobar, V. (2015a). First report of *Corynespora cassiicola* causing leaf and calyx spot on roselle in Mexico, *Plant Disease*, 99(7), 1041-1041. <https://doi.org/10.1094/pdis-04-14-0438-pdn>
- Ortega-Acosta, S. A., Ochoa-Martínez, D. L., Hernández-Morales, J., and Palemón-Alberto, F. (2020). Morphological and genetic characterization of *Corynespora cassiicola* isolates obtained from roselle and associated weeds, *Mexican Journal of Phytopathology* 38(1), 62-78.
- Ortega-Acosta, S. A., Velasco-Cruz, C., Hernández-Morales, J., Ochoa-Martínez, D. L. y Hernández-Ruiz, J. (2016). Diagrammatic logarithmic scales for assess the severity of spotted leaves and calyces of roselle, *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34(3), 270-285.
- Ortiz-Márquez, S. (2008). Composición en macronutrientes, minerales y metales pesados en cálices de jamaica cultivada en el estado Monagas, *Revista Voces: Tecnología y Pensamiento* 3(1), 61-75.



- Peña-Fleitas, M.T., Gallardo, M., Thompson, R. B., Farneselli, M., and Padilla, F. M. (2015). Assessing crop N status of fertigated vegetable crops using plant and soil monitoring techniques, *Annals of Applied Biology*, 167, 387-405. <https://doi.org/10.1111/aab.12235>
- Pino, J. A., Márquez, E., and Marbot, R. (2006). Volatile constituents from tea of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 37(3), 127-129.
- Qin, S., Sun, X., Hu, C., Tan, Q., and Zhao, X. (2017). Uptake, transport and distribution of molybdenum in two oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars under different nitrate/ammonium ratios, *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)* 18(6), 512-521. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1600249>
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Rodrigues, M. M., Balaban, M. O., Marshall, M. R., and Rouseff, R. L. (2011). Hot and cold water infusion aroma profiles of *Hibiscus sabdariffa*: fresh compared with dried, *Journal of Food Science*, 76(2), 212-217. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01989.x>
- Richardson, M. L. y Arlotta, C. G. (2021). Differential yield and nutrients of *Hibiscus sabdariffa* L. genotypes when grown in urban production systems, *Scientia Horticulturae*, 288, 110349. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110349>
- Rodríguez, A., Pena-Fleitas, M. T., Padilla, F. M., Gallardo, M., and Thompson, R. B. (2021). Petiole sap nitrate concentration to assess crop nitrogen status of greenhouse sweet pepper, *Scientia Horticulturae*, 285, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110157>
- Roosta, H. R. (2014). Effect of ammonium:nitrate ratios in the response of strawberry to alkalinity in hydroponics, *Journal of Plant Nutrition*, 37, 1676–1689. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.888749>
- Ruiz-González, R. O. y Victorino-Ramírez, L. (2015). Respuesta del policultivo jamaica-frijol-maíz a tratamientos de fertilización en Villaflores, Chiapas, México, *Agrociencia* 49(5), 545-557.
- Ruíz-Ramírez, R., Hernández-Morales, J., Ayala-Escobar, V., Soto-Rojas, L., Leyva-Mir, S. G. y Hernández-Ruiz, J. (2015). Hongos asociados a cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) deshidratados y almacenados en Guerrero, México, *Revista Mexicana de Fitopatología* 33(1), 12-30.
- Sales, M. A. de L., Moreira, F. J. C., Eloi, W. M. y Ribeiro, A. de A., (2019). Development of vinegar (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) according to six levels of salinity of irrigation water, *HOLOS*, Rio Grande Do Norte: Centro Federal Educacao Tecnologica Rio Grande Norte, 35(2), 1-16. <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2019.1602>

- Sánchez-Prado, J., Bugarín-Montoya, R., Alejo-Santiago, G., Juárez-Rosete, C. R., Aburto-González, C. A., y Caro-Velarde F. (2019). Incremento del rendimiento y extracción nutricional en jamaica mediante soluciones nutritivas, *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 1-10. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a6n16.1838>
- Seghatoleslami, M. J., Mousavi, S. G., and Barzgaran, T. (2013). Effect of irrigation and planting date on morpho-physiological traits and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa*), *Journal of Animal & Plant Sciences*, 23, 256-260.
- SIAP. (2019). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Dirección electrónica: <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sieiro-Miranda, G. L., González-Marrero, A. N., Rodríguez-Lema, E. L. y Rodríguez-Regal, M. (2020). Efecto de los macroelementos primarios en la susceptibilidad a enfermedades, *Revista CENTRO AGRÍCOLA*, 47(3), 66-74.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. *In: Proceedings 6th international congress on soilless culture*. ISOSC. Wageningen, The Netherlands, 633-649.
- Swart, L., and Langenhoven, P. (2000). First report of Botrytis blight, caused by *Botrytis cinerea*, on *Hibiscus* in South Africa, *Plant Disease*, 84, 48-487.
- Walters, D. R. and Bingham, I. J. (2007). Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control, *Annals of Applied Biology*, 151, 307–324. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00176.x>
- Zhang Zhihua., Hu, B., and Chu, C. (2020). Towards understanding the hierarchical nitrogen signaling network in plants, *Current Opinion in Plant Biology*, 55, 60–65. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.03.006>
- Zhang, J., Xie, J., Gan, Y., Coulter, J. A., Dawuda, M. M., Yu, J., Lv, J., Li, J., Zhang, X., Tang, C., Wang, C., Niu, T., and Calderón-Urrea, A. (2020). Promoting pepper (*Capsicum annuum*) photosynthesis via chloroplast ultrastructure and enzyme activities by optimising the ammonium to nitrate ratio, *Functional Plant Biology*, 47, 303–317.
- Zhu, J., Tremblay, N. y Liang, Y. (2012). Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species, *Canadian Journal of Soil Science*, 92(4), 645-648. DOI: <https://doi.org/10.4141/CJSS2011-100>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### **Análisis estadístico mediante el programa R-UCA**

El programa R-UCA para Windows es una recopilación de R junto a R Commander y algunos paquetes de uso frecuente.

Las principales ventajas de usar R-UCA para Windows es que se instala en un único paso R, R Commander y los otros programas recomendados, también permite instalar R en un ordenador sin conexión a internet, además se configura R para que inicie automáticamente R Commander al iniciar R, y en caso de desinstalación se borran todos los ficheros.

#### **Instalación del programa R-UCA y acceso**

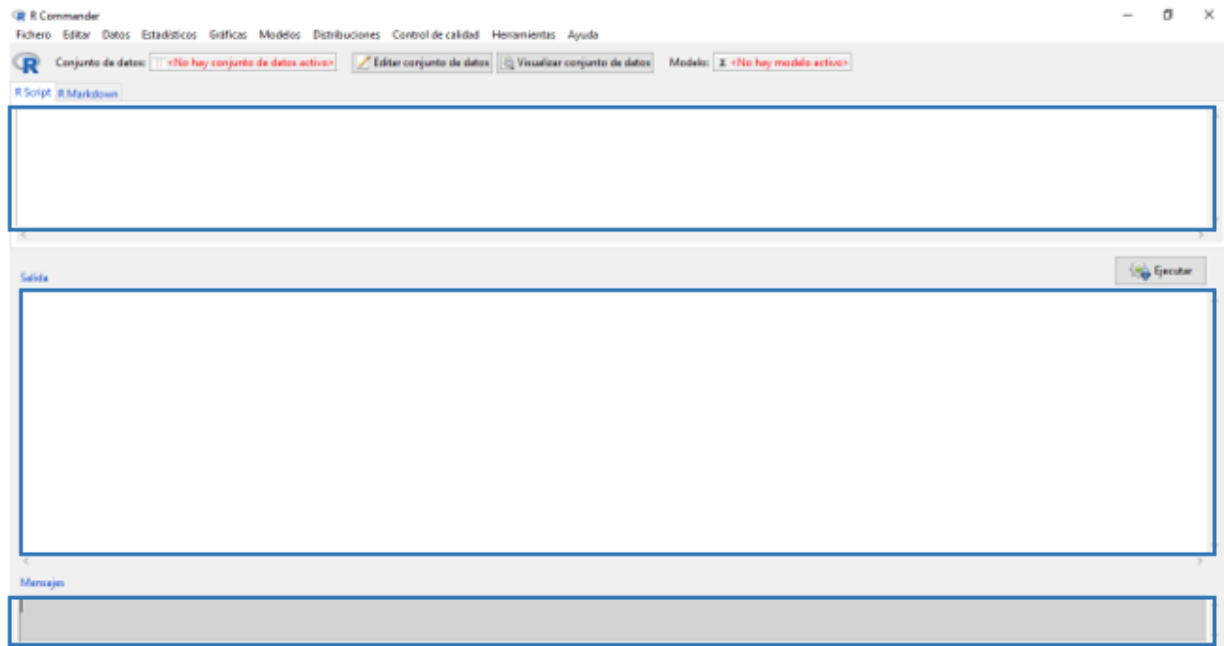
Acceder a la página oficial donde se encuentra el paquete estadístico, descargar e instalar la versión actualizada. Una vez instalado el programa, ir directo a inicio en su computadora y abrir Rterm, en automático abrirá otra ventana de R Commander, es donde se trabaja para realizar el análisis estadístico (importante no cerrar ninguna de las dos ventanas porque se cerrará el programa).

[http://knuth.uca.es/R/doku.php?id=instalacion\\_de\\_r\\_y\\_rcmdr:r-uca](http://knuth.uca.es/R/doku.php?id=instalacion_de_r_y_rcmdr:r-uca)

#### **Componentes de R Commander**

El R Commander utiliza una interfaz de cuadro de diálogo y menú simple, en la Figura 1 se indica sus componentes principales. Los menús de nivel superior incluyen Archivo, Editar, Datos, Estadísticos, Gráficos, Modelos, Distribuciones, Control de calidad, Herramientas y Ayuda. Cada cuadro de diálogo incluye un botón de ayuda, que lleva a una página de apoyo. Las selecciones de menús y cuadros de diálogo generan comandos R, que se graban en una ventana de secuencia de comandos y se repiten, junto con la salida, en una ventana de salida. La ventana del script también brinda la capacidad de editar, ingresar y volver a ejecutar comandos. La ventana de mensajes,

indica los errores y las advertencias, otras informaciones importantes aparecen en una ventana de mensajes separada (Fox, 2005).



**Figura 1. Componentes de R Commander.**

### **Pasos a seguir en el análisis estadístico**

Se aclara que el signo (+) que se escribe en las indicaciones, es para separar una instrucción de otra.

1.- Tener previamente ordenados los datos analizar, una vez organizados, llamar el archivo directo desde R Commander. Ejemplo: datos + importar datos + desde un archivo de Excel (nombrar el conjunto de datos activo) + aceptar (identificar el conjunto de datos) + seleccionar.

2.- Si en el archivo (conjunto de datos activo) existen más de una variable numérica, se deben convertir a factor, excepto la variable respuesta analizar. Ejemplo: datos + modificar variables del conjunto de datos activo + seleccionar las variables a convertir, (en los niveles del factor, seleccionar utilizar números) + aceptar (sobrescribir las variables).

3.- Crear el modelo lineal estadístico. Ejemplo: estadístico + ajuste de modelos + modelo lineal (dar nombre al modelo y escribir el modelo lineal estadístico de acuerdo al diseño experimental establecido).

En la presente investigación el diseño experimental fue en bloques completos al azar, con un arreglo factorial tres por cuatro.

#### **Modelo lineal estadístico del diseño.**

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + S_j + H_k + SH_{jk} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Es la  $ijk$ -ésima observación en el  $i$ -ésimo bloque que contiene el  $j$ -ésimo nivel del factor  $S$  y el  $k$ -ésimo nivel del factor  $H$ .

$\mu$  = Media general.

$B_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo bloque.

$S_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor  $S$ .

$H_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo nivel del factor  $H$ .

$SH_{jk}$  = Efecto de la interacción del  $j$ -ésimo nivel del factor  $S$  y con él  $k$ -ésimo nivel del factor  $H$ .

$E_{ijk}$  = Error asociado a  $Y_{ijk}$ .

El modelo lineal estadístico que se escribió en R Commander de la presente investigación fue el siguiente: primero la variable respuesta analizar y en segundo orden los factores. Ejemplo:  $N = SN + H + SN:H + \text{Bloques}$ , o la forma abreviada de escribirlo sería  $N = SN * H + \text{Bloques}$ , de las dos formas es correcto.

$N$  = Nitrógeno

$SN$  = Solución nutritiva

H = Hongos inoculados o testigo.

### **Verificación de supuestos**

4.- Las pruebas de supuestos se realizan de acuerdo al diseño experimental establecido. Por ejemplo, en un diseño completamente al azar los supuestos son independencia, homogeneidad de varianza y normalidad, en un diseño en bloques completos al azar los supuestos son independencia, homogeneidad de varianzas, normalidad y aditividad. En el presente estudio los supuestos que se probaron fueron normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene ( $p \leq 0.05$ ).

### **Análisis de normalidad con la prueba Shapiro-Wilk**

Se siguieron las siguientes indicaciones:

- a) Modelos + añadir las estadísticas de las observaciones a los datos + seleccionar residuos + aceptar.
- b) Estadísticos + resúmenes + test de normalidad + Shapiro-Wilk (seleccionar residuos) + aceptar.

### **Interpretación**

Ho: Los residuos provienen de una distribución normal.

Ha: Los residuos no provienen de una distribución normal.

$\alpha = 0.05$

valor P = > 0.05

Para que no se rechace Ho con  $\alpha = 0.05$ , el valor P obtenido en el análisis debe ser mayor que  $\alpha$ , para concluir que se cumple la normalidad.

### **Análisis de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene**

Se siguieron las siguientes indicaciones:

- a) Datos + modificar variables del conjunto de datos activo + calcular una nueva variable + nombrar la nueva variable (Rabs) y la expresión a calcular (seleccionar los residuales del modelo, ej: residuals.b) + aceptar.
- b) Estadístico + ajuste de modelo + modelo lineal (dar nombre al modelo) + escribir la variable respuesta (Rabs) + escribir los factores (De igual forma como se escribió en el modelo lineal estadístico del diseño) + aceptar.
- c) Modelo + test de hipótesis + tabla de anova + aceptar.

Interpretación

$$H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \sigma^2_3 = \sigma^2_n$$

Ha: Al menos una varianza es diferente.

$$\alpha = 0.05$$

$$\text{valor } P = > 0.05$$

Para que no se rechace  $H_0$  con  $\alpha = 0.05$ , el valor P obtenido en el análisis debe ser mayor que  $\alpha$ , para concluir el supuesto de homocedasticidad.

## 5.- Análisis de varianza del experimento

Se siguieron las siguientes indicaciones:

- a) En el cuadro donde se muestra el nombre del modelo, seleccionar el nombre del modelo lineal estadístico que se generó anteriormente + aceptar (es importante realizar este paso, y verificar que el modelo es el correcto, dado que en los siguientes análisis se trabajaran sobre este modelo).
- b) En el script de R Commander escribir: anova y entre paréntesis el nombre del modelo lineal estadístico. Ejemplo: anova(Nitrógeno) + Ejecutar.

## 6.- Prueba de comparación de medias con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

La comparación de medias se realizó estrictamente en las que fueron significativas. Se siguieron las siguientes indicaciones:

- a) Primero se debe instalar el programa agricolae. En el script de R Commander escribir: `install.packages("agricolae")` + ejecutar.
- b) Llamar al programa agricolae. En el script de R Commander escribir: `library(agricolae)` + ejecutar.
- c) Realizar las pruebas de medias, estrictamente en las que fueron significativas. En el script de R Commander se escribieron las siguientes indicaciones y se ejecutaron, para interacción: `DMSHI=HSD.test(b,c("SN","H"),group=T);DMSHI`. Para el factor solución nutritiva: `DMSHS=HSD.test(b,"SN", group=T);DMSHS`. Para el factor de hongos inoculados y tratamientos testigo: `DMSHH=HSD.test(b,"H", group=T);DMSHH` y para bloques: `DMSHB=HSD.test(b,"Bloque", group=T);DMSHB` (la letra "b" es el nombre del modelo lineal estadístico del diseño, será distinto en todos los modelos analizar).

Todos los pasos que se siguieron en el análisis estadístico, se realizan por cada una de las variables que se tengan.

## 7.- Guardar la salida del análisis estadístico en un documento de texto

Seguir las siguientes indicaciones:

- a) Fichero + guardar los resultados como + ponerle nombre al archivo + guardar.

### Ejemplo de indicaciones en el script de R Commander, para el análisis estadístico de nitrógeno.

- **Llamar el archivo de datos desde Excel.**

N <-

```
readXL("C:/Users/User/Documents/Concentrado Jamaica/Artículo Jamaica
1/Estadisticos/Etapa Vegetativa/ANOVA AQTV/Nt.xlsx", rownames=FALSE,
header=TRUE, na="", sheet="Hoja1", stringsAsFactors=TRUE)
```

- **Convertir variable numérica a factor.**



```
N <- within(N, {
```

```
  Bloque <- as.factor(Bloque)
```

```
  H <- as.factor(H)
```

```
  SN <- as.factor(SN)
```

```
})
```

- **Crear modelo lineal estadístico del diseño**

```
b <- lm(Nt.... ~ SN*H +Bloque, data=N)
```

```
summary(b)
```

- **Verificación de supuestos**
- Prueba Shapiro-Wilk

```
N<- within(N, {
```

```
  residuals.b <- residuals(b)
```

```
})
```

```
normalityTest(~residuals.b, test="shapiro.test", data=N)
```

- Análisis de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene

```
N$Rabs <- with(N, residuals.b)
```

```
NV <- lm(Rabs ~ SN * H + Bloque, data=N)
```

```
summary(NV)
```

```
Anova(NV, type="II")
```

- **Análisis de varianza del experimento**

```
anova(b)
```

- **Instalar el programa agricolae**

```
install.packages("agricolae")
```

- **Prueba de comparación de medias con Tukey**

```
library(agricolae)
```

```
DMSHI=HSD.test(b,c("SN","H"),group=T);DMSHI
```

```
DMSHS=HSD.test(b,"SN", group=T);DMSHS
```

```
DMSHH=HSD.test(b,"H", group=T);DMSHH
```

```
DMSHB=HSD.test(b,"Bloque", group=T);DMSHB
```