



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL.



**PRODUCCIÓN Y RESISTENCIA A ENFERMEDADES EN GENOTIPOS
DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) EN RESPUESTA A LA
FERTIRRIGACIÓN EN INVERNADERO**

ING. EMILIA FERNANDA FLORES BERNAL

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN ELÍAS SABINO LÓPEZ

CO-DIRECTOR:

DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

TUXPAN, IGUALA, GRO., DICIEMBRE DEL 2021.

La presente tesis titulada **"PRODUCCIÓN Y RESISTENCIA A ENFERMEDADES EN GENOTIPOS DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) EN RESPUESTA A LA FERTIRRIGACIÓN EN INVERNADERO"** realizada por la alumna: **EMILIA FERNANDA FLORES BERNAL**, bajo la dirección del comité tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL

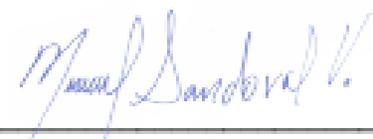
COMITE PARTICULAR

Director de tesis:



Dr. Juan Elías Sabino López

Co-director:



Dr. Manuel Sandoval Villa

Asesor:

Dr. Elías Hernández Castro

Asesor:



Dr. Héctor Ramón Segura Pacheco

Asesor:



Dra. Teolincacihuatl Romero Rosales

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada a mi persona, para la realización de mis estudios de postgrado.

A los profesores de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la UAGro quienes contribuyeron en mi formación profesional.

DEDICATORIA

RESUMEN

En México, la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es un cultivo de importancia alimenticia y económica, cuyo principal estado productor es Guerrero. Sin embargo, los productores no acostumbran fertilizar este cultivo, lo que se traduce en bajos rendimientos. Aunado a una disminución en su productividad por la presencia de hongos fitopatógenos que ocasionan pérdidas, debido a que la calidad de los cálices es afectada. El objetivo general fue estudiar el comportamiento productivo y el perfil fisicoquímico de cálices en dos genotipos de jamaica en respuesta a la concentración de la solución nutritiva e inoculación de hongos fitopatógenos. El estudio se realizó en dos fases. En la primera fase, el cultivo de jamaica se estableció en un invernadero en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, durante julio de 2019 a enero de 2020. Se utilizó un arreglo factorial en completamente al azar con tres factores: genotipo: Tecoaanapa y Ayutla; concentración de la solución nutritiva (CSN) de Steiner (1984) al 50% (-0.036 MPa), 100% (-0.072 MPa) y 150% (-0.108 MPa); la inoculación del hongo fitopatógeno (enfermedad): sin enfermar (testigo= T₀); *Corynespora cassiicola* (C₁); *Coniella diplodiella* (C₂) y la interacción de ambas (C₁ x C₂ = C₃). Se registró la altura de planta (AP), diámetro del tallo (DT), número de ramas productivas (NRP), peso seco de cálices totales (PSCT), de cálices sanos (PSCS) y enfermos por planta (PSCE), respectivamente. El mayor crecimiento lo presentó Tecoaanapa en AP, DT, NRP y PSCE, mientras que Ayutla tuvo mayor PSCT y PSCS. La CSN al 100% (-0.072 MPa) y al 150% (-0.108 MPa) favorecieron la AP y la producción de cálices sanos, mientras que, *Coniella diplodiella* afectó el crecimiento del cultivo y disminuyó el rendimiento en 24.9%, sobre todo cuando esta

se combinó con *Corynespora cassiicola* con una pérdida estimada de 705 kg ha⁻¹. Aun cuando las plantas infectadas con ambos hongos se regaron con diferentes CNS, el crecimiento se vio afectado por las enfermedades, sin embargo, la CSN al 100% y 150% favorecieron la producción de cálices, tanto sanos como enfermos. Mientras que los genotipos incrementaron su rendimiento con la SN al 100% y 150%, al aumentar su producción de cálices sanos. Por lo que se concluyó que Tecoaapa presenta mayor AP, DT y NRP, pero rendimiento similar que Ayutla. La CSN al 100% y 150% incrementan el crecimiento y rendimiento de cálices por planta, aunque, la primera favorece mayor producción de cálices sanos y la segunda mayor producción de cálices enfermos. Evidentemente, las plantas sanas tienen mejor crecimiento y superan en 43.75% el rendimiento de cáliz seco sano con respecto a las plantas enfermas. El genotipo Tecoaapa con SN al 150% presenta mejor crecimiento y mayor producción de cálices. Mientras que el riego con SN al 100% o 150% produce rendimientos similares de cáliz (sin fruto) seco en Tecoaapa y Ayutla, además, este último es más susceptible a cualquiera de las enfermedades o a la combinación de ambas, afectando su crecimiento y rendimiento, a pesar de esto, presenta rendimientos similares en peso de cáliz sano con Tecoaapa. Pero, el rendimiento de ambos genotipos tuvo mayores afectaciones cuando se inocularon conjuntamente con *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella*, al presentar mayor cantidad de cálices enfermos. Tanto Ayutla como Tecoaapa presentan los mayores rendimientos de cáliz sano en plantas sanas y a su vez cero pérdidas por cálices enfermos. Pero, en las plantas inoculadas con la combinación de *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella* y regadas con SN al 100% y 150%, aumenta la presencia de cálices enfermos y por ende, el rendimiento por unidad de

superficie. El riego con SN al 100% y/o 150% en plantas sanas incrementa el rendimiento total de cáliz (con y sin fruto) seco, pero el riego con SN al 100% favorece la mayor producción de cálices sanos, mientras que la SN al 150% aumenta la producción de cálices enfermos.

Para la segunda fase, se estableció un experimento en invernadero en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, durante julio de 2019 a enero de 2020. Se usó un arreglo factorial 2x3 en completamente al azar, cuyos factores fueron: el genotipo con dos niveles (Ayutla y Tecoaapa) y la concentración de la SN a partir del potencial osmótico con tres niveles (-0.036, -0.072 y -0.108 MPa); resultando seis combinaciones con siete repeticiones. Se seleccionaron 20 cálices aleatoriamente por tratamiento y se registró la longitud (LC) y diámetro del cáliz (DC), número de cálices por planta (NC), el peso seco de los cálices con (PSCF) y sin fruto (PSCSF) y en el jugo de cálices frescos se cuantificaron los sólidos solubles totales (SST) y la concentración de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ . Se tuvo que el genotipo Ayutla presentó mayor LC (56.49 mm), DC (33.39 mm) y PSCSF (0.87 g). Sin embargo, Tecoaapa tuvo mayor concentración de SST (8.57 °Brix) y contenido de NO_3^- (2516.67 mg L⁻¹), Ca^{2+} (13.83 mg L⁻¹) y K^+ (190.83 mg L⁻¹). El potencial osmótico de la SN no afectó las características físicas de los cálices, sin embargo, con -0.072 y -0.108 MPa se tuvo mayor concentración de SST (7.86 y 7.73 °Brix), NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ . El potencial osmótico de la SN a -0.072 MPa incrementó la longitud de los cálices (58.69 mm) en Ayutla y en Tecoaapa aumentó los SST (9.36°Brix). Los resultados demostraron que Ayutla presentó cálices individuales de mayor tamaño y peso seco. Mientras que Tecoaapa

presentó cálices de menor tamaño, pero en mayor cantidad. Las características físicas de los cálices Ayutla mejoraron con SN a potencial osmótico de -0.072 MPa. Mientras que la misma concentración de SN mejoró las químicas en el genotipo Tecoaapa.

ABSTRACT

In Mexico, hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) is a crop of nutritional and economic importance, whose main producing state is Guerrero. However, growers are not accustomed to fertilizing this crop, which results in low yields. In addition to a decrease in productivity due to the presence of phytopathogenic fungi that cause losses, because the quality of the calyxes is affected. The general objective was to study the productive response and the physicochemical profile of calyxes in two genotypes of hibiscus in response to the concentration of the nutrient solution and inoculation of phytopathogenic fungi. The study was conducted in two phases. In the first phase, the hibiscus crop was established in a greenhouse at the Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, during July 2019 to January 2020. A completely randomized factorial arrangement was used with three factors: genotype: Tecoaapa and Ayutla; Steiner (1984) nutrient solution concentration (CSN) at 50% (-0.036 MPa), 100% (-0.072 MPa) and 150% (-0.108 MPa); inoculation of the phytopathogenic fungus (disease): no disease (control= T0); *Corynespora cassiicola* (C1); *Coniella diplodiella* (C2) and the interaction of both (C1 x C2 = C3). Plant height (PA), stem diameter (TD), number

of productive branches (NRP), dry weight of total calyxes (PSCT), healthy calyxes (PSCS) and diseased calyxes per plant (PSCE), respectively, were recorded. Tecoanapa had the highest growth in PA, DT, NRP and PSCE, while Ayutla had higher PSCT and PSCS. CSN at 100% (-0.072 MPa) and 150% (-0.108 MPa) favored PA and the production of healthy calyxes, while *Coniella diplodiella* affected crop growth and decreased yield by 24.9%, especially when combined with *Corynespora cassiicola* with an estimated loss of 705 kg ha⁻¹. Even when plants infected with both fungi were irrigated with different CSN, growth was affected by diseases, however, CSN at 100% and 150% favored the production of both healthy and diseased calyxes. While the genotypes increased their yield with the SN at 100% and 150%, by increasing their production of healthy calyxes. Therefore, it was concluded that Tecoanapa presented higher PA, DT and NRP, but similar yields to Ayutla. The CSN at 100% and 150% increased growth and yield of calyxes per plant, although the former favored higher production of healthy calyxes and the latter higher production of diseased calyxes. Evidently, healthy plants have better growth and 43.75% higher yield of healthy dry calyx than diseased plants. The Tecoanapa genotype with SN at 150% showed better growth and higher calyx production. While irrigation with SN at 100% or 150% produced similar yields of dry calyx (without fruit) in Tecoanapa and Ayutla, in addition, the latter is more susceptible to any of the diseases or to the combination of both, affecting its growth and yield, in spite of this, it presents similar yields in weight of healthy calyx with Tecoanapa. However, the yield of both genotypes was more affected when they were inoculated jointly with *Corynespora cassiicola* and *Coniella diplodiella*, as these presented a greater amount of diseased calyxes. Both Ayutla and Tecoanapa showed the highest yields

of healthy calyxes in healthy plants and zero losses due to diseased calyxes. However, in plants inoculated with the combination of *Corynespora cassiicola* and Coniella diplodiella and irrigated with SN at 100% and 150%, the presence of diseased calyxes increased and therefore, the yield per unit area. Irrigation with 100% and/or 150% SN on healthy plants increases total calyx yield (with and without fruit) dry, but irrigation with 100% SN favors higher production of healthy calyxes, while 150% SN increases the production of diseased calyxes.

For the second phase, a greenhouse experiment was established at the Faculty of Agricultural and Environmental Sciences of the Autonomous University of Guerrero, during July 2019 to January 2020. A 2x3 factorial arrangement was used in completely randomized, whose factors were: genotype with two levels (Ayutla and Tecoanapa) and SN concentration from the osmotic potential with three levels (-0.036, -0.072 and -0.108 MPa); resulting in six combinations with seven replications. Twenty calyxes were randomly selected per treatment and the length (LC) and calyx diameter (DC), number of calyxes per plant (NC), dry weight of calyxes with (PSCF) and without fruit (PSCSF) were recorded, and in the fresh calyx juice, total soluble solids (TSS) and the concentration of NO_3^- , Ca^{2+} and K^+ were quantified. The Ayutla genotype had the highest LC (56.49 mm), DC (33.39 mm) and PSCSF (0.87 g). However, Tecoanapa had higher TSS concentration (8.57 °Brix) and NO_3^- (2516.67 mg L^{-1}), Ca^{2+} (13.83 mg L^{-1}) and K^+ (190.83 mg L^{-1}) contents. The osmotic potential of the SN did not affect the physical characteristics of the calyxes; however, at -0.072 and -0.108 MPa, there were higher concentrations of TSS (7.86 and 7.73 °Brix), NO_3^- , Ca^{2+} and K^+ . The osmotic potential of the SN at -0.072 MPa increased calyx

length (58.69 mm) in Ayutla and in Tecoanapa increased TSS (9.36 °Brix). The results showed that Ayutla presented individual calyxes of greater size and dry weight. While Tecoanapa presented smaller calyxes, but in greater quantity. The physical characteristics of Ayutla calyxes improved with SN at an osmotic potential of -0.072 MPa, while the same concentration of SN improved the chemical characteristics of the Tecoanapa genotype.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CUADROS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
JUSTIFICACIÓN	18
OBJETIVO GENERAL	20
HIPÓTESIS GENERAL	20
LITERATURA CITADA	21
CAPÍTULO II. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LA JAMAICA (<i>Hibiscus sabdarriffa</i> L.) EN RESPUESTA AL GENOTIPO, CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y ENFERMEDADES EN INVENRADERO	25
RESUMEN	25
INTRODUCCIÓN	26
MATERIALES Y MÉTODOS	31
Material vegetal	31
Trasplante.....	32
Diseño experimental.....	32
Riegos y fertilización	32
Inoculación de las enfermedades	33
Variables evaluadas	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
Altura de planta.....	35
Diámetro del tallo.....	38
Número de ramas productivas	39
Peso seco de cálices totales	45
Peso seco de cálices sanos.....	47
Peso seco de cálices enfermos.....	49
CONCLUSIONES	55
Efectos principales.....	55

Interacciones dobles	55
LITERATURA CITADA	57
RESUMEN	65
ABSTRACT	66
INTRODUCCIÓN	68
Material vegetal	72
Diseño experimental	73
Riegos y fertilización	74
Cosecha	74
Características químicas	75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
Longitud y ancho de cáliz	77
CONCLUSIONES	87
LITERATURA CITADA	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Efecto combinado del genotipo y la concentración de la solución nutritiva sobre el crecimiento en plantas de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.	42
Cuadro 2.2. Efecto combinado del genotipo y la enfermedad sobre el crecimiento en plantas de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.	43
Cuadro 2.3. Efecto de la interacción de la concentración de la solución nutritiva y la enfermedad sobre el crecimiento y número de cálices en plantas de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.	44
Cuadro 2.4. Efecto de la interacción del genotipo y la concentración de la solución nutritiva sobre el rendimiento de cálices en plantas de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) cultivadas en hidroponía e invernadero.	52
Cuadro 2.5. Efecto combinado del genotipo y la enfermedad sobre el rendimiento de cálices en plantas de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.	53
Cuadro 2.6. Efecto de la concentración de la solución nutritiva y la enfermedad sobre el rendimiento de cálices en plantas de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.	54
Cuadro 3.1. Características de la solución nutritiva a diferentes concentraciones para la fertirrigación del cultivo de jamaica en invernadero.	73
Cuadro 3.2. Valores de <i>p-valué</i> para las características físicas de cálices de genotipos de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.), cultivados con diferente presión osmótica de solución nutritiva, en invernadero.	76
Cuadro 3.3. Valores de <i>p-valué</i> para las características químicas de cálices de genotipos de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.), cultivados con diferente presión osmótica de solución nutritiva, en invernadero.	77
Cuadro 3.4. Efecto de los factores principales sobre las características físicas de cálices de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) en respuesta al genotipo y la presión osmótica de la solución nutritiva, bajo condiciones de hidroponía e invernadero.	83
Cuadro 3.5. Efecto combinado del genotipo y la <i>presión osmótica</i> solución nutritiva sobre las características físicas de cálices de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) cultivada en hidroponía e invernadero.	86
Cuadro 3.6. Efecto combinado del genotipo y la concentración de la solución nutritiva sobre las características químicas de cálices de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) cultivada en hidroponía e invernadero.	87

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1.** Efecto del genotipo, concentración de la solución nutritiva y de la enfermedad sobre la altura de planta en el cultivo de jamaica (*H. sabdariffa* L.) en hidroponía e invernadero. 37
- Figura 2.2.** Efecto de los factores principales sobre el diámetro de tallo (mm) en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero.. 39
- Figura 2.3.** Efecto de los factores principales sobre el número de ramas productivas en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero.. 41
- Figura 2.4.** Efecto de los factores principales sobre el peso seco de cálices totales en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.), cultivados en hidroponía e invernadero.. 46
- Figura 2.6.** Efecto de los factores principales sobre el peso seco de cálices enfermos en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.), cultivados en hidroponía e invernadero. 51
- Figura 3.1.** Efecto de los factores principales sobre la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero. 84
- Figura 3.2.** Efecto de los factores principales sobre la concentración de nitratos en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero. 84
- Figura 3.3.** Efecto de los factores principales sobre la concentración de calcio en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero.; 85

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), también conocida en inglés como *roselle*, pertenece a la familia Malvaceae, es originaria de África, se diseminó a la India y de ahí al resto del continente asiático y posteriormente distribuida en el mundo (Morton, 1987). En México, la jamaica llegó en la época de la colonia, traída de la isla de Jamaica por los españoles, de ahí su nombre en nuestro país, en donde fue rápidamente adoptada, cultivándose asociada con maíz (Alejo, 2016).

De acuerdo con la FAO, en el año 2004 se produjeron un total de 97,975 toneladas de jamaica en el mundo. Los principales productores a nivel mundial son: China con el 27.76% de la producción, seguido de la India (17.91%), Sudan (9.1%), Uganda (8.40%), Indonesia (6.23%), Malasia (5.53%) y México ocupa el séptimo lugar con el 5.14%.

En México, el cultivo de la jamaica es de particular importancia por los diversos usos potenciales que tiene (Alejo, 2016). Actualmente, los principales productores de este cultivo son: Guerrero, Puebla, Oaxaca, Nayarit, Michoacán, Tabasco y Morelos, con una superficie total de 18,543.54 ha, de los cuales, Guerrero ocupa el primer lugar con 14,079.02 ha, seguido de Michoacán con 1,714.00 ha y Oaxaca con 1,605.60 ha (SIAP, 2018).

La principal limitante del cultivo de jamaica es por diversas enfermedades causadas por agentes fitopatógenos, debido a que los productores no tienen establecido un sistema de control y manejo adecuado previo y durante el ciclo del cultivo, lo que ha provocado la proliferación y la resistencia de enfermedades (Mayo, 2010). En los últimos años, se reportó una enfermedad que afecta la calidad de los cálices y

provoca la disminución del rendimiento, e incluso, la pérdida total de la producción (Pereyda-Hernández *et al.*, 2015), reportándose como principal agente causal a *Corynespora cassiicola* (Berk & M.A. Curtis) C. T. Wei (Rendón, 2018; Ortega-Acosta *et al.*, 2015) y *Coniella diplodiella* (Speg) Van Niekerk *et al.* (2004); (Correa *et al.*, 2011; Pereyda-Hernández *et al.*, 2015).

Asimismo, otro de los factores que limitan el rendimiento del cultivo de la jamaica, como en la mayoría de los cultivos, son las condiciones nutrimentales, las cuales pueden ser controladas por el hombre (Sánchez-García *et al.*, 2016). Aunado a que los productores satisfacen los requerimientos de algunos elementos a través de la sobrefertilización, y cuya aplicación en exceso incrementa los costos de producción, perjudica al ambiente y al mismo cultivo (Waterer, 1997). Sin embargo, para el caso de la jamaica, la mayoría de los productores no fertilizan, lo que provoca que el cultivo presente deficiencias nutrimentales las cuales influyen en su máximo rendimiento en la producción de cálices. Además, dichas deficiencias nutrimentales debilitan a la planta, provocando que sea susceptible al ataque de plagas y enfermedades (Velazco, 2000).

En los sistemas de producción en campo y en condiciones protegidas, el estrés nutrimental de los cultivos puede evitarse adicionando los elementos nutrimentales requeridos por el cultivo a través de fuentes orgánicas e inorgánicas que aporten dichos elementos y que estén disponibles para las plantas (Edwards *et al.*, 2010).

Una de las alternativas para mejorar el rendimiento y la calidad de los cálices es el manejo nutrimental a través de la fertilización, que sirve como control cultural, y con

respecto a la severidad de las enfermedades pueden reducirse mediante un control químico, biológico y genético, e incrementarse con la misma nutrición (Huber, 1989; Fageria *et al.*, 1997).

Una nutrición balanceada en las plantas les permite desarrollar, incrementar o disminuir la resistencia y tolerancia contra las enfermedades, las cuales son causadas principalmente por los patógenos (Marschner, 2012; Velazco, 2000).

Sin embargo, la deficiencia o exceso de nutrimentos esenciales generan las condiciones para la proliferación de enfermedades, pero estas pueden ser corregidas mediante el incremento o disminución de la concentración de la fertilización empleada en el cultivo, por ejemplo, la deficiencia de potasio provoca el retraso de la cicatrización de las heridas, favoreciendo la entrada de los patógenos a la planta (Huber, 1978; Yamada, 1995).

Aunado a lo anterior, el estudio de genotipos de jamaica resistentes a ciertas enfermedades podrían ser una alternativa, lo que permitiría tener una buena producción y ayudaría en la rentabilidad del cultivo, ya que sería posible entender el grado de afectación y la evolución de las enfermedades que provocan sobre la jamaica (Sánchez-Morales, 2000).

Por otra parte, la aplicación de los nutrimentos a través del uso de la fertirrigación sería una gran herramienta que ayudaría con la fertilización de una manera adecuada para el requerimiento nutricional del cultivo de la jamaica (INTAGRIN, 2017), por lo que nos permitiría conocer la forma de mejorar el comportamiento

productivo y la calidad de cálices de jamaica en Guerrero y disminuir la incidencia o incrementar la resistencia a enfermedades (FAO, 1992; Calvache, 2008).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción en el cultivo de la jamaica se ve limitada por diversas enfermedades que lo atacan, al mismo tiempo que la mayoría de los productores no tienen establecido un sistema de control y manejo adecuado de las enfermedades que se presentan previo y durante el ciclo del cultivo, lo que ha provocado la creación de la resistencia de enfermedades (Mayo, 2010).

Lo anterior tiene una estrecha relación con las condiciones nutrimentales de este cultivo, las cuales pueden ser controladas por el hombre (Sánchez-García *et al.*, 2016). Adicionalmente, los productores satisfacen los requerimientos de algunos elementos a través de la sobrefertilización, cuya aplicación en exceso incrementa los costos de producción, perjudica al ambiente y al mismo cultivo (Waterer, 1997). Sin embargo, para el caso de la jamaica, la mayoría de los productores no fertilizan, lo que provoca que el cultivo presente deficiencias de elementos que influyen en la expresión de su máximo potencial en la producción de cálices y en la calidad de los mismos, debido a que dichas deficiencias nutrimentales debilitan a la planta, provocando que sea susceptible al ataque de plagas y de enfermedades (Velazco, 2000).

JUSTIFICACIÓN

En México, el cultivo de la jamaica es de particular importancia por los diversos usos potenciales que tiene, sobre todo para el estado de Guerrero, el cual es el principal productor de esta especie, en donde se cultiva estacionalmente en el periodo de lluvias (Alejo, 2016). Sin embargo, son altas las pérdidas provocadas por las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos (Investigación y Desarrollo, 2010).

Por otro lado, el efecto de la fertilización mineral en los cultivos se analiza casi siempre en términos de aumento de la productividad, pero la fertilización también influye en la calidad del producto en postcosecha y en la resistencia de la planta al ataque de las enfermedades, lo que indica que existe poca información del efecto nutrimental de la planta y los mecanismos de defensa contra organismos fitopatógenos (Yamada, 1995). Sin embargo, se tiene la evidencia de que una nutrición óptima de un cultivo contrarresta la proliferación y el efecto de las enfermedades en los cultivos (Marschner, 2012).

Por lo tanto, el manejo nutrimental a través de la fertilización es un control cultural de la severidad de las enfermedades, las cuales pueden reducirse mediante el control biológico, genético y químico, o aumentar con la misma nutrición del cultivo (Huber, 1989; Fageria *et al.*, 1997).

Las plantas con una nutrición balanceada mejoran el desarrollo e incrementan o disminuyen la resistencia y se vuelven tolerantes contra las enfermedades, quienes son causadas principalmente por organismos fitopatógenos (Marschner, 2012; Velazco, 2000). Por lo que, las deficiencias o excesos de los nutrientes esenciales

causan las enfermedades, que logran ser corregidas mediante el aumento y/o disminución de la concentración nutricional empleada en el cultivo, por ejemplo, la deficiencia de algún elemento provoca algunas anomalías en las plantas como es el caso del potasio que retrasa la cicatrización de las heridas provocando la entrada de los patógenos a la planta (Huber, 1978; Yamada, 1995).

Ante esto, el estudio de la resistencia de genotipos de jamaica a ciertas enfermedades podría ser una alternativa para mejorar la producción y favorecer que este cultivo sea más rentable para los productores, debido a que permitiría conocer la evolución de las enfermedades y el grado de afectación que estas provocan sobre el cultivo de la jamaica (Sánchez-Morales, 2000). Aunado a lo anterior, la fertilización a través del uso de la fertirrigación es de gran ayuda para suministrar los nutrimentos requeridos por este cultivo (INTAGRIN, 2017) y, al mismo tiempo mejorar el comportamiento productivo en genotipos de jamaica de Guerrero y su influencia sobre la incidencia o resistencia a enfermedades (FAO, 1992; Calvache, 2008).

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento productivo y el perfil fisicoquímico de cálices en dos genotipos de jamaica en respuesta a la concentración de la solución nutritiva e inoculación con hongos fitopatógenos, cultivados con fertirriego en invernadero.

Objetivos específicos

Evaluar el crecimiento y rendimiento de jamaica por efecto de genotipo concentración de la solución nutritiva y enfermedades, cultivada en invernadero.

Determinar la calidad de cálices de jamaica a partir del perfil fisicoquímico por efecto del genotipo, concentración de la solución nutritiva, cultivada en invernadero.

HIPÓTESIS GENERAL

El comportamiento productivo y características fisicoquímicas serán diferentes en los genotipos estudiados y afectados por la concentración de la solución nutritiva y la presencia de enfermedades por la inoculación de hongos fitopatógenos en invernadero.

1.4.1. Hipótesis específicas

El crecimiento y rendimiento los genotipos de jamaica serán directamente proporcionales a la concentración de la solución nutritiva y afectados por la presencia de hongos fitopatógenos.

La calidad de los cálices de jamaica será diferente y afectada por el genotipo y la concentración de la solución nutritiva.

LITERATURA CITADA

- Alejo J. A. (2016). Cultivo de jamaica en dos sistemas de producción en Guerrero. Folleto para productores número 16. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Iguala de la Independencia, Guerrero. 21 p.
- Calvache, U. M. (2008). Fertirriego en Ecuador, Presente y Futuro. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 1-2 p.
- Correa S. E., C. F. Ortiz G., M. Torres de la C., C. C. Bautista M., M. C. Rivera C., L. C. Lagunes E. y J. H. Hernández. (2011). Etiología de la mancha acuosa de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Tabasco, México. Revista Mexicana de Fitopatología 29(2):165-167.
- Edwards, C. A., A. M. Askar, M. Vasko-Bennett, and N. Arancon. (2010). The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicomposts or Teas on Plant Growth and Yields, pp. 235–248. *In: Vermiculture Technology. Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. In: Edwards, C. A., N. Q. Arancon, and R. Sherman (eds.). CRC Press. Boca Ratón, Florida, United States of America.*
- Fageria, N.K., V.C. Baligar y Ch. A. Jones. (1997). Growth and mineral nutrition of fields crops. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc. New York
- Huber, D.M. (1989). Introduction. pp. 1-8. In: A.W. Engelhard (ed.). Soilborne plant pathogen: management of disease with macro and microelements. APS Press. St. Paul, Minnesota.

INTAGRIN. (2017). Los sistemas de riego aptos para fertirrigación. Serie Agua y Riego. Artículos técnicos de INTAGRIN,16. 4 p.

Investigación y Desarrollo, (2010). *Hongos entomopatógenos y su uso como plaguicidas*. Consultado el 05/03/2019 en: https://invdes.com.mx/?option=com_content&view=article&id=914%3Ahongos-entomopatogenos-y-su-usohomoplaguicidas&cantid=52%3Anoticias&itemid=272.

Marschner, P. (2012). Mineral Nutrition of Higher plants. 3th ed. Academic Press, Sydney, Australia, 649 p.

Mayo, H. H. (2010). Plagas y enfermedades del cultivo de flor de Jamaica en el estado de Guerrero. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. p. 80.

Morton, J. (1987). Roselle. *In: Fruits of warm climates*. Web publication Purdue University, Miami, FL, Pp. 281 – 286 Manual de la Producción de Roselle, Consultado el 02/05/2019 en <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/roselle.html>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1992). Los fertilizantes y su uso Manual, IFA, París, 632p. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2004). Consultado el 25/09/2018, en: <http://www.fao.org/agriculture/estadistics>.

- Ortega-Acosta S. A., J. Hernández-Morales, D. L. Ochoa-Martínez and V. Ayala-Escobar. (2015). First report of *Corynespora cassiicola* causing leaf and calyx spot on roselle in Mexico. *Plant Disease* 99(7): 1041.
- Pereyda-Hernández, J., Noriega-Cantú D. H., González-Mateos R., Domínguez-Márquez. (2015). Creciente daño en cáliz de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Guerrero, México. *Revista Mexicana Fitopatología*. 1(2): 110-111.
- Rendón E., I. G. 2018. Fuentes de resistencia a *Corynespora cassiicola* (Berk y M.A. Curtis) C.T. Wei en accesiones de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Postgrado de Fitosanidad. Texcoco, Estado de México, México. 31 p.
- Sánchez J., V. (2000). Fertirrigación, principios, factores, aplicaciones. Seminario de Fertirrigación. Apukai-Comex Perú Lima: p.26. Consultado el 09/06/2019 en:
<http://www.fertilizando.com/articulos/FertirrigacionPrincipiosFactoresAplicaciones.pdf>
- Sánchez-García P., C. Molinos da Silva, G. Alcántar-González y M. Sandoval-Villa. (2016). Diagnóstico nutrimental en plantas. *In: Nutrición de cultivos*. Alcántar-González, G., L. I. Trejo-Téllez y F. Gómez-Merino (Eds.). Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. Colegio de Postgraduados: 185-238.
- Sánchez-Morales, R. (2000). Análisis de comercialización y producción de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) de los municipios de Tecoaapa y Ayutla de los Libres, Gro. Tesis Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. p. 75

- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado el 02/02/2019 en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Van Niekerk J.M., Groenewald J.Z., Verkley G.J.M., Fourle P.H., Wingfield M.J., Crous P.W. (2004). Systematic reappraisal of *coniella* and *pilidiella*, with specific reference to species occurring on *Eucalyptus* and *vitis* in South Africa. The British Mycological Society Research 108 (3): 283- 303.
- Velazco V., V. A. (2000). Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. Terra 17(3):193.
- Waterer, D. (1997). Petiole sap N-NO₃⁻ testing as a method for monitoring nitrogen nutrition of potato crops. Canadian Journal of Plant Science 77(2): 273-278.
- Yamada, T. (1995). La nutrición mineral y la resistencia de las plantas a las enfermedades. Informaciones agronómicas 23(1): p.7.

CAPÍTULO II. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LA JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) EN RESPUESTA AL GENOTIPO, CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y ENFERMEDADES EN INVERNADERO

RESUMEN

En el cultivo de la jamaica son pocos estudios que se han realizado bajo condiciones controladas y con sistema de riego ya que la mayoría de los productores siembran en el campo, sin aplicar algún tipo de riegos con solución nutritiva teniendo así bajos rendimientos en el cultivo. El objetivo del presente trabajo fue valorar el crecimiento y rendimiento de jamaica por efecto de genotipo (Tecoanapa y Ayutla) y concentración de la solución nutritiva, cultivada en invernadero (-0.036, -0.072 y -0.108 MPa): las variables evaluadas fueron: la altura de planta (AP), el diámetro del tallo (DT), el número de ramas productivas (NRP), el peso seco de cálices totales (PSCT), de cálices sanos (PSCS) y de cálices enfermos por planta (PSCE). De los genotipos evaluados se observó que el genotipo Tecoanapa presentó mayor AP (287.80 cm), DT (26.93) NRP (25.87), la altura aumentó cuando fueron regadas con 50% y 100% pero al presentarse la combinación de las enfermedades se redujo en un 7.4% de las plantas sanas, esta combinación de la enfermedad también afectó el DT y NRP. Sin embargo, en el PSCT ambos genotipos obtuvieron pesos similares de cáliz. Por otro lado, incrementaron el rendimiento cuando fueron regadas al 100% y 150% de la concentración de la SN, pero la presencia de *Coniella* en el cultivo redujo en 24.9% el rendimiento. El mismo caso se presentó en la variable de PSCS con pesos similares entre el genotipo Ayutla y Tecoanapa (41.10 y 36.74 respectivamente) mientras que la CSN al 100 y 150% favorecieron la

producción de calices sanos y el rendimiento fue afectado por la combinación de la enfermedad, en cuanto al PSCE no hubo efecto por parte del genotipo pero si por la CSN cuando fueron regadas al 100% y 150% presentando una disminución en el rendimiento de 9.93 y 11.25 g respectivamente y también se presentó mayor cantidad de calices enfermos cuando estuvo presente la combinación de la enfermedad con una pérdida de 705 Kg ha⁻¹. Por lo que se concluye que el genotipo Tecoanapa presenta mayor AP, DT Y NRP que el genotipo Ayutla, pero no por ello presenta mayor PSCT y en cuanto a la aplicación de la CSN fueron la de 100% y 150% ya que con esta CSN se presentaron la mayor cantidad de cálices sanos.

ABSTRACT

Few studies have been carried out on hibiscus crop under controlled conditions and with an irrigation system, since most producers plant it in the field without applying any type of irrigation with nutrient solutions, thus having low crop yields. The objective of the present research was to evaluate the growth and yield of hibiscus by the effect of genotype (Tecoanapa and Ayutla) and concentration of the nutrient solution, grown in greenhouses. The variables evaluated were: plant height (PA), stem diameter (SD), number of productive branches (NRP), dry weight of total calyxes (PSCT), healthy calyxes (PSCS) and diseased calyxes per plant (PSCE). Of the genotypes evaluated, it was observed that the Tecoanapa genotype presented greater PA (287.80 cm), DT (26.93) NRP (25.87), the height increased when irrigated at 50% and 100%, but when the combination of diseases was present, it was reduced by 7. However, in the PSCT, both genotypes obtained similar calyx weights. On the other hand, yield increased when irrigated at 100% and 150% of the

SN concentration, but the presence of *Coniella* in the crop reduced yield by 24.9%. The same case was presented in the PSCS variable with similar weights between the Ayutla and Tecoanapa genotypes (41.10 and 36.74 respectively) while the CSN at 100% and 150% favored the production of healthy calyxes and the yield was affected by the combination of the disease, as for the PSCE there was no effect by the genotype but by the CSN when irrigated at 100% and 150%, presenting a decrease in yield of 9.93 and 11.25 respectively. 93 and 11.25, respectively, and there was also a greater amount of diseased calyxes when the combination of the disease was present, with a loss of 705 kg ha⁻¹. Therefore, it is concluded that the Tecoanapa genotype presented higher PA, DT and NRP than the Ayutla genotype, but not for this reason it presented higher PSCT and as for the application of the CSN they were 100% and 150% since with this CSN the highest amount of healthy calyxes were presented.

INTRODUCCIÓN

La jamaica o roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), pertenece a la familia de Malvacea y es originaria de África, posteriormente se diseminó a todo el mundo (Morton, 1987). En México la jamaica llegó en la época de la colonia, traída de la isla de Jamaica por los españoles, de ahí su nombre en nuestro país, en donde fue rápidamente adoptada, cultivándose asociada con el cultivo de maíz (*Zea mays*) (Alejo, 2016). De acuerdo con la FAO (2004), en ese año se produjeron 97,975 t de jamaica en el mundo, destacando entre los principales productores a China con el 27.76% de la producción mundial, seguido de la India (17.91%), Sudan (9.1%), Uganda (8.40%), Indonesia (6.23%), Malasia (5.53%) y México en el séptimo lugar con el 5.14%.

En México, el cultivo de la jamaica es de gran importancia por los diversos usos potenciales que tiene (Alejo, 2016). Actualmente, los principales productores de este cultivo son: Guerrero, Puebla, Oaxaca, Nayarit, Michoacán, Tabasco y Morelos, con una superficie total de 18,543.54 ha, de los cuales, Guerrero ocupa el primer lugar en superficie sembrada, con 14,079.02 ha, seguido de Michoacán con 1,714.00 ha y Oaxaca con 1,605.60 ha (SIAP, 2018).

Sin embargo, la productividad de este cultivo se limita por diversas enfermedades y plagas causadas por agentes fitopatógenos que lo atacan constantemente ya que es un cultivo muy susceptible, debido a que los productores no tienen un manejo adecuado para el control fitosanitario adecuado, previo, durante y cosecha del cultivo, provocando la proliferación y la resistencia de diversas enfermedades (Mayo, 2010; Sumaya *et al.*, 2014; Ortega-Acosta, 2016). Recientemente, algunos

investigadores han reportado enfermedades que afectan la calidad de los cálices presentándose como manchas necróticas en ellos lo que provoca una disminución del rendimiento, incluso hasta la pérdida total de la producción de los cálices, que reportan como el manchado de cáliz provocado por agentes causales de *Corynespora cassiicola* (Berk & M.A. Curtis) C. T. Wei (Ortega-Acosta *et al.*, 2015; Rendón, 2018;) y a *Coniella diplodiella* (Speg) (Van Niekerk *et al.*, 2004; Correa *et al.*, 2011; Pereyda-Hernández *et al.*, 2015), también la macha acuosa en el cultivo de jamaica provocada por *Phoma diplodiella* siendo reportada en tabasco, México (Trujillo-Tapia *et al.*, 2015).

Por otro lado, otro factor que limitan el rendimiento del cultivo de la jamaica, son los requerimientos nutrimentales, las cuales se emplean de manera inadecuada (Sánchez-García *et al.*, 2016), ya que la mayoría de los productores tienen a realizar un mal manejo para solventar las condiciones nutricionales de algún elemento aplicándolos a través de la fertilización provocando un exceso en el incremento de los costos de producción, lo cual daña al medio ambiente y cultivo, provocando una baja calidad de calices (Sumaya *et al.*, 2014). Mientras que la mayoría de los productores no fertilizan el cultivo de la jamaica, lo que provoca un déficit nutrimental en la planta, las cuales afectan el máximo rendimiento en la producción de cálices, debido a que las deficiencias nutrimentales debilitan a la planta, provocando que sea susceptible al ataque de plagas y enfermedades (Velazco, 2000).

En este sentido, tanto en los sistemas de producción en campo y en condiciones protegidas, el estrés nutrimental de los cultivos puede evitarse adicionando los elementos nutrimentales requeridos por el cultivo a través de fuentes orgánicas e

inorgánicas que aporten dichos elementos y que estén disponibles para las plantas (Edwards *et al.*, 2010).

Una de las alternativas para mejorar la productividad es el adecuado manejo nutrimental a través de la fertilización, mientras que la severidad de las enfermedades puede reducirse mediante un control químico, biológico y genético, e incluso con la misma nutrición del cultivo (Huber, 1989; Fageria *et al.*, 1997). Esto quiere decir que una nutrición balanceada en las plantas les permite desarrollar, incrementar o disminuir la resistencia y tolerancia contra las enfermedades, las cuales son causadas principalmente por los patógenos (Velazco, 2000; Marschner, 2012). Sin embargo, el déficit o aumento de algún elemento esenciales causan las enfermedades, por ejemplo, el suministro adecuado de nitrógeno en las plantas favorece el crecimiento y rendimiento del cultivo (Giginyu y Fagbayide, 2009).

Por lo que el estudio de genotipos de jamaica resistentes a ciertas enfermedades podrían ser una alternativa, para mejorar el rendimiento y la rentabilidad del cultivo, (Sánchez, 2000). Por lo que, el fertirriego favorece el suministro de los elementos esenciales para el crecimiento y producción del cultivo (INTAGRIN, 2017), y de esa manera mejorar el comportamiento productivo de los genotipos de jamaica y disminuir la incidencia de las enfermedades en la producción (FAO 1992; Calvache, 2008). Por lo anterior, el objetivo de la siguiente investigación fue estudiar el efecto combinado de la concentración de la solución nutritiva en dos genotipos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) inoculados con dos agentes fitopatógenos (*Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella*) en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El establecimiento del cultivo se realizó en un invernadero cenital cubierto con plástico de color blanco lechoso de 700 μm , con 30% de sombra y 70% de transmitancia, temperatura media de 30.5 °C y humedad relativa de 65.45% dentro del invernadero, durante el crecimiento del cultivo, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, unidad Tuxpan, en las coordenadas geográficas 18° 20' 51" latitud Norte y 99° 30' 32" longitud Oeste; a 758 m de altitud (INEGI, 2015). El invernadero se desinfectó con una solución de Carboxamida (2 kg ha⁻¹), la cual se asperjó en las paredes y cubiertas del invernadero, tres días previos al trasplante.

Material vegetal

Se usaron semillas de dos genotipos criollos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), Ayutla y Tecoaapa, procedentes de los municipios Ayutla de los Libres y Tecoaapa, Guerrero, México, respectivamente. Las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1% durante 5 min y posteriormente se secaron con papel absorbente estéril. La siembra se realizó en charolas de polipropileno de 200 cavidades llenadas con turba; en cada cavidad se colocaron de dos a tres semillas a una profundidad de 0.5 a 1 cm y se cubrieron con el mismo sustrato. Las charolas se alojaron en el invernadero antes descrito. A continuación, los semilleros se regaron frecuentemente para favorecer la germinación, la emergencia y el crecimiento de las plántulas.

Trasplante

El trasplante se realizó a los 15 días después de la siembra (dds), cuando las plántulas presentaron una altura aproximada de 20 cm y cinco hojas verdaderas; se colocó un cepellón con dos a tres plántulas en bolsas de polietileno negro de 12 L, llenadas con tezontle con tamaño de partícula menor de 10 mm, previamente desinfectado con hipoclorito de sodio al 1%. A los 20 días después del trasplante (ddt) se realizó el aclareo dejando una planta por maceta. Colocando 4 plantas por metro cuadrado.

Diseño experimental

Se utilizó un arreglo factorial 2 x 3 x 3 en completamente al azar, con tres factores de estudio; el genotipo con dos niveles: Ayutla y Tecoaapa; la concentración de la solución nutritiva con tres niveles (SN₁: 50%; SN₂: 100% y SN₃: 150%), y la inoculación de la enfermedad, con cuatro niveles: E₀: Testigo (sin enfermedad), E₁: *Corynespora cassiicola*, E₂: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella* y E₃: *Coniella diplodiella*. La combinación de los niveles de cada factor estudiado resultó en 24 tratamientos (Cuadro 1) con siete repeticiones; la unidad experimental consistió en una maceta con una planta, con un total de 168 unidades experimentales.

Riegos y fertilización

El riego y la fertilización se realizaron con un sistema de riego que consistió de goteros de 8 L h⁻¹ y distribuidores colocados en la base de las plantas; se realizaron de tres a cinco riegos diarios con SN, los cuales variaron de acuerdo con la etapa fenológica y requerimientos del cultivo. La solución nutritiva (SN) usada fue la

Solución Nutritiva Universal de Steiner (1984) con tres concentraciones (SN₁: 50%; SN₂: 100% y SN₃: 150%), en cada caso el pH se ajustó a 5.5.

Inoculación de las enfermedades

La inoculación de los agentes fitopatógenos se realizó a los 45 y 80 ddt y consistió en la aspersión de 2 mL planta⁻¹ de solución con 6x10⁶ esporas mL⁻¹ de *Corynespora cassiicola*, 1x10⁶ esporas mL⁻¹ para *Coniella diplodiella* y la combinación de ambas. Los inóculos fueron donados por el Laboratorio de Fitosanidad del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, con ID de depósito MF000878.1 (*Corynespora cassiicola*) e ID: BankIt2169900 (*Coniella diplodiella*).

VARIABLES EVALUADAS

Durante el crecimiento del cultivo se registraron la altura de planta (AP) con un flexómetro (cm), el diámetro de tallo (DT) con un vernier (mm) digital (Truper®), el número de ramas productivas (NRP). A los 160 ddt, los cálices fueron cosechados de las plantas y separados del fruto. Enseguida se colocaron en bolsas de papel con perforaciones y se alojaron en un horno de secado con aire forzado (Riossa®), modelo HCF-62D, a 75 °C durante 72 h, hasta que las muestras se mantuvieron a peso constante. En seguida, con una báscula analítica ISOLAB®, modelo LS-EJ-2200AS, se registraron el peso seco (g) de cálices totales (PSCT), de cálices sanos (PSCS) y de cálices enfermos (PSCE) por planta, respectivamente. Finalmente, los datos se ordenaron en una hoja de cálculo de Excel (2010) y se realizó un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) en las variables que resultaron significativas, con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) (2012)

versión 9.3. Los análisis se realizaron para ver obtener los efectos de los factores principales y de las interacciones dobles de los mismos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza indicaron diferencias estadísticamente significativas en altura de planta, diámetro del tallo y número de ramas productivas por el efecto individual del genotipo, concentración de la SN y enfermedad (Cuadro 2.1) (Figuras 2.1 a 2.3). También se tuvieron diferencias estadísticas en respuesta a las combinaciones (interacciones dobles) de los factores antes mencionados, sobre las variables de crecimiento del cultivo (Cuadros 2.2 a 2.4). Sin embargo, el genotipo no modificó el peso seco de cálices sanos, enfermos y totales por planta. Mientras que la concentración de la SN y la enfermedad afectaron de manera individual el peso de cálices por planta (Figuras 2.4 a 2.5), dichas diferencias fueron más evidentes al combinar cada uno de los factores estudiados (Cuadros 2.5 a 2.7).

Cuadro. 2.1 Valores de *p-value* para las variables de crecimiento y rendimiento de genotipos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), cultivados en invernadero, con diferente concentración de solución nutritiva e inoculados con hongos fitopatógenos.

Factores de estudio	GL	AP	DT	NRP	PSCBT	PSCS	PSCE
Genotipo (G)	1	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	0.0908ns	0.2348ns
CSN	2	0.0076*	<.0001**	0.2461ns	<.0001**	<.0001**	0.0050*
Enfermedad (E)	3	0.0455*	0.0245*	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
G*SN	5	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	0.0012*
G*E	7	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
SN*E	11	0.0722ns	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**	<.0001**
Coefficiente de variación		13.02	10.69	27.95	34.58	42.61	90.16
R2		0.55	0.47	0.69	0.53	0.46	0.51

Valores de *p-value* > 0.05: no significativo (ns); valores de *p-value* ≤ 0.05: significativo (*); valores de *p-value* ≤ 0.0001: altamente significativo (**); CSN: concentración de la solución nutritiva; AP: altura de planta; DT: diámetro del tallo; NRP: número de ramas productivas; PSCT: peso seco de cálices totales por planta; PSCS: peso seco de cálices sanos por planta; PSCE: peso seco de cálices enfermos por planta.

Altura de planta

Se tuvo que el genotipo Tecoanapa superó en 10.33% la altura alcanzada por Ayutla (Figura 2.1). Mientas que el riego con SN a concentraciones del 50% y 100% favorecieron el incremento de altura en ambos genotipos. Esto se atribuye a las características morfológicas definidas por las condiciones genéticas de cada especie vegetal, lo que da origen a plantas de porte bajo o alto, las cuales se pueden adaptar para su cultivo en invernadero (Chamú-Juárez *et al.*, 2020). Sin embargo, cuando las plantas de jamaica se inocularon con *Coniella diplodiella* o la combinación de esta con *Corynespora cassicola*, la altura se redujo en 5.2% y 7.4%,

respectivamente. Por otro lado, el riego con SN nutritiva a diferente concentración (50%, 100% y 150%) provocó un crecimiento similar en altura dentro del genotipo Tecoanapa, dichos valores superaron a los obtenidos por Ayutla, cuando este se regó con cualquiera de las concentraciones de SN evaluadas (Cuadro 2.2). Este comportamiento fue similar a lo detectado por Pérez-González *et al.* (2012) quienes no tuvieron incrementos en la altura de planta por el incremento de la fertilización, esto se puede atribuir a que cuando hay una mayor cantidad de nutrimentos, se tiende a elevar la conductividad eléctrica de la SN, lo que reduce la capacidad de absorción de agua y nutrientes, esto provoca una disminución del crecimiento de la planta, sobre todo la altura de la misma, aun cuando la concentración de la SN de Steiner sea del 100% (Magdaleno-Villar *et al.*, 2006). Sin embargo, estudios realizados en otras especies (solanáceas) demuestran que cuando la SN se aplica al 50% y 75% de su concentración original, la altura se incrementa (Chamú-Juárez *et al.*, 2020). Mientras tanto, los resultados obtenidos en el presente estudio se encuentran en el rango de valores de altura de planta reportados por Ariza-Flores *et al.* (2014) para cultivares mejorados y criollos, que van de 197.7 a 213.8 m.

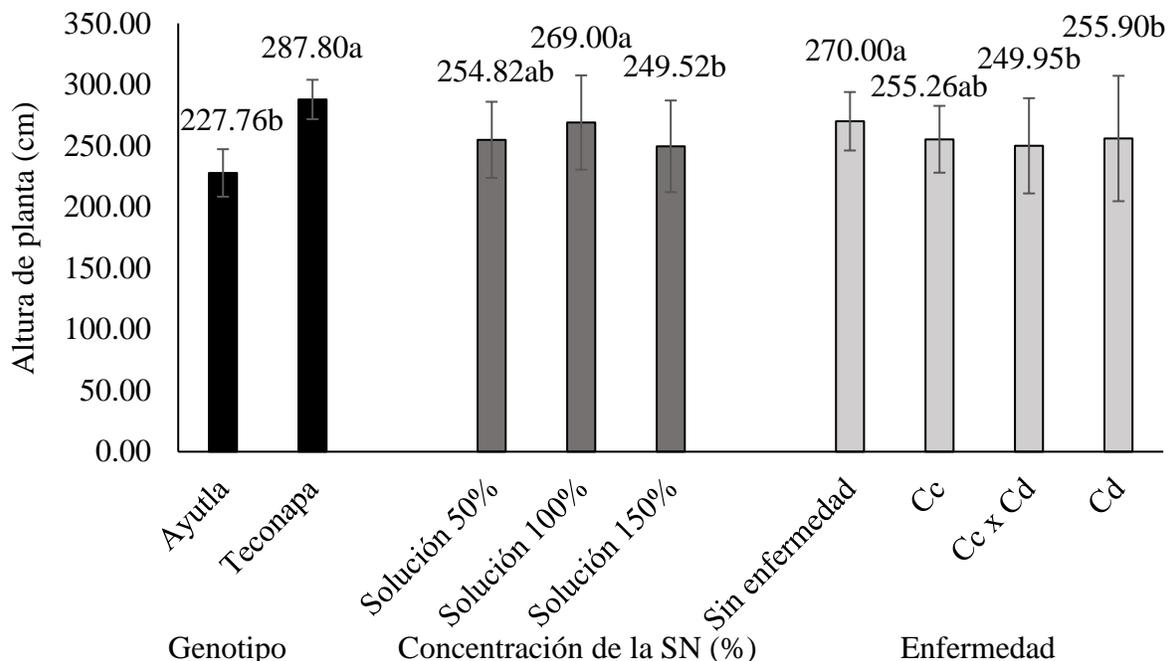


Figura 2.1. Efecto del genotipo, concentración de la solución nutritiva y de la enfermedad sobre la altura de planta en el cultivo de jamaica (*H. sabdariffa* L.) en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha = 0.05$). Cc: *Corynespora cassiicola*; Cd: *Coniella diplodiella*; Cc + Cd: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*. $DHS_{\text{genotipo}} = 10.23$; $DHS_{\text{concentración de la SN}} = 15.02$; $DHS_{\text{enfermedad}} = 19.03$.

La infección de las plantas con *Corynespora cassiicola*, *Coniella diplodiella* o con ambas enfermedades, provocó una disminución de la altura en el genotipo Ayutla. Sin embargo, Tecoanapa mostró resistencia ante la presencia de estas enfermedades al no verse afectada su altura (Cuadro 2.3). Así mismo, la interacción de la enfermedad con la concentración de la SN no influyó en la altura de las plantas de jamaica (Cuadro 2.4). El suministro adecuado de nutrientes en las plantas mejora el metabolismo y el crecimiento de las mismas, además, contribuye en la tolerancia a patógenos, al mejorar la capacidad del huésped para mantener su crecimiento, no obstante, la presencia de la infección o ataque de plagas limitan el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Marschner, 1995 y Munévar, 2004).

Diámetro del tallo

Se tuvo que el diámetro del tallo en el genotipo Tecoaapa (26.93 mm) superó al genotipo Ayutla (25.01 mm) (Figura 2.2), dicho comportamiento es común en la mayoría de las especies vegetales, en dónde el genotipo o variedad es un factor determinante en el crecimiento como se ha observado en maíz (Aguilar *et al.*, 2015). Mientras que, la SN al 100% y 150% favorecieron el crecimiento diámetro del tallo, principalmente en el genotipo Tecoaapa (Cuadro 2.2). Por otro lado, cuando el cultivo se inoculó con *Corynespora cassiicola*, *Coniella diplodiella* o la combinación de ambos patógenos, el diámetro se incrementó en comparación con las plantas sanas (Figura 2.2), pero, afectó negativamente el crecimiento del genotipo Ayutla, cuyo diámetro del tallo fue inferior en plantas sanas y en las infectadas con *Corynespora cassiicola* (Cuadro 2.3). Adicionalmente se tuvo que, el riego con SN al 100% y 150% incrementó el diámetro del tallo aun en plantas infectadas con ambas enfermedades (Cuadro 2.4). Al respecto, González y Chamorro (2017) tuvieron valores inferiores de diámetro de tallo (22.00 y 24.00 mm) en la variedad Reyna con dos densidades de siembra. Lo que indica que el crecimiento del cultivo de jamaica varía de acuerdo con el genotipo o variedad utilizada (Hidalgo-Villatoro *et al.*, 2009). Por su parte, Toral-Flores *et al.*, (2005) encontraron los mayores diámetros de tallo (20.40 mm) en jamaica, cuando se incrementaron los niveles de fertilización, a pesar de esto, los valores reportados por estos investigadores son inferiores a los promedios detectados en el presente estudio. En el mismo sentido, Pérez-González *et al.* (2012) mencionaron que al incrementar la fertilización orgánica se tienen tallos más gruesos y más aún cuando se combina la fertilización orgánica e inorgánica (Akanbi *et al.*, 2009). Lo anterior indica que el incremento de

la concentración de la SN favorece el incremento del diámetro de tallo en el cultivo de jamaica, similar a lo observado en algunas solanáceas, donde a medida que la fuerza iónica de la SN de Steiner aumenta, el diámetro del tallo se incrementa (Cruz-crespo *et al.*, 2012). Por otro lado, las enfermedades causadas por hongos afectan el diámetro de tallo al provocar agrietamientos y pudrición (Ortega-Acosta *et al.*, 2015).

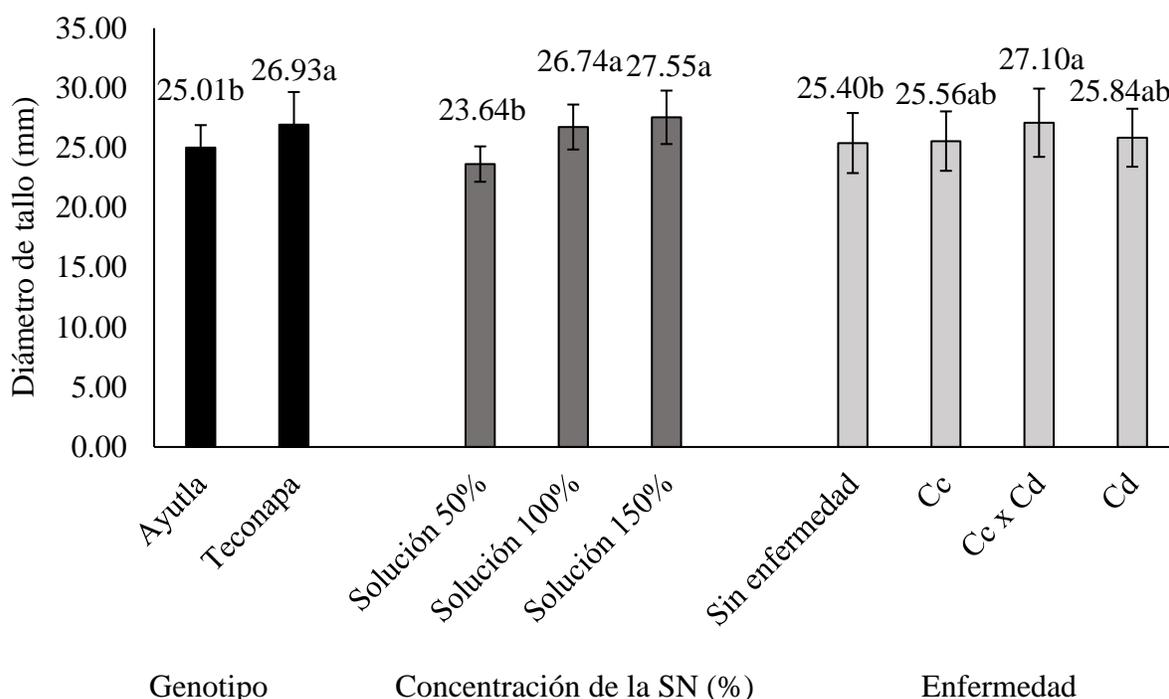


Figura 2.2. Efecto de los factores principales sobre el diámetro de tallo (mm) en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha = 0.05$). Cc: *Corynespora cassiicola*; Cd: *Coniella diplodiella*; Cc + Cd: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*. $DHS_{\text{genotipo}} = 0.85$; $DHS_{\text{concentración de la SN}} = 1.24$; $DHS_{\text{enfermedad}} = 1.58$.

Número de ramas productivas

El genotipo Teconapa produjo mayor cantidad de ramas productivas que Ayutla, con 25.85 ramas por planta, mismas que fueron afectadas cuando las plantas se infectaron conjuntamente con *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella*, en contraste con las plantas sanas o infectadas con una sola enfermedad. Esto se

reafirma en la interacción genotipo x enfermedad, donde Tecoaapa tuvo menos ramas productivas cuando las plantas se infectaron conjuntamente con *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella*, a pesar de ello, este genotipo combinado con los diferentes niveles de enfermedad, superó la cantidad de ramas producidas por el genotipo Ayutla con las diferentes combinaciones de enfermedad, con menor cantidad cuando las plantas se infectaron con cada enfermedad tanto individual, como conjuntamente (Cuadro 2.3). Una característica importante del genotipo Tecoaapa es que tiene el atributo de producir de 18 a 28 ramas, en comparación con otros genotipos (Hidalgo-Villatoro *et al.*, 2009). Sin embargo, cuando las plantas de jamaica son atacadas por *C. cassiicola* o por enfermedades del género *diplodiella*, estas sufren necrosis foliar, en los tallos y frutos, lo que provoca la defoliación y disminución del crecimiento de hojas y yemas que darán origen a nuevas ramas (Correa *et al.*, 2011; Guerrero *et al.*, 2016; Noruega-Cantú *et al.*, 2019).

En general, se detectó que la concentración de la SN no modificó el número de ramas (Figura 2.3). Pero, cuando el genotipo Tecoaapa se regó con cualquiera de los niveles de SN, se favoreció la producción de ramas productivas con respecto al genotipo Ayutla (Cuadro 2.2). En el mismo contexto, el menor número de ramas se presentó en plantas de jamaica regadas con SN al 50% e infectadas conjuntamente con *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella*, en comparación cuando las plantas sanas fueron regadas con SN al 150%, lo que produjo más ramas productivas por planta (Cuadro 2.4), esto se atribuye a que el suministro de nutrimentos a través de la fertilización influye en crecimiento vegetativo de las

plantas, lo que incrementa la producción de ramas y hojas (Akanbi *et al.*, 2009). Cuando el cultivo de jamaica es fertilizado se pueden obtener más de 30 ramas por planta (Ruiz-González y Victorino-Ramírez, 2014), valores que superan a los registrados en la presente investigación. Sin embargo, Pérez-González *et al.* (2012), no encontraron respuesta positiva en la producción de ramas al incrementar la fertilización orgánica con humus de lombriz en el cultivo de jamaica, con 11 a 13 ramas por planta, valores que coinciden con la cantidad de ramas generadas por el genotipo Ayutla (12.71 ramas por planta).

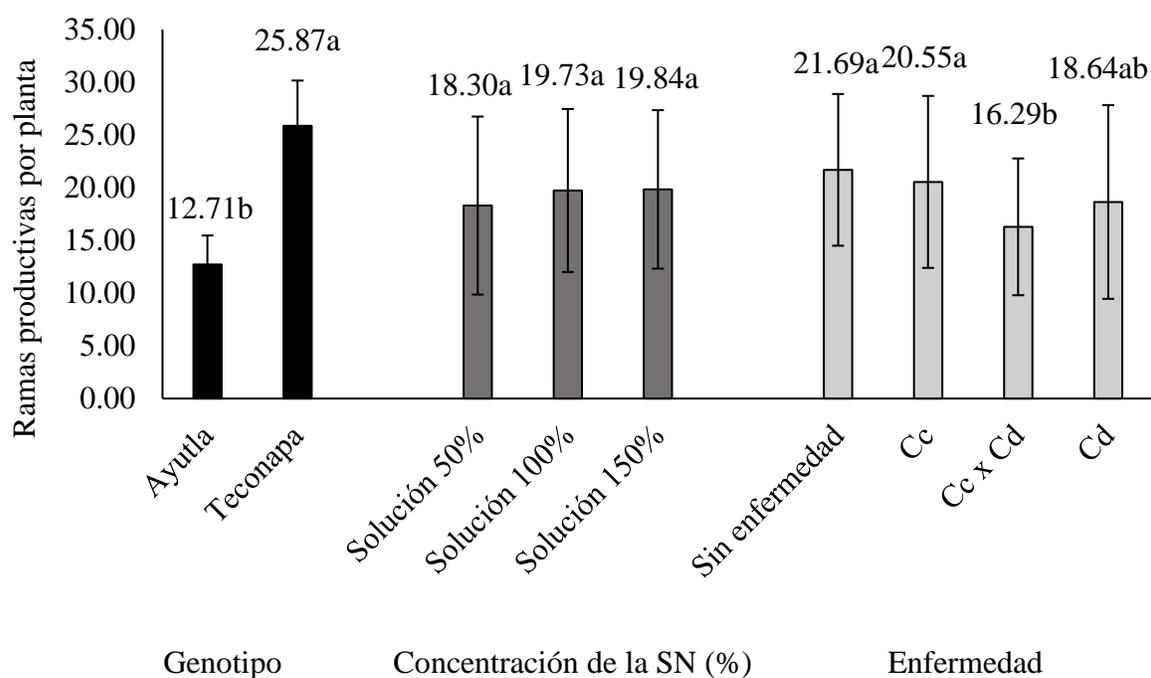


Figura 2.3. Efecto de los factores principales sobre el número de ramas productivas en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha = 0.05$). Cc: *Corynespora cassiicola*; Cd: *Coniella diplodiella*; Cc + Cd: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*. $DHS_{\text{genotipo}} = 1.64$; $DHS_{\text{concentración de la SN}} = 2.41$; $DHS_{\text{enfermedad}} = 3.06$.

Cuadro 2.2. Efecto combinado del genotipo y la concentración de la solución nutritiva sobre el crecimiento en plantas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.

Genotipo	Concentración de la solución nutritiva	Altura de planta	Diámetro del tallo	Ramas productivas
	%	Cm	mm	
Ayutla	50	229.21±21.82b	23.32±1.41e	11.32±1.89b
	100	238.25±19.61b	25.60±1.70cd	13.14±2.10b
	150	215.82±13.45b	26.12±1.48bc	13.68±3.97b
Tecoanapa	50	280.43±5.83a	23.96±1.69de	25.29±5.72a
	100	299.75±23.61a	27.87±1.38ab	26.35±4.39a
	150	283.21±8.08a	28.98±2.00a	26.00±3.85a
DHS		25.90	2.14	4.16

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); DHS: diferencia significativamente honesta.

Cuadro 2.3. Efecto combinado del genotipo y la enfermedad sobre el crecimiento en plantas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.

Genotipo	Enfermedad	Altura de	Diámetro del	Ramas
		planta	tallo	productivas
		cm	mm	
Ayutla	Sin enfermar	250.24±14.07bc	23.62±1.56c	15.71±1.87c
	<i>Cc</i>	232.95±17.88cd	24.61±0.43bc	13.67±2.86cd
	<i>Cd</i>	212.95±8.82d	25.36±2.86abc	10.43±0.57d
	<i>Cc + Cd</i>	214.90±10.05d	26.48±1.45ab	11.05±1.67cd
Tecoanapa	Sin enfermar	289.76±7.62a	27.18±1.95ab	27.67±4.34a
	<i>Cc</i>	277.57±7.18ab	26.51±3.54ab	27.43±4.01a
	<i>Cd</i>	298.86±30.87a	26.33±2.41ab	26.88±2.85a
	<i>Cc + Cd</i>	285.00±0.87a	27.71±4.13a	21.52±4.48b
DHS		31.85	2.64	5.12

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); DHS: diferencia significativamente honesta. *Cc*: *Corynespora cassiicola*; *Cd*: *Coniella diplodiella*; *Cc + Cd*: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*.

Cuadro 2.4. Efecto de la interacción de la concentración de la solución nutritiva y la enfermedad sobre el crecimiento en plantas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.

Concentración de la SN	Enfermedad	Altura de planta	Diámetro del tallo	Ramas productivas
%		cm	mm	
50	Sin enfermar	267.43±19.19a	24.23±2.99cde	21.21±10.20ab
	<i>Cc</i>	256.21±22.53a	23.33±1.28de	19.21±12.02abc
	<i>Cd</i>	249.93±46.77a	22.98±1.20e	19.64±12.22abc
	<i>Cc + Cd</i>	245.71±56.37a	24.02±1.13cde	13.14±5.05c
100	Sin enfermar	278.50±23.13a	24.66±1.62bcde	19.21±5.35abc
	<i>Cc</i>	265.86±28.08a	26.78±2.40abcd	22.57±12.32ab
	<i>Cd</i>	276.79±81.52a	27.50±1.62abc	19.57±12.93abc
	<i>Cc + Cd</i>	254.86±41.21a	28.01±0.79ab	17.57±6.67bc
150	Sin enfermar	264.07±41.52a	27.32±2.96abc	24.64±9.80a
	<i>Cc</i>	243.71±44.04a	26.57±2.91abcd	19.86±4.85abc
	<i>Cd</i>	241.00±53.94a	27.04±0.75abc	16.71±9.70bc
	<i>Cc + Cd</i>	249.29±51.11a	29.26±2.96a	18.14±10.51abc
DHS		42.14	3.49	6.77

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); DHS: diferencia significativamente honesta. *Cc*: *Corynespora cassiicola*; *Cd*: *Coniella diplodiella*; *Cc + Cd*: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*.

Peso seco de cálices totales

Se tuvo que ambos genotipos (Ayutla y Tecoaanapa) produjeron el mismo peso de cáliz seco por planta (sin fruto). Mientras que el riego con SN al 100% y 150% incrementaron el rendimiento, con 56.18 y 51.73 g planta⁻¹, respectivamente. Por otro lado, la presencia de *Coniella diplodiella* en el cultivo, redujo en 24.9% el rendimiento con respecto al testigo (plantas sanas) (Figura 2.4). A pesar que el riego con SN al 100% y 150% produjeron el mismo rendimiento en peso de cáliz seco (Cuadro 2.5) en ambos genotipos, el genotipo Ayutla regado con SN al 100% produjo 41.3% mayor rendimiento con respecto al tratamiento con el menor rendimiento (Tecoaanapa con SN al 50%). Esto indica que la productividad de este cultivo depende de varios factores; como el clima, suelo, manejo del cultivo, fertilización, presencia de plagas y enfermedades y del genotipo o variedad utilizada y que, pueden influir de manera conjunta o individual en la producción y peso de los cálices (Ruíz-González y Victorino-Ramírez, 2015; Ramos-Gutiérrez *et al.*, 2019).

La combinación del genotipo con la enfermedad provocó respuestas contrastantes acentuadas en el genotipo Tecoaanapa, al presentar el menor rendimiento de cáliz seco cuando se infectó con *Coniella diplodiella*. En cambio, las plantas sanas de este genotipo tuvieron 38.4% más peso de cálices secos que el tratamiento anterior (Cuadro 2.5). Además, fue evidente que cuando *Coniella diplodiella* o *Corynespora cassiicola* se presentaron de manera individual en el genotipo Tecoaanapa, estas disminuyeron notable el rendimiento con respecto a las plantas sanas, situación que no se presentó en el genotipo Ayutla, donde ambas enfermedades individualmente o combinadas produjeron rendimientos similares al testigo. Esto se debe a que

existen genotipos que presentan mayor susceptibilidad a enfermedades que afectan la producción de cálices en el cultivo de jamaica (Trujillo-Tapia *et al.*, 2015). Al respecto, *Corynespora cassiicola*, es considerada una de las enfermedades más severas en el cultivo de jamaica en Guerrero y, puede ocasionar pérdidas en la producción hasta del 60% (Cesavegro, 2018).

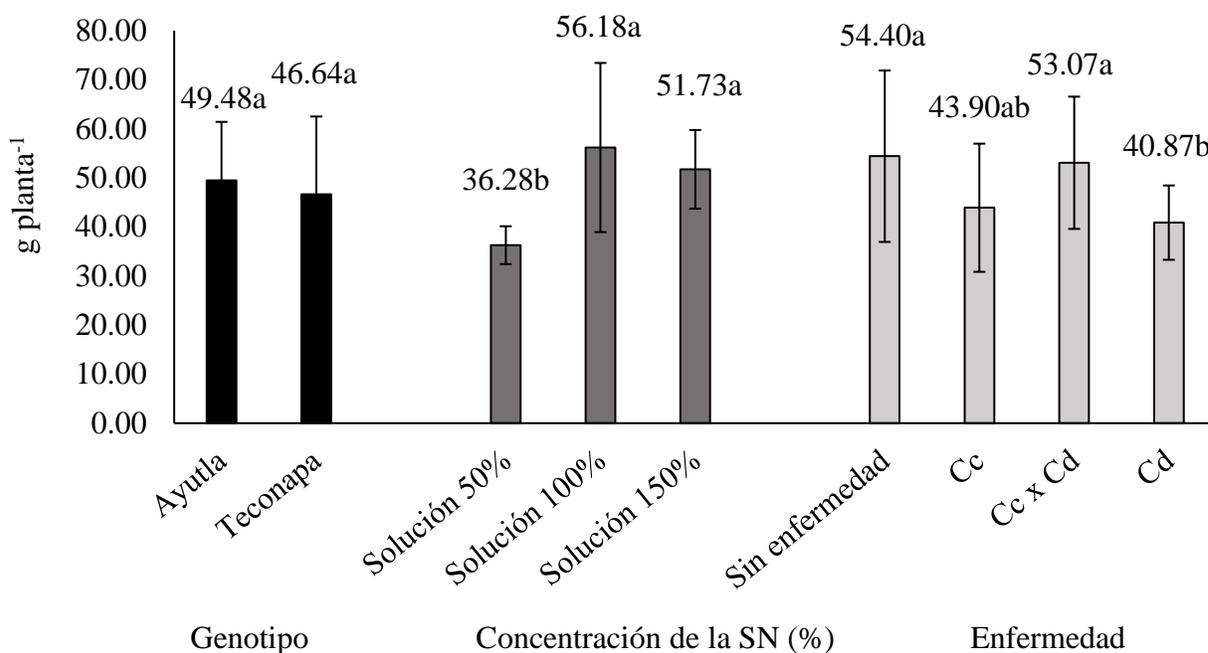


Figura 2.4. Efecto de los factores principales sobre el peso seco de cálices totales en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.), cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha = 0.05$). Cc: *Corynespora cassiicola*; Cd: *Coniella diplodiella*; Cc + Cd: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*. DHS_{genotipo} = 5.72; DHS_{concentración de la SN} = 8.40; DHS_{enfermedad} = 10.65.

El riego con SN al 100% y 150% en plantas sanas y enfermas con ambos hongos fitopatógenos, al igual que el riego con SN al 100% en plantas infectadas únicamente con *Corynespora cassiicola*, produjeron el mismo rendimiento en peso seco de cálices por planta (Cuadro 2.7). En contraste, los menores rendimientos se tuvieron cuando el cultivo se regó con SN al 50% tanto en plantas sanas como

enfermas. En este sentido, el riego con SN al 100% superó en 58.3% el rendimiento alcanzado en plantas regadas con SN al 50% e infectadas con *Coniella diplodiella*. Al respecto, Pérez-González *et al.* (2012), mencionan rendimientos de 1668.5 Kg ha⁻¹ de cáliz seco al incrementar la fertilización orgánica en el cultivo de jamaica. Por su parte, Sánchez-Prado *et al.* (2019) obtuvieron 1.98 t ha⁻¹ cuando regaron el cultivo con la SN universal de Steiner al 100% de su concentración.

Peso seco de cálices sanos

No se tuvieron diferencias significativas en el peso seco de cálices sanos por planta en ambos genotipos, aunque, Ayutla tuvo 10.6% más rendimiento de cálices sanos que Tecoaapa (Figura 2.5). También, el riego con SN al 100% y 150% favorecieron la producción de cálices sanos, al superar en 35.1% y 25.8% el peso de cáliz sano obtenido con la SN al 50%, respectivamente. Por otro lado, cuando las plantas presentaron *Coniella diplodiella* o *Corynespora cassiicola*, la producción de cálices sanos se redujo significativamente, siendo más evidente cuando las plantas se infectaron con ambas enfermedades, de manera que el rendimiento de las plantas sanas superó el rendimiento de cáliz sano en 35.2%, 43.8% y 34.9% a las plantas infectadas con *Corynespora cassiicola*, *Coniella diplodiella* y la combinación de ambas, respectivamente.

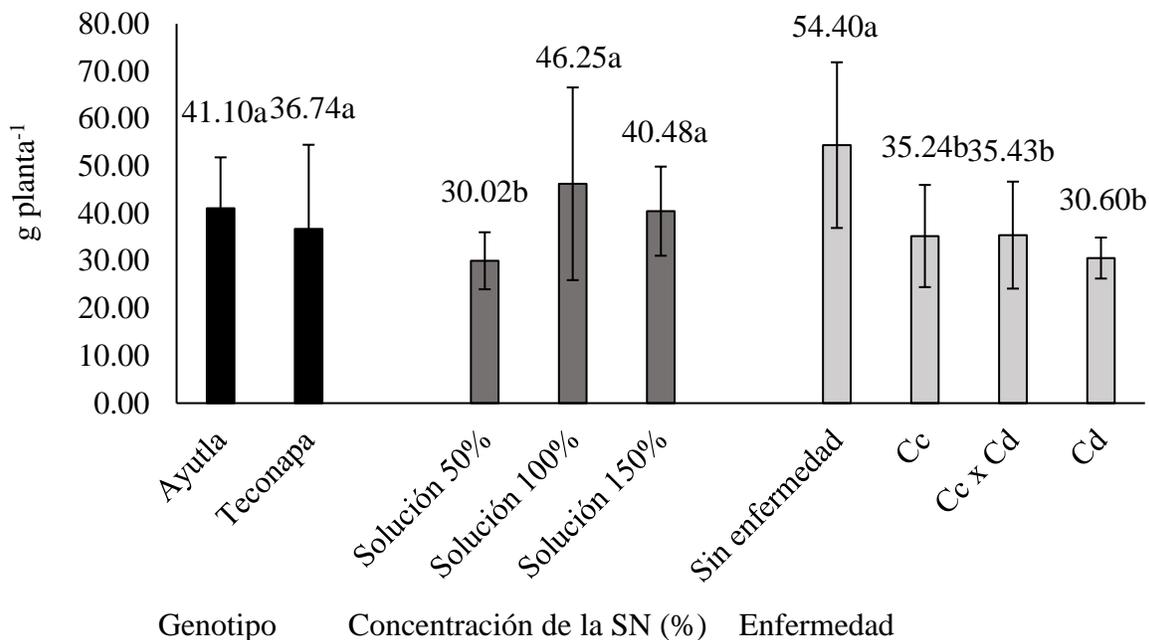


Figura 2.5. Efecto de los factores principales sobre el peso seco de cálices sanos en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.), cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha = 0.05$). Cc: *Corynespora cassiicola*; Cd: *Coniella diplodiella*; Cc + Cd: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*. $DHS_{\text{genotipo}} = 5.06$; $DHS_{\text{concentración de la SN}} = 7.42$; $DHS_{\text{enfermedad}} = 9.41$.

La fertirrigación con SN al 100% y 150% incrementó la producción de cálices sanos en ambos genotipos. Por el contrario, el riego con SN al 50% redujo el rendimiento de cáliz (seco) sano en ambos genotipos (Cuadro 2.5), principalmente en el genotipo Teconapa, con 41.1% menos rendimiento que el genotipo Ayutla regado con SN al 100%, dicho genotipo superó numéricamente a todas las combinaciones de niveles de genotipo y concentración de la SN.

En la combinación de niveles de la enfermedad con los genotipos, se tuvo que tanto Teconapa como Ayutla tuvieron rendimientos de cálices sanos similares en plantas sanas, quienes fueron superiores al resto de las combinaciones que presentaron al menos una de las enfermedades con los que ambos genotipos fueron infectados (Cuadro 2.6).

Al analizar la concentración de la SN con la enfermedad, se tuvo que el mayor rendimiento por planta en peso de cáliz seco se obtuvo en plantas sanas regadas con SN al 100%, mientras que rendimientos bajos se registraron en los tratamientos donde se utilizó la menor concentración de la SN (50%) y en aquellos donde las plantas se infectaron con al menos una de las enfermedades con cualquiera de los niveles de SN (Cuadro 2.7). Lo anterior reafirma que la nutrición balanceada de los cultivos modifica la resistencia y tolerancia de la planta a las enfermedades (Munévar, 2004) y, el efecto específico que se produzca dependerá de la interacción entre dicho balance nutrimental, la naturaleza del patógeno y el genotipo o especie vegetal (Marschner, 1995). Por lo anterior, es evidente que el suministro balanceado de nutrientes en los cultivos contribuye al manejo de las enfermedades y lo que optimiza el crecimiento y la producción (Munévar, 2004).

Peso seco de cálices enfermos

El genotipo no influyó en la producción de cálices enfermos, sin embargo, se tuvieron diferencias significativas en este parámetro por efecto de la concentración de la SN y de las enfermedades, tanto individualmente como por la combinación de ambas (Figura 2.6). También, se tuvo que el riego con solución al 100% y 150% incrementó la presencia de cálices enfermos, esto provocó una disminución del rendimiento con 9.93 y 11.25 g planta⁻¹, equivalente a una pérdida estimada de 397 y 450 kg ha⁻¹, respectivamente.

Por otro lado, se tuvieron diferencias estadísticas por el efecto de la enfermedad; las plantas infectadas conjuntamente con *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella* presentaron la mayor producción de cáliz enfermo, con pérdidas

estimadas de 705 kg ha⁻¹, mientras que las plantas sanas no registraron pérdidas (Figura 2.6). Este comportamiento fue evidente para ambos genotipos con la combinación de ambos hongos fitopatógenos (Cuadro 2.6), lo que ocasionó pérdidas de 592.2 y 838 kg ka⁻¹, respectivamente. Es común que cuando el cultivo de jamaica es infectado por *Corynespora cassiicola* en campo, se tengan pérdidas superiores al 50% (CESAVEGRO, 2018), debido a que este patógeno afecta la producción y calidad de los cálices con la presencia de manchas circulares irregulares en las hojas y en los cálices puntos hundidos necróticos circulares a irregulares (Ortega-Acosta *et al.*, 2015. En el mismo contexto se ha reportado que las enfermedades provocadas por *Corynespora* y *Coniella* en los genotipos Ayutla y Tecoaapa pueden tener una incidencia del 25.0% y 22.2% en los cálices, respectivamente (Noriega-Cantú *et al.*, 2019).

En la interacción del genotipo y concentración de la SN, el suministro de la SN al 100% y 150% en los genotipos Ayutla y Tecoaapa, tuvieron la mayor producción de cálices enfermos (Cuadro 2.5), este último superó en 59% y 54.8% la producción de cáliz enfermo cuando ambos genotipos se regaron con SN al 50%. En este sentido, el incremento de la concentración de la SN favoreció el desarrollo de la enfermedad, de manera que la SN al 100% y 150% en plantas con la combinación de *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*, así como el riego con SN al 150% en plantas con *Coniella diplodiella* tuvieron afectaciones en el rendimiento por mayor presencia de cálices enfermos (Cuadro 2.7), con una pérdida estimada de 914.4 kg ha⁻¹ de cáliz enfermo.

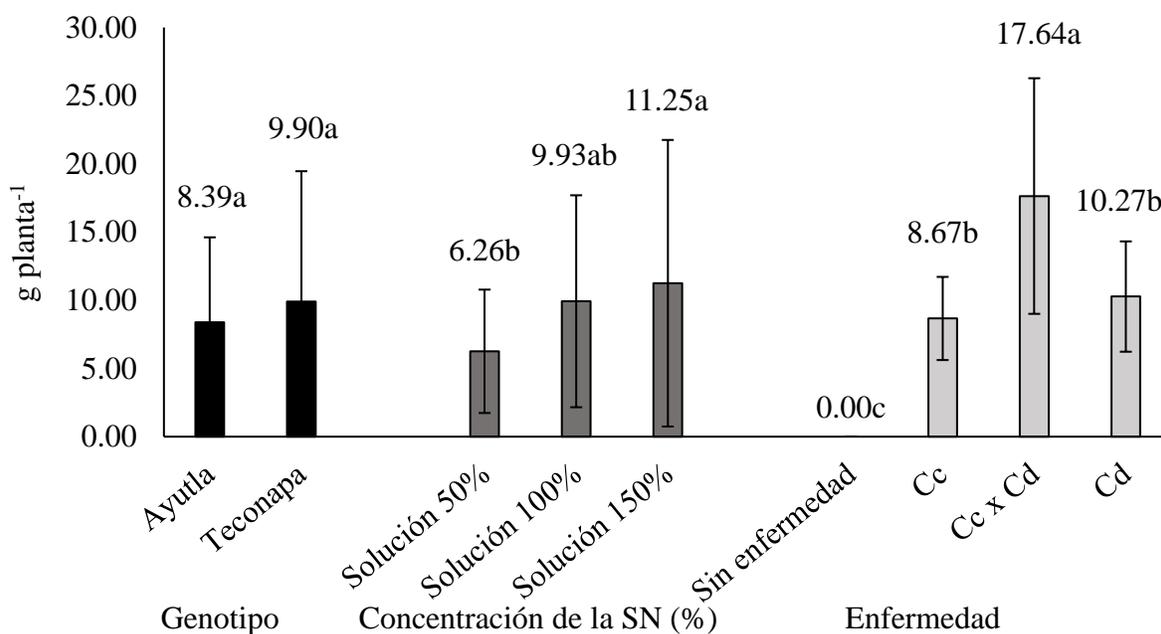


Figura 2.6. Efecto de los factores principales sobre el peso seco de cálices enfermos en plantas de jamaica (*H. sabdariffa* L.), cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha = 0.05$). Cc: *Corynespora cassiicola*; Cd: *Coniella diplodiella*; Cc x Cd: interacción de *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*. DHS_{genotipo} = 2.51; DHS_{concentración de la SN} = 3.69; DHS_{enfermedad} = 4.68.

Cuadro 2.5. Efecto de la interacción del genotipo y la concentración de la solución nutritiva sobre el rendimiento de cálices en plantas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivadas en hidroponía e invernadero.

Genotipo	Concentración	Peso seco de cálices por planta (g planta ⁻¹)		
	de la SN	Totales	Sanos	Enfermos
	%			
Ayutla	50	37.13±3.49bc	31.18±5.04bc	5.95±5.30b
	100	60.36±9.58a	49.11±11.60a	11.25±7.83ab
	150	50.96±7.31ab	43.00±6.37ab	7.96±5.81b
Tecoanapa	50	35.43±4.54c	28.86±7.44c	6.57±4.41b
	100	52.00±23.56a	43.39±28.40ab	8.61±8.65ab
	150	52.50±9.75a	37.96±12.18abc	14.54±13.96a
DMS		14.49	12.80	6.37

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); DHS: diferencia significativamente honesta.

Cuadro 2.6. Efecto combinado del genotipo y la enfermedad sobre el rendimiento de cálices en plantas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.

Genotipo	Enfermedad	Peso seco de cálices por planta (g planta ⁻¹)		
		Totales	Sanos	Enfermos
Ayutla	Sin enfermar	48.95±11.11abc	48.95±11.11ab	0.00±0.00c
	<i>Cc</i>	47.48±16.85abc	39.43±12.23bc	8.05±4.62b
	<i>Cd</i>	44.83±5.87abc	33.67±3.34bc	11.17±3.29b
	<i>Cc + Cd</i>	56.67±14.97ab	42.33±12.92bc	14.33±3.30ab
Tecoanapa	Sin enfermar	59.86±23.45a	59.86±23.45a	0.00±0.00c
	<i>Cc</i>	40.33±10.21bc	31.05±9.37c	9.29±0.87b
	<i>Cd</i>	36.90±7.86c	27.52±2.70c	9.38±5.26b
	<i>Cc + Cd</i>	49.48±13.83abc	28.52±2.79c	20.95±11.95a
DMS		17.82	15.74	7.83

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); *Cc*: *Corynespora cassiicola*; *Cd*: *Coniella diplodiella*; *Cc + Cd*: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*; DHS: diferencia significativamente honesta.

Cuadro 2.7. Efecto de la concentración de la solución nutritiva y la enfermedad sobre el rendimiento de cálices en plantas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), cultivadas en hidroponía e invernadero.

Concentración de la solución nutritiva	Enfermedad	Peso seco de cálices por planta (g planta ⁻¹)		
		Totales	Sanos	Enfermos
50	Sin enfermar	38.50±0.10cd	38.50±0.10bcd	0.00±0.00d
	<i>Cc</i>	30.36±2.32d	24.29±5.45d	6.07±3.13cd
	<i>Cd</i>	37.46±1.06cd	29.43±1.82cd	8.04±0.76cd
	<i>Cc x Cd</i>	38.79±1.52cd	27.86±0.61cd	10.93±2.12bc
100	Sin enfermar	72.79±17.27a	72.79±17.27a	0.00±0.00d
	<i>Cc</i>	56.64±12.42abc	45.29±10.10bc	11.36±2.32bc
	<i>Cd</i>	38.00±12.53cd	28.79±5.96cd	9.21±6.57bcd
	<i>Cc + Cd</i>	57.29±15.96abc	38.14±17.37bcd	19.14±1.41ab
150	Sin enfermar	51.93±5.76abcd	51.93±5.76b	0.00±0.00d
	<i>Cc</i>	44.71±0.40bcd	36.14±2.22bcd	8.57±1.82cd
	<i>Cd</i>	47.14±3.23bcd	33.57±5.25bcd	13.57±2.02abc
	<i>Cc + Cd</i>	63.14±2.22ab	40.29±12.53bcd	22.86±14.75a
DMS		23.57	20.83	10.36

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); *Cc*: *Corynespora cassiicola*; *Cd*: *Coniella diplodiella*; *Cc + Cd*: *Corynespora cassiicola* + *Coniella diplodiella*; DHS: diferencia significativamente honesta.

CONCLUSIONES

Efectos principales

El genotipo Tecoanapa presenta mejor crecimiento, lo que se traduce en mayor número de cálices por planta. Aunque, tanto Ayutla como Tecoanapa tienen rendimientos similares en peso de cáliz seco (sin fruto), y de cálices sanos y enfermos.

La SN al 100% mejora el crecimiento del cultivo de jamaica en invernadero. A medida que la concentración de la SN aumenta (100% y 150%), la producción de cálices totales se incrementa al aumentar la producción de cálices sanos, pero también aumenta la presencia de cálices enfermos.

Evidentemente, las plantas sanas o las inoculadas con un solo hongo fitopatógeno no son afectadas en su crecimiento. De tal manera que las plantas sanas superan en 43.75% el rendimiento de cáliz (sin fruto) seco sano con respecto a las plantas enfermas. Mientras que la combinación de *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella* afecta el rendimiento al contribuir a más cálices enfermos.

Interacciones dobles

El genotipo Tecoanapa con SN al 150% presenta mejor crecimiento y mayor producción de cálices. Mientras que el riego con SN al 100% o 150% produce rendimientos similares de cáliz (sin fruto) seco en Ayutla y Tecoanapa.

El genotipo de Ayutla es más susceptible a cualquiera de las enfermedades o a la combinación de ambas, afectando su crecimiento y rendimiento, aunque este genotipo presenta rendimientos similares en peso seco de cáliz sano con

Tecoanapa. Pero, el rendimiento de ambos genotipos tuvo mayores afectaciones cuando se inocularon conjuntamente con *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella*, al presentar mayor cantidad de cálices enfermos.

Bajo las condiciones en las que se desarrolló esta investigación, tanto Ayutla como Tecoaanapa presentan los mayores rendimientos de cáliz sano en plantas sanas y a su vez cero perdidas por cálices enfermos. Pero, en las plantas inoculadas con la combinación de *Corynespora cassiicola* y *Coniella diplodiella* y regadas con SN al 100% y 150%, aumenta la presencia de cálices enfermos y por ende, el rendimiento por unidad de superficie.

Finalmente, el riego con SN al 100% y/o 150% en plantas sanas incrementa el rendimiento total de cáliz (con y sin fruto) seco, pero el riego con SN al 100% favorece la mayor producción de cálices sanos, mientras que la SN al 150% aumenta la producción de cálices enfermos.

LITERATURA CITADA

- Aguilar C. A., Escalante J. A. E. y Aguilar I. M. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33: 51-62.
- Akanbi, WB, Orolaniyan AB, Togun AO, Llupeju AEO y Olaniran OA. (2009). El efecto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de calices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Revista de Agricultura Sostenible. America y Europa*. 3 (4): 652-657.
- Alejo J., A. (2016). Cultivo de jamaica en dos sistemas de producción en Guerrero. Folleto para productores número 16. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Iguala de la independencia, Guerrero. 21 p.
- Ariza-Flores, R., Serrano-Altamirano V., Navarro-Galindo S., Ovando-Cruz M. E., Vázquez-García E., Barrios-Ayala A., Michel-Aceves A. C., Guzmán-Maldonado S. H. y Otero-Sánchez M. A. (2014). Variedades mexicanas de Jamaica (*Hibiscus subdariffa* L.) “Alma blanca” y “Rosaliz” de color claro y “Cotzaltzin” y “Tecoanapa” de color rojo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(2): 181-185.
- Calvache, U. M. (2008). Fertirriego en Ecuador, Presente y Futuro. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 1-2 p.

- CESAVEGRO, Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guerrero. (2018). Manejo fitosanitario de la jamaica. Consultado: 10 de noviembre de 2018 en <https://cesavegro.org.mx/manejo-fitosanitario-de-la-jamaica/>.
- Chamú-Juárez, R., M. Sandoval-Villa, M. N. Rodríguez-Mendoza y A. García-Esteva. (2020). Respuesta del tomate de cáscara silvestre mexicano (*Physalis* spp.) al potencial osmótico en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(2): 151-159.
- Correa S. E., C. F. Ortiz G., M. Torres de la C., C. C. Bautista M., M. C. Rivera C., L. C. Lagunes E. y J. H. Hernández. (2011). Etiología de la mancha acuosa de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 29(2):165-167.
- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, R. Bulgarín-Montoya, J. Pineda-Pineda, R. Flores-Canales, P. Juárez-López y G. Alejo-Santiago. (2012). Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(3): 289-295.
- Edwards, C. A., A. M. Askar, M. Vasko-Bennett, and N. Arancon. (2010). The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicomposts or Teas on Plant Growth and Yields, pp. 235–248. *In: Vermiculture Technology. Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. In: Edwards, C. A., N. Q. Arancon, and R. Sherman (eds.). CRC Press. Boca Ratón, Florida, United States of America.*

- Fageria, N.K., V.C. Baligar y Ch. A. Jones. (1997). Growth and mineral nutrition of fields crops. 2nd edition. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Giginyu, B. M., and J. A. Fagbayide. 2009. Effect of nitrogen fertilizer on the growth and calix yield of two cultivars of roselle in Northern Guinea Savanna. Middle-East Journal of Scientific Research 4(2): 66-71.
- Guerrero J. C., Fernández E., y Zamora E. (2016). La Mancha de la hoja del pepino *Corynespora cassiicola* (Berkeley & Curtis). Enfermedades de las plantas (cultivos protegidos). Universidad de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería. Hermosillo, Sonora, Mexico. ENFPL-CP-002. 1- 4 p.
- González Martínez A. J. y Chamorro Íncer M. A. (2017). Efecto de la densidad poblacional sobre el crecimiento y rendimiento de la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Nicaragua. Revista de la facultad de agronomía UBA. 37 (2): 131-139.
- Hidalgo-Villatoro., S. G., W. A. Cifuentes R., H. H. Ruano S., y L. E. Cano C. (2009). Caracterización de trece genotipos de rosa de jamaica *Hibiscus sabdariffa* en Guatemala. Agronomía Mesoamericana 20: 101-109.
- Huber, D.M. (1989). Introduction. In: A.W. Engelhard (ed). Soilborne plant pathogen: management of disease with macro and microelements. APS Press. St. Paul, Minnesota. pp. 1-8.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2015). Anuario estadístico del estado de Guerrero. México. Consultado el 10/07/2018 en: http://www.diputados.gob.mx/sedia/biblio/usieg/mapas/gro_map.pdf

- INTAGRIN. (2017). Los sistemas de riego aptos para fertirrigación. Serie Agua y Riego. Artículos técnicos de INTAGRIN,16. 4 p.
- Magdaleno-Villar J. J., Peña-Lomelí A.; Castro-Brindis R.; Castillo-González A. M.; Galvis-Spinola A.; Ramírez-Pérez F. y Hernández-Hernández B. (2006). Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Chapingo, México. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(2): 223-229.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. London. pp. 2173
- Marschner, P. (2012). Mineral Nutrition of Higher plants. 3th ed. Academic Press, Sydney, Australia, 649 p.
- Mayo, H. H. (2010). Plagas y enfermedades del cultivo de flor de Jamaica en el estado de Guerrero. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. pp: 79.
- Morton, J. (1987). Roselle. *In*: Fruits of warm climates. Web publication Purdue University, Miami, FL, pp. 281–286. Consultado el 02/05/2019 en <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/roselle.html>.
- Munévar M. F. (2004). Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. Sanidad Vegetal. Palmas. 25 (2). 171-178.
- Noriega-Cantú D. H., Toledo-Aguilar R., Vázquez-Ortiz R., Alejo-Jaime A., Garrido-Ramírez E. R., Pereyda-Hernández J., González-Mateos R. (2019). Relación

entre las fluctuaciones de esporas, condiciones ambientales y severidad del manchado y tizón de cáliz de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Revista Mexicana de Fitopatología. México. 38(1): 24.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (1992). Los fertilizantes y su uso Manual, IFA, París, 632 p. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2004). Consultado el 25/09/2018, en: <http://www.fao.org/agriculture/estadistics>.

Ortega-Acosta S. A., J. Hernández-Morales, D. L. Ochoa-Martínez and V. Ayala-Escobar. (2015). First report of *Corynespora cassiicola* causing leaf and calyx spot on roselle in Mexico. Plant Disease 99(7): 1041.

Ortega-Acosta. S. Á. 2016. Manchas foliares y de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.): Etiología, epidemiología y manejo. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduado, área de Fitosanidad. Montecillo, Texcoco, Estado de México, pp 2-19.

Pereyda-Hernández, J., Noriega-Cantú D. H., González-Mateos R., Domínguez-Márquez (2015). Creciente daño en cáliz de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Guerrero, México. Revista Mexicana Fitopatología, 1 (2): 110-111.

Pérez-González A., Monroy-Reyes B., Pimienta-Barrios E., Posos-Ponce P., Aceves-Nuñez V. A., Toral-Flores J. R., y Carreón-Amaya J. (2012). Niveles

de fertilización orgánica mediante humus de lombriz en el cultivo de la jamaica *Hibiscus sabdariffa* L. *Scientia-CUCBA* 14(2): 47–54.

Ramos-Gutiérrez F. A., Ramírez-Cortés B., Sánchez-Machuca M. L., Caro-Velarde F. J., García-paredes J. D. (2020). Yield and quality of three varieties of jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) with continuous harvest and unique harvest. *Revista Bio Ciencias* 7(e707): 14.

Rendón E., I. G. (2018). Fuentes de resistencia a *Corynespora cassiicola* (Berk y M.A. Curtis) C.T. Wei en accesiones de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Postgrado de Fitosanidad. Texcoco, Estado de México, México. 31 p.

Ruiz-González R. O. y Victorino-Ramírez L. (2014). Respuesta del policultivo Jamaica-Frijol-Maíz a tres tratamientos de fertilización en Villaflores. Universidad autónoma indígena de México. Chiapas. 10 (6): 45-53.

SAS Institute. (2012). SAS/STAT® 12.1 User's Guide SAS 9.3. Cary, N.C., USA. 320 p.

Sánchez J., V. (2000). Fertirrigación, Principios, Factores, Aplicaciones. Seminario de Fertirrigación. Apukai-Comex Perú Lima. p.26. Consultado el 09/06/2019 en:

<http://www.fertilizando.com/articulos/FertirrigacionPrincipiosFactoresAplicaciones.pdf>

Sánchez-García P., C. Molinos da Silva, G. Alcántar-González y M. Sandoval-Villa. (2016). Diagnóstico nutrimental en plantas. *In: Nutrición de cultivos*. Alcántar-

- González, G., L. I. Trejo-Téllez y F. Gómez-Merino (Eds.). Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. 2016. Colegio de Postgraduados (Ed.). pp: 185-238.
- Sánchez-Prado, J., R. Bulgarín-Montoya, G. Alejo-Santiago, C. R. Juárez-Rosete, C. A. Aburto-González y F. Caro-Velarde. (2019). Incremento del rendimiento y extracción nutrimental en jamaica mediante soluciones nutritivas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(16): 1-10.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado el 02/02/2019 en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Steiner, A. A. (1984). The Universal Nutrient Solution, Proceedings of IWOSC 1984 6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands, pp: 633-650.
- Sumaya M., Ma. T., R. E. Medina C., M. L. Machuca S., E. Jiménez R., R. Balois M., y M. L. Sánchez H. 2014. Potencial de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en la elaboración de alimentos funcionales con actividad antioxidante. *Revista Mexicana de Agronegocios* 35: 1082-1088.
- Toral-Flores, J. R., Pérez González A., Carreón Amaya J., Martínez Ramírez J. L., Rodríguez Ruvalcaba R. y Casas Salas J. F. (2005). Niveles de fertilización orgánica mediante vermicomposta en el cultivo de la jamaica. *Avances en la investigación Científica en el CUCBA*. Jalisco, México. pp: 193-197.

- Trujillo-Tapia M. N. y Ramírez-Fuentes E. (2015). Fitopatógenos asociados al manchado del cáliz de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Revista Iberoamericana de Ciencias. Oaxaca, México. 2 (4): 57-62.
- Van Niekerk, J.M., Groenewald, J.Z., Verkley, G.J.M., Fourle, P.H., Wingfield, M.J., Crous, P.W (2004). Systematic reappraisal of *Coniella* and *Pilidiella*, with specific reference to species occurring on *Eucalyptus* and *Vitis* in South Africa. The British Mycological Society Research 108 (3): 283- 303.
- Velazco V., V. A. (2000). Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. Terra 17(3):193-200.
- Waterer, D. (1997). Petiole sap N-NO₃⁻ testing as a method for monitoring nitrogen nutrition of potato crops. Canadian Journal of Plant Science 77(2): 273-278.
- Yamada, T. (1995). La nutrición mineral y la resistencia de las plantas a las enfermedades. Informaciones agronómicas N° 23, 7 p.

CAPÍTULO III. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE CÁLCICES EN GENOTIPOS DE JAMAICA CULTIVADOS EN INVERNADERO CON FERTIRRIEGO.

RESUMEN

Un factor importante en la producción de cultivos en invernadero y fertirriego es la concentración de la solución nutritiva (SN) para mejorar el rendimiento y las características fisicoquímicas de la producción. El objetivo fue estudiar las características fisicoquímicas en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en respuesta al genotipo y la concentración de la SN. El cultivo se estableció en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la UAGro, durante julio (2019)-enero (2020). Se usó un arreglo factorial 2x3 en completamente al azar, cuyos factores fueron: el genotipo con dos niveles (Ayutla y Tecoaapa) y la concentración de la SN a partir del potencial osmótico con tres niveles (-0.036, -0.072 y -0.108 MPa); resultando seis combinaciones con siete repeticiones; la unidad experimental consistió en una maseta llena con tezontle rojo, con una planta. En 20 cálices seleccionados aleatoriamente en cada combinación se registraron la longitud, el diámetro, número de cálices y el peso seco de los cálices con y sin fruto y en jugo de cálices frescos se cuantificaron los sólidos solubles totales (SST) y los nutrimentos (NO_3^- , Ca^{2+} y K^+). El genotipo Ayutla presentó mayor longitud (56.49 mm), diámetro (33.39 mm) y peso seco de cáliz sin fruto (0.87 g). Sin embargo, Tecoaapa tuvo mayor concentración de SST (8.57 °Brix) y nutrimentos (2516.67 13.83 y 190.83 mg L⁻¹). El potencial osmótico de la SN no afectó las características físicas de los cálices, mientras que con -0.072 y -0.108

MPa se tuvieron mayores valores de SST (7.86 y 7.73 °Brix) y concentración de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ . El genotipo Ayutla con SN de -0.072 MPa incrementó la longitud de cálices (58.69 mm), mientras que Tecoaapa con la misma concentración aumentó los SST (9.36 °Brix). Se concluyó que, por su morfología, el genotipo Ayutla produce cálices de mayor tamaño y peso. El aumento en la concentración de la SN incrementó los SST y nutrimentos en el jugo de los cálices, dichas características fisicoquímicas mejoraron en cada genotipo cuando el potencial osmótico de la SN fue de -0.072MPa, por lo que al regar las plantas de jamaica con la cantidad del potencial osmótico antes mencionado se obtiene mejores calices.

ABSTRACT

An important factor in greenhouse and fertigation crop production is the concentration of the nutrient solution (NS) to improve yield and physicochemical characteristics of production. The objective was to study the physicochemical characteristics in calyxes of hibiscus (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to genotype and SN concentration. The crop was established in a greenhouse at the Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, UAGro, during July (2019)-January (2020). A 2x3 factorial arrangement was used in completely randomized, whose factors were: genotype with two levels (Ayutla and Tecoaapa) and SN concentration from the osmotic potential with three levels (-0.036, -0.072 and -0.108 MPa); resulting in six combinations with seven replications; the experimental unit consisted of a pot filled with red porous gravel known as tezontle, with one plant. In 20 randomly selected calyxes in each combination, the length, diameter, number of calyxes and dry weight of calyxes with and without fruit were recorded, and in fresh

calyx juice, total soluble solids (TSS) and nutrients (NO_3^- , Ca^{2+} and K^+) were quantified. The Ayutla genotype presented greater length (56.49 mm), diameter (33.39 mm) and calyx dry weight without fruit (0.87 g). However, Tecoanapa had higher TSS (8.57 °Brix) and nutrient concentrations (2516.67 13.83 and 190.83 mg L^{-1}). The osmotic potential of the SN did not affect the physical characteristics of the calyxes, while -0.072 and -0.108 MPa had higher TSS values (7.86 and 7.73 °Brix) and NO_3^- , Ca^{2+} and K^+ concentration. The Ayutla genotype with SN of -0.072 MPa increased calyx length (58.69 mm), while Tecoanapa with the same concentration increased TSS (9.36 °Brix). It was concluded that, due to its morphology, the Ayutla genotype produces larger and heavier calyxes. The increase in SN concentration increased TSS and nutrients in the juice of the calyxes; these physicochemical characteristics improved in each genotype when the osmotic potential of the SN was -0.072 MPa, so that irrigating the hibiscus plants with the amount of osmotic potential mentioned above resulted in better calyxes.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la jamaica o roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), pertenece a la familia de las Malváceas, cuyo centro de origen es África y posteriormente se diseminó a todo el mundo (Morton, 1987). Actualmente, en México los principales estados productores de este cultivo son: Guerrero, Puebla, Oaxaca, Nayarit, Michoacán, Tabasco y Morelos, con una superficie cultivada de 18,543.54 ha, de las cuales, Guerrero ocupa el primer lugar con 14,079.02 ha, seguido de Michoacán con 1,714.00 ha y Oaxaca con 1,605.60 ha; en el estado de Guerrero la jamaica se cultiva en 25 municipios, dentro de estos, los principales municipios productores son: Ayutla de los Libres con 4387.50 ha, Tecoaapa con 4082 ha, Acapulco de Juárez con 1,648 ha y San Luis Acatlán con 1259.50 ha (SIAP, 2018).

En México, el cultivo de la jamaica es de gran importancia por los diversos usos potenciales que tiene (Alejo, 2016), debido a que de esta planta se aprovechan los cálices deshidratados para la preparación de bebidas y la elaboración de productos procesados para la obtención de dulces, ates, jarabes, salsas, mermeladas o saborizantes naturales (Contreras *et al.*, 2009). Sin embargo, es un cultivo al cual los productores han dejado de lado paulatinamente, por la baja rentabilidad económica y problemas asociados a la siembra en suelos con poca fertilidad y de temporal (Hidalgo-Villatoro *et al.*, 2009).

La cosecha de los cálices debe de realizarse al final del ciclo vegetativo de la planta y ésta por lo general se lleva a cabo en forma manual para cosechar los frutos y realizar la separación del cáliz y la cápsula con la ayuda de instrumentos rústicos (Ramos- Gutiérrez *et al.*, 2020). Para los productores el mayor interés que

tienen es el rendimiento debido que contribuye a su ingreso económico, por lo que el peso seco de los cálices es de gran importancia y éste es influenciado por peso fresco y la longitud de los cálices individuales, ya que a mayor peso fresco y la longitud del cáliz se obtiene mayor peso seco de los mismos y al presentar mayor diámetro de cáliz se tiene mayor número de semillas (Hidalgo-Villatoro *et al.*, 2009).

En este contexto, Ramírez-Cortés *et al.* (2011), recomiendan realizar la cosecha de cálices de los 20 a 24 días después de la floración, momento cuando alcanzan su mayor longitud y diámetro; posteriormente se mantienen firmes o llegan a disminuir su tamaño a causa de diversos procesos fisiológicos que afectan al cáliz, conduciéndolos a la senescencia y al deterioro de los de los mismos por el efecto de factores bióticos y abióticos, esto provoca que la calidad de los cálices disminuya y genere pérdidas; razón por lo que es recomendable cosecharlos después de su maduración. En este sentido, algunos estudios señalan que el tiempo adecuado para la cosecha de los cálices debe de ser a los 35 días después de la floración, ya que con esto se evita la pérdida de compuestos fenólicos y antioxidantes, además de no verse afectado el rendimiento (Christian y Jackson, 2010). Por su parte, Ramos–Gutiérrez *et al.* (2020) mencionan que se obtiene mayor concentración de sólidos solubles totales cuando las cosechas se realizan de manera continua que cuando se realiza una cosecha única, por ello es preferible cosechar los cálices en un periodo óptimo para preservar la calidad de estos en fresco. Sin embargo, para obtener mayor porcentaje de materia seca se recomienda que la cosecha sea dentro de los primeros 4 días después de su floración, ya que la materia seca empieza a descender conforme progresa la maduración del cáliz y esto se debe a la demanda

que requieren los demás órganos de la planta hacia los nuevos frutos, como sucede en hortalizas que dan racimos, donde las flores apicales se someten a una doble competencia por los nutrimentos durante la inflorescencia, lo que ocasiona una diferencia de crecimiento de los frutos (Ramírez-Cortés *et al.*, 2011).

Por otro lado, Sánchez-prado *et al.* (2019) determinaron que el mayor incremento de materia seca en el fruto y cáliz se obtiene a los 65 días después del trasplante, con la solución nutritiva de Steiner a una concentración del 100%; las plantas llegan a tolerar condiciones de hasta 2.5 ± 0.2 dS m⁻¹ sin afectar el rendimiento del cáliz seco, estos extraen la mayor cantidad de N, P, K y Mg, para el caso de Ca hay mayor extracción en las hojas, seguido de los cálices; aunque en general, los macronutrimentos más requeridos por el cultivo de jamaica son el N y K y en menor cantidad el P y Mg. Al respecto, existen reportes que la aplicación foliar de Cu y Zn en dosis elevadas en el cultivo de jamaica en los genotipos Criolla Guerrero, Criolla Michoacán y Reina Roja no modifican el pH y los sólidos solubles totales, sin embargo el genotipo Criolla Guerrero presenta un aumento en la acidez titulable (Apáez-Barrios *et al.*, 2018).

Por otra parte, Duarte-Valenzuela *et al.* (2016), mencionan que es de gran importancia conocer las características nutricionales y las propiedades nutraceuticas, ya que estas ayudan al productor a seleccionar los genotipos con mejor contenido de compuestos bioactivos y composición química, para obtener un incremento en la superficie del cultivo y ser más competitivo dentro del mercado de consumo de alimentos funcionales.

No obstante, el cultivo de la jamaica como la mayoría de los cultivos presentan un gran problema en su rendimiento, ya que este se ve limitado por las condiciones nutrimentales, las cuales logran ser controladas por el hombre (Sánchez-García *et al.*, 2016). Además, el estrés nutrimental de los cultivos en los sistemas de producción en campo y en condiciones protegidas se pueden evitar adicionando los elementos nutrimentales requeridos por el cultivo a través de fuentes orgánicas e inorgánicas que aporten al cultivo los elementos que necesita de una manera disponible para la planta (Edwards *et al.*, 2010). En este sentido, la concentración de las soluciones nutritivas a través del riego y biofertilizantes mejoran el crecimiento y desarrollo de las plantas y aumenta el rendimiento en cálices de jamaica, siendo la fertilización un factor importante en los sistemas hidropónicos que mejoran la calidad y el rendimiento de los cultivos (Abo-Baker y Gehan, 2011; Sánchez-Prado *et al.*, 2019). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue estudiar el perfil fisicoquímico de dos genotipos de jamaica cultivados en invernadero, con solución nutritiva a diferentes concentraciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en un invernadero tipo cenital cubierto con plástico de color blanco lechoso de 700 μm , con 30% de sombra y 70% de transmitancia; con una temperatura media de 30.5 °C y humedad relativa de 65.45% durante el crecimiento del cultivo, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, unidad Tuxpan, en las coordenadas geográficas: 18° 20' 51" latitud Norte y 99° 30' 32" longitud Oeste; a 758 m de altitud (INEGI, 2015). El invernadero se desinfectó con 2 kg ha⁻¹ de Carboxamida, tres días previos al trasplante.

Material vegetal

Se usaron semillas de dos genotipos de jamaica proporcionadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP), Campo experimental Iguala, Guerrero, México. El genotipo Ayutla, tipo Sudán (TS) y el segundo genotipo, tipo Tecoaapa (variedad Tecoaapa, con número de registro: JAM-004-260210), procedentes de los municipios Ayutla de los Libres y Tecoaapa Guerrero, México, respectivamente. Las semillas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% durante cinco minutos y posteriormente se secaron con papel absorbente estéril. La siembra se realizó en charolas de polipropileno de 200 cavidades llenadas con turba; en cada cavidad se colocaron de dos a tres semillas a una profundidad que osciló de 0.5 a 1 cm y fueron cubiertas con el mismo sustrato. Las charolas se alojaron dentro del invernadero antes descrito. A continuación, se realizaron riegos ligeros para favorecer la germinación, la emergencia y el crecimiento de las plántulas.

Trasplante

El trasplante se realizó a los 15 días después de la siembra (dds), cuando las plántulas presentaron una altura aproximada de 20 cm y de 4 a 5 hojas verdaderas, se colocó un cepellón con dos a tres plántulas en bolsas de polietileno negro de 12 L, llenadas con tezontle con tamaño de partícula menor de 10 mm, previamente desinfectado con hipoclorito de sodio al 1%. A los 20 días después del trasplante (ddt), se realizó un aclareo, que consistió en dejar una planta por maceta.

Diseño experimental

Se utilizó un arreglo factorial 2 x 3 en completamente al azar, con dos factores de estudio; el genotipo con dos niveles: Ayutla y Tecoaapa, y el segundo factor fue la presión osmótica de la solución nutritiva con tres niveles (Cuadro 3.1). La combinación de los niveles de cada factor estudiado resultó en 6 tratamientos con 7 repeticiones, considerando como unidad experimental a una maceta con una planta, lo que dio un total de 42 unidades experimentales.

Cuadro 3.1. Características de la solución nutritiva a diferentes concentraciones para la fertirrigación del cultivo de jamaica en invernadero.

Presión osmótica	Conductividad eléctrica	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
MPa	dS m ⁻¹	meq L ⁻¹					
-0.036	1.0	6.0	0.5	3.5	3.5	4.5	2.0
-0.072	2.0	12.0	1.0	7.0	7.0	9.0	4.0
-0.108	3.0	18.0	1.5	10.5	10.5	13.5	6.0

Riegos y fertilización

Con un sistema de riego por goteo, con goteros de 8 L h⁻¹ y distribuidores colocados en la base de las plantas, se realizaron de tres a cinco riegos diarios a partir del trasplante hasta la etapa de producción de cálices, los cuales variaron de acuerdo con la etapa fenológica y requerimientos del cultivo. La solución nutritiva (SN) usada fue la Solución Nutritiva Universal de Steiner (1984) con tres concentraciones descritas en el Cuadro 3.1, suministradas diariamente, en cada caso el pH se ajustó a 5.5

Cosecha

La cosecha de cálices se realizó a los 165 dds manualmente con la ayuda de una tijera de podar, cuando los pétalos de las flores se desprendieron y cuando el fruto se maduró y alcanzó su máximo tamaño, como lo indican Ramírez-Cortés *et al.* (2011) y Christian y Jackson (2010). Posteriormente, los cálices cosechados se colocaron en bolsas de papel con perforaciones y se trasladaron al laboratorio de usos múltiples de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la Universidad Autónoma de Guerrero.

Características físicas

En 20 cálices frescos seleccionados aleatoriamente en cada tratamiento, se registró la longitud (mm) y el diámetro (mm) de los cálices con un vernier digital (Truper®), la longitud se midió desde la base del epicáliz hasta la punta de los sépalos y el diámetro se midió en la parte media ecuatorial del cáliz, como lo sugieren Ramírez-Cortés *et al.* (2011). Enseguida, se cuantificó el número de cálices por planta, peso

seco individual de cáliz con fruto (bellota y semillas) y peso seco individual de cáliz sin fruto, para ello, los cálices fueron almacenados en bolsas de papel y alojados en un horno de secado con aire forzado marca Riossa digital modelo HCF-62D, a 75 °C durante 72 h, hasta que las muestras se mantuvieron a peso constante. En seguida, con una báscula analítica marca ISOLAB (modelo: LS-EJ-2200AS) se registró el peso seco individual de cáliz con fruto y el peso seco individual de cáliz sin fruto, en gramos.

Características químicas

En 20 cálices seleccionados aleatoriamente en cada tratamiento, se determinaron los sólidos solubles totales (°Brix) con un espectrofotómetro portátil ATAGO®, previamente calibrado. Posteriormente se le colocaron de una a dos gotas de jugo del cáliz extraído manualmente con una prensa extractora de jugo de ajo.

La medición de los iones específicos de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} (mg L^{-1}) se realizó en los 20 cálices antes mencionados, con medidores de bolsillo (Ionómetros) tipo Cardy (Horiba®) LAQUAtwin sensitivo, previamente calibrados con solución estándar. Con un extractor de jugo de ajo se extrajo jugo de los cálices y se colocaron de dos a tres gotas del mismo en cada equipo para la medición correspondiente.

Análisis estadístico

Los datos fueron ordenados en una hoja de cálculo de Excel (2010) y con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.3 se realizó un análisis de varianza y las variables que resultaron significativas fueron comparadas con una prueba de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron diferencias significativas en las características físicas de los cálices de jamaica evaluados (Cuadro 3.2), por el efecto del genotipo. Mientras que el potencial osmótico de la solución nutritiva (PO) no modificó las características físicas de los mismos. Sin embargo, al combinar los niveles del genotipo y concentración de la solución, se observaron diferencias en las características físicas estudiadas. También se tuvieron diferencias estadísticas en las características químicas de los cálices de jamaica evaluados (Cuadro 3.3). Por un lado, el genotipo influyó en la concentración de SST, NO_3^- y Ca^{2+} , por el otro, el potencial osmótico de la solución nutritiva afectó los SST, el Ca^{2+} y K^+ , mientras que la combinación de niveles de ambos factores modificó en general las características químicas estudiadas.

Cuadro 3.2. Valores de *p-value* para las características físicas de cálices de genotipos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), cultivados con diferente presión osmótica de solución nutritiva, en invernadero.

Factores de estudio	GL	LC	DC	NC	PSICT	PSIC
Genotipo (G)	1	<.0001**	<.0001**	0.0004*	<.0001**	<.0001**
Potencial osmótico de la solución nutritiva (MPa)	2	0.3246ns	0.1243ns	0.1784ns	0.9901ns	0.0808ns
G*PO	5	0.0001**	<.0001**	0.0022*	<.0001**	<.0001**
Coefficiente de variación		18.52	13.44	7.80	25.06	87.90

Valores de *p-value* > 0.05: no significativo (ns); *p-value* ≤ 0.05: significativo (*); *p-value* ≤ 0.0001: altamente significativo (**); GL: grados de libertad; LC: longitud del cáliz; DC: Diámetro del cáliz; NC: Número de cálices; PSICT: peso seco de cáliz individual total; PSIC: peso individual de cáliz seco; PO: Potencial osmótico de la solución nutritiva.

Cuadro 3.3. Valores de *p-value* para las características químicas de cálices de genotipos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), cultivados con diferente potencial osmótico de solución nutritiva, en invernadero.

Factores de estudio	GL	SST	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	K ⁺
Genotipo (G)	1	<.0001**	0.0002*	<.0001**	0.1810ns
Potencial osmótico de la solución nutritiva (MPa)	2	0.0061*	0.1294ns	0.0003*	<.0001**
G*CSN	5	<.0001**	0.0014*	<.0001**	0.0003*
Coefficiente de variación		13.36	10.43	21.65	13.12

Valores de *p-value* > 0.05: no significativo (ns); valores de *p-value* ≤ 0.05: significativo (*); valores de *p-value* ≤ 0.0001: altamente significativo (**); GL: grados de libertad; SST: sólidos solubles totales; Ca²⁺: concentración de calcio; NO₃⁻: concentración de nitrato; K⁺: concentración de potasio.

Longitud y ancho de cáliz

Se tuvo que el genotipo Ayutla presentó mayor longitud y diámetro de cáliz, superando al genotipo Tecoaapa en 19.44% y 27.88%, respectivamente (Cuadro 3.3). Este mismo comportamiento se observó cuando se combinó el genotipo Ayutla con las concentraciones de SN (Cuadro 3.4), con resultados similares, pero estos superaron la longitud de cáliz del genotipo Tecoaapa cuando este se regó con SN a potencial osmótico de -0.072 y -0.108 MPa, respectivamente. En cambio, el efecto de la combinación del genotipo y la concentración de la SN sobre el diámetro de cáliz fue más evidente al combinar al genotipo Ayutla con las tres concentraciones de SN, superando en promedio de 27.8% a los diámetros de cáliz alcanzados por Tecoaapa en combinación con los tres niveles de SN (Cuadro 3.5). Al respecto,

Sánchez-Prado *et al.* (2019) señalan que la concentración de la solución nutritiva modifican el tamaño de los cálices de jamaica. A pesar de lo anterior, los resultados de largo y ancho del cáliz obtenidos en este estudio superaron a los valores reportados por Ramírez-Cortés *et al.* (2011), quienes encontraron cálices con 44.15 mm de longitud y 23.59 mm de diámetro en la variedad Reyna. Los mismos autores también reportaron cálices con menor longitud (32.96 mm) y diámetro (19.76 mm) en un genotipo criollo. Mientras que Ramos-Gutiérrez *et al.* (2020) obtuvieron cálices con longitud de 46.8 mm al evaluar la variación en el tamaño de cálices por efecto del método de cosecha única o continua, dichos valores de longitud son similares a los obtenidos en la presente investigación con el genotipo Tecoaapa (47.9 mm). Mientras que Sánchez-Prado *et al.* (2019) reportaron cálices con longitud de 47.5 mm en la variedad UAN6 regada con SN a diferentes potenciales osmóticos. Por su parte, Hidalgo-Villatoro *et al.* (2009) obtuvo cálices con longitud de 56.65 mm y diámetro de 41.76 mm sin fertilización en 13 genotipos de jamaica, con longitudes similares al genotipo Ayutla que, presentó cálices más largos (56.49 mm), esto indica que la concentración de la solución nutritiva no modifica el tamaño del cáliz, sino que es una característica morfológica del genotipo.

Peso seco de cáliz individual con fruto y sin fruto

El peso seco de cáliz individual con fruto (pericarpio y semillas) presentó diferencias significativas por efecto del genotipo (Cuadros 2 y 4), en donde el genotipo Ayutla produjo cálices con frutos de mayor tamaño y peso (2.19 g) que el genotipo Tecoaapa (1.28 g). Lo anterior también influyó en el peso seco del cáliz sin fruto, donde Ayutla superó en 52 % el peso de los cálices cosechados con respecto a

Tecoanapa. Contrario a lo que se esperaba, el potencial osmótico de la SN no modificó el peso seco de los cálices con y sin fruto (Cuadro 3.2), sin embargo, con la combinación del genotipo y el potencial osmótico de la SN se reafirmó que el genotipo Ayutla regado con cualquiera de los tres niveles de potencial osmótico de la SN, superaron en promedio en 41.5% y 52.8% los pesos secos de cáliz con fruto y sin fruto que, los alcanzados por Tecoaanapa con cualquiera de los tres niveles del potencial osmótico de la SN (Cuadro 3.5), dicho comportamiento contrasta con lo reportado por otros investigadores, quienes señalaron un efecto positivo de la fertilización tanto orgánica e inorgánica en diferentes concentraciones sobre el cultivo de jamaica, sea esta de manera foliar o al sustrato, esto produce un aumento en el número de ramas, frutos, hojas, mayor peso de cálices fresco y secos, lo que se traduce en mayor rendimiento (Toral-Flores *et al.*, 2005; Mehdi-Dahmardeh, 2012). Mientras que Hidalgo- Villatoro *et al.* (2009) obtuvieron cálices secos con fruto de 1.35 g, en 13 genotipos de jamaica sin fertilización, valor que es similar al peso de cáliz seco del genotipo Tecoaanapa (1.28 g). Por el contrario, Ayutla produjo cálices de mayor peso (2.19 g), lo que quiere decir que el genotipo es un factor importante que afecta el rendimiento del cultivo de jamaica, al modificar el peso fresco y seco del cáliz (Ramos-Gutiérrez, 2020), comportamiento que también fue observado por Ovando-Cruz (2018), quienes obtuvieron diferencias en el rendimiento en nueve genotipos de jamaica.

Rendimiento en número de cálices por planta

El número de cálices por planta presentó diferencias estadísticas por efecto del genotipo (Cuadro 3.4) y por la interacción de genotipo y potencial osmótico de la

solución nutritiva (Cuadro 3.6). En cambio, no se tuvieron diferencias significativas por efecto de potencial osmótico de la solución nutritiva (Cuadro 3.2), lo que quiere decir que los riegos con SN a cualquier concentración produjeron el mismo número de cálices por planta. Sin embargo, el genotipo influyó sobre el rendimiento, donde Tecoaapa produjo la mayor cantidad de cálices (86.48 cálices planta⁻¹) con respecto a Ayutla (54.67 cálices planta⁻¹), estos valores son mayores a los mencionados por Apáez-Barrios *et al.* (2018) quienes obtuvieron 36.4 cálices planta⁻¹ en un genotipo Criollo de Michoacán con aplicaciones de zinc. Por otro lado, cuando el genotipo Tecoaapa se regó con SN a potencial osmótico de -0.036 MPa, presentó el mayor número de cálices (109.57 cálices planta⁻¹), valores que son inferiores al valor promedio de 215,7 cálices por planta reportados por González y Chamorro (2017). Por otro lado, Toral-Flores *et al.*, (2005) obtuvieron 46 cálices por planta con fertilización orgánica, valores que están por debajo de los resultados obtenidos en el presente estudio.

Sólidos solubles totales

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en los sólidos solubles totales (SST) en el jugo de los cálices por efecto de genotipo y por efecto de la solución nutritiva (Cuadro 3.3), de tal manera que el genotipo Tecoaapa presentó mayor concentración de SST (8.57 °Brix) que el genotipo Ayutla (6.33 °Brix) (Figura 3.1). En contraste, el incremento en la concentración de la SN a potenciales osmóticos de -0.072 y -0.108 MPa favorecieron el dulzor de los cálices, con 7.86 y 7.73 °Brix, (figura 3.1) lo que se puede atribuir a una mayor concentración de nutrientes en la SN como el K, elemento que incrementa los SST

debido a que es un elemento que interviene en el transporte de la sacarosa dentro de la planta hacia el fruto (Lester *et al.*, 2005). Además, al combinar el genotipo y el potencial osmótico de la solución nutritiva (MPa) se observó que la mayor concentración de SST se tuvo cuando el genotipo Tecoanapa fue regado con SN a potencial osmótico de -0.072 MPa. Esto se debe a que el genotipo y manejo de la fertilización modifican la concentración de SST, como lo demostró Apáez-Barrios *et al.* (2018), al evaluar la fertilización foliar con micronutrientes a diferentes concentraciones en dos genotipos, criollo (Guerrero) y comercial (Reina roja). Por su parte, Abdelkader *et al.* (2016) mencionaron valores de 7.64 a 7.83 °Brix, que se incrementaron por el efecto de la fertilización, dichos promedios son similares a los registrados en este trabajo.

Concentración de nitrato, calcio y potasio

Se tuvieron diferencias significativas en la concentración de NO_3^- , Ca^{2+} y K^+ en el jugo de los cálices por efecto de genotipo y potencial osmótico de la solución nutritiva (Cuadro 3.3 y 3.6). Por un lado, la mayor concentración de NO_3^- se encontró en el genotipo Tecoanapa ($2516.67 \text{ mg L}^{-1}$) y, este superó en 11.4% la concentración de NO_3^- en el jugo de cálices del genotipo Ayutla ($2229.17 \text{ mg L}^{-1}$) (Figura 3.2). Por el otro, el potencial osmótico de la solución nutritiva no influyó en la concentración de NO_3^- en los cálices. Sin embargo, la combinación de las concentraciones de la SN con los genotipos disminuyó el contenido de NO_3^- en Ayutla, cuando este se regó con SN en el potencial osmótico de -0.036 MPa. En contraste, a medida que se incrementó la concentración de la SN en ambos genotipos, aumentó la concentración de NO_3^- en el jugo de los cálices (Cuadro 3.5).

Esto es porque los niveles de nitrógeno se incrementan en los órganos reproductivos por el aumento en el potencial osmótico de la solución nutritiva (MPa) y, que a su vez aumenta el contenido de N total en los cálices de jamaica (Sánchez-Prado *et al.*, 2018). En este sentido, el N en forma de nitrato se incorpora a compuestos orgánicos que forman proteínas y estructuras reproductivas en las etapas de formación de flores y frutos (Marschner, 2012). Al respecto, Abdelkader *et al.* (2016), señalan que una mayor concentración de N en los cálices provoca una mejora en la calidad de los mismos.

Para el caso del Ca^{2+} en el jugo de cálices, la mayor concentración de este elemento se presentó en el genotipo Tecoanapa (13.83 mg L^{-1}) y, este superó a Ayutla (10.00 mg L^{-1}) en 8.0% (Figura 3.3). Por otro lado, se encontró mayor cantidad de Ca^{2+} con la SN a potencial osmótico de -0.036 MPa (Figura 3.3). Esto se reafirmó en la interacción del genotipo y la concentración de la SN, donde Tecoanapa presentó más Ca^{2+} (13.13 mg L^{-1}) en el jugo de los cálices cuando se regó con la concentración de la SN antes mencionada, mientras que el jugo de los cálices producidos por Ayutla, tuvieron valores inferiores de Ca^{2+} ($12.25, 9.63$ y 8.13 mg L^{-1}), aun regándolos con cualquiera de las concentraciones de la SN. Sin embargo, no se encontraron reportes de este elemento en jugo de cálices de jamaica, aunque, existen reportes que el contenido de calcio en tejido seco de cáliz ronda en 17.45 mg g^{-1} (Atta *et al.*, 2011).

La misma tendencia presento el K^+ , al no verse modificada su concentración en jugo de cáliz por efecto de genotipo, sin embargo, el suministro de la SN a mayores potenciales osmóticos (-0.072 y -0.108 MPa) mejoró la acumulación de K^+ (202.50

y 193.13 mg L⁻¹) en el jugo de cáliz (Figura 3.4). Ambas concentraciones generaron el mismo efecto positivo en ambos genotipos, lo que favoreció un incremento en la concentración de K⁺. esto se atribuye a que el potasio se incrementa en la etapa de fructificación y cosecha de cálices, incluso, llega a superar la concentración del resto de macronutrientes, más aún con el incremento del potencial osmótico de la SN (Sánchez-Prado *et al.*, 2019). También es común que la concentración de K⁺ en la planta se incremente por el aumento de otro elemento como lo observaron Abdelkader *et al.* (2016).

Cuadro 3.4. Efecto de los factores principales sobre las características físicas de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en respuesta al genotipo y el potencial osmótico de la solución nutritiva, bajo condiciones de hidroponía e invernadero.

Genotipo	LC	DC	NC	PSICT	PSIC
	mm			g	
Ayutla	56.49±2.04 a	33.39±0.92 a	54.67±3.53b	2.19±0.10 a	0.87±0.08a
Tecoanapa	47.92±3.17 b	24.08±0.84 b	86.48±20.25a	1.28±0.03 b	0.41±0.02b
DHS	3.50	1.40	16.70	0.16	0.08

Valores de *p-value* > 0.05: no significativo (ns); *p-value* ≤ 0.05: significativo (*); *p-value* ≤ 0.0001: altamente significativo (**); GL: grados de libertad; LC: longitud del cáliz; DC: Diámetro del cáliz; NC: Número de cálices; PSICT: peso seco de cáliz individual total; PSIC: peso individual de cáliz seco; DHS: diferencia significativamente honesta.

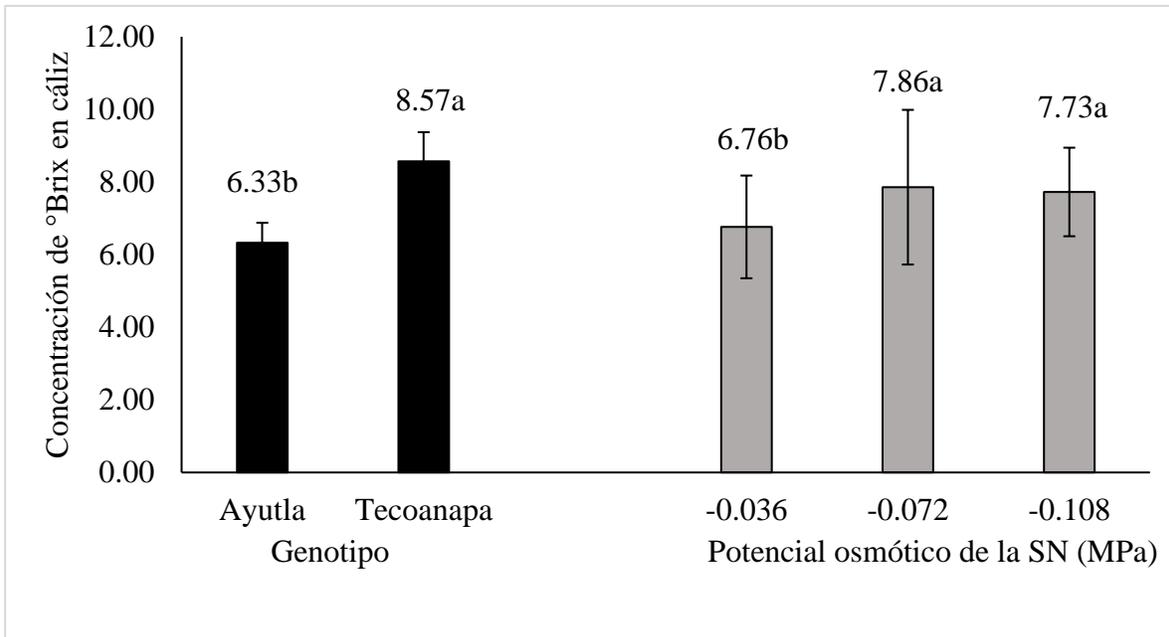


Figura 3.1. Efecto de los factores principales sobre la concentración de sólidos solubles totales en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS para genotipo= 0.58; DHS para el potencial osmótico de la SN= 0.85.

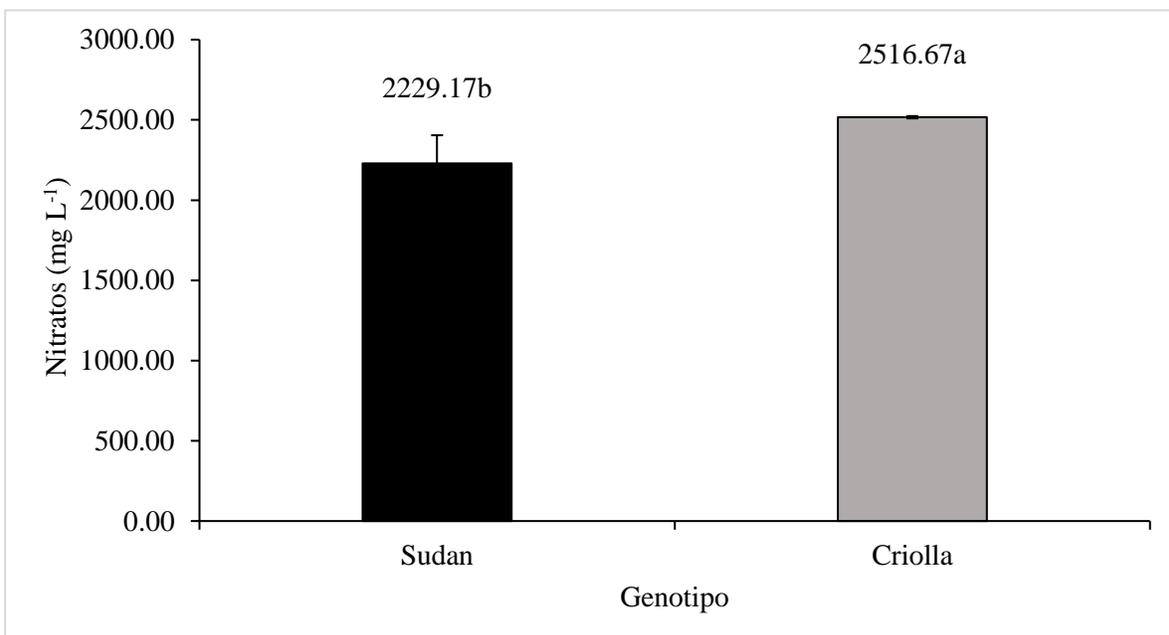


Figura 3.2. Efecto de los factores principales sobre la concentración de nitratos en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). DHS para genotipo= 2.85.

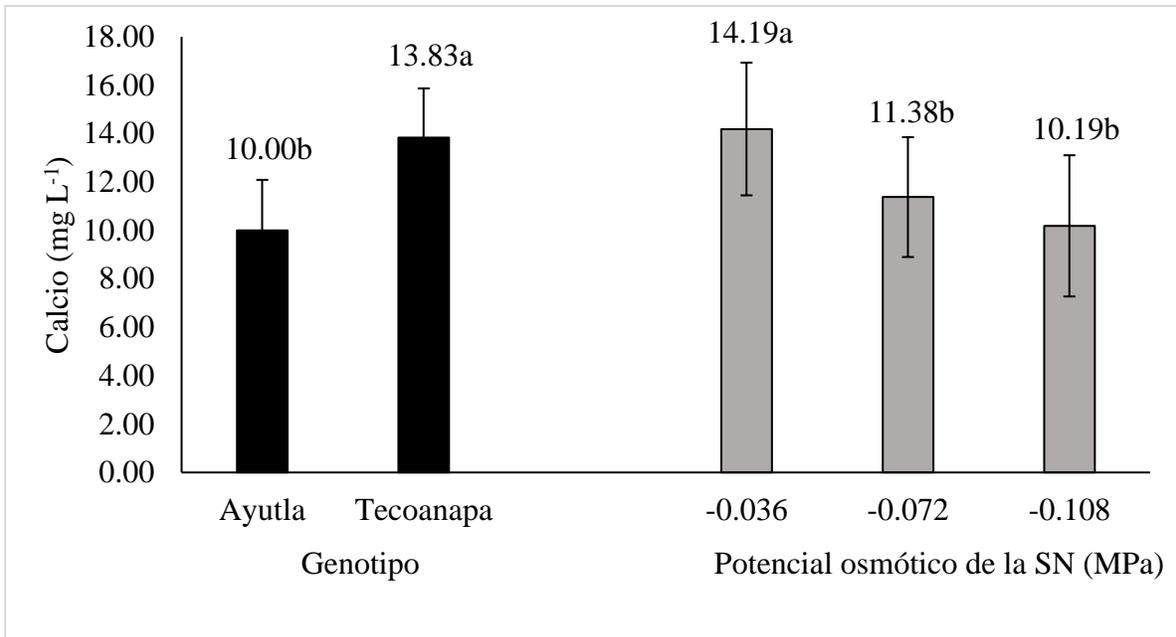


Figura 3.3. Efecto de los factores principales sobre la concentración de calcio en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). DHS para genotipo= 2.85; DHS para potencial osmótico de la SN= 2.22;

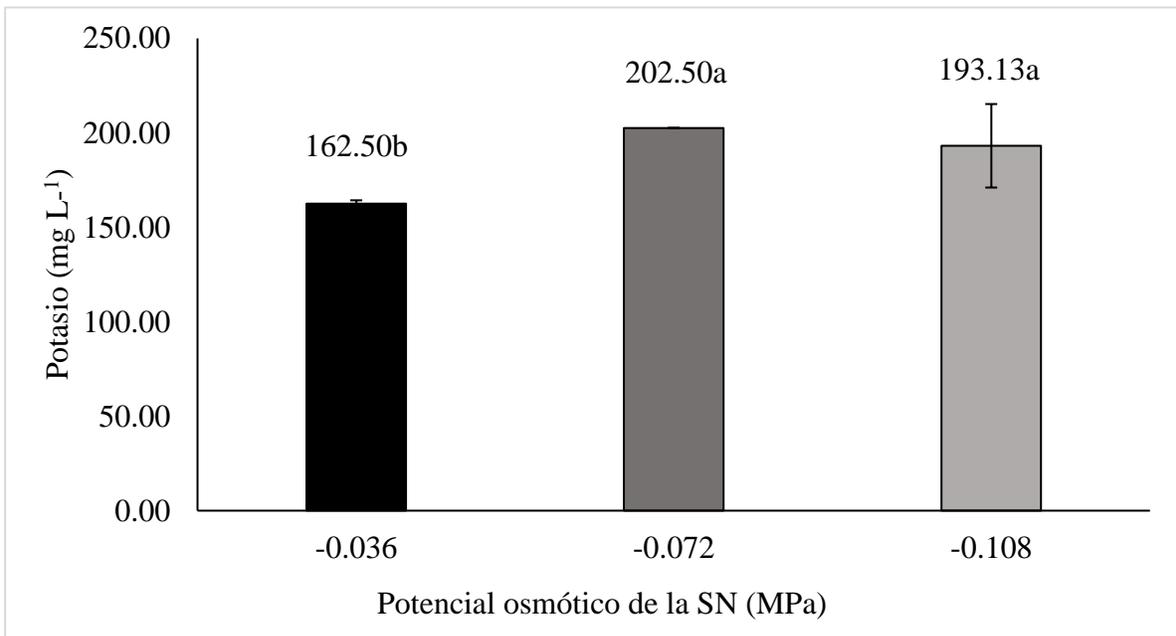


Figura 3.4. Efecto de los factores principales sobre la concentración de potasio en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivados en hidroponía e invernadero. Medias con la misma letra entre columnas dentro de cada factor son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). DHS para el potencial osmótico de la SN= 20.96.

Cuadro 3.5. Efecto combinado del genotipo y el potencial osmótico de la solución nutritiva sobre las características físicas de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivada en hidroponía e invernadero.

Interacción	LC	DC	NC	PSICT	PSIC
G x PO (MPa)	mm			g	
-0.036	56.12±15.45ab	32.78±3.42a	53.71±11.74b	2.28±0.52a	0.85±0.36a
Ayutla	58.69±11.60a	32.93±5.70a	58.57±21.24b	2.09±0.63a	0.96±0.31a
-0.108	54.67±10.57abc	34.44±2.48a	51.71±38.17b	2.21±0.54a	0.81±0.26a
-0.036	50.48±6.17abc	22.64±2.63b	109.57±35.69a	1.21±0.24b	0.39±0.09b
Tecoanapa	47.28±3.39bc	25.77±4.59b	71.71±10.24ab	1.37±0.35b	0.46±0.18b
-0.108	45.99±5.13c	23.82±3.32b	78.14±29.07ab	1.26±0.28b	0.37±0.14b
HSD	8.86	3.54	42.90	0.40	0.22

Valores de p -value > 0.05: no significativo (ns); p -value ≤ 0.05: significativo (*); p -value ≤ 0.0001: altamente significativo (**); GL: grados de libertad; LC: longitud del cáliz; DC: Diámetro del cáliz; NC: Número de cálices; PSICT: peso seco de cáliz individual total; PSIC: peso individual de cáliz seco; DHS: diferencia significativamente honesta.

Cuadro 3.6. Efecto combinado del genotipo y la concentración de la solución nutritiva sobre las características químicas de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivada en hidroponía e invernadero.

Interacción G x PO (MPa)	SST	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	K ⁺	
	°Brix	mg L ⁻¹			
	-0.036	5.76±1.10d	2550.0±160.36b	12.25±2.49b	163.75±29.73b
Ayutla	-0.072	6.35±0.68cd	2400.0±350.51ab	9.63±2.3bc	202.50±19.09a
	-0.108	6.86±0.71cd	2237.5±354.31ab	8.13±2.10c	177.50±33.27ab
	-0.036	7.76±0.54bc	2512.5±229.52a	16.13±3.23a	161.25±9.91b
Tecoanapa	-0.072	9.36±0.85a	2525.0±166.90a	13.13±2.64ab	202.50±26.05a
	-0.108	8.59±1.66ab	2512.5±112.60a	12.25±2.55b	208.75±21.00a
DHS		1.49	369.32	3.85	36.43

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales, de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$); G: genotipo; PO: presión osmótica; SST: sólidos solubles totales; Ca²⁺: concentración de calcio; NO₃⁻: concentración de nitrato; K⁺: concentración de potasio, DHS: diferencia significativamente honesta.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, el genotipo Ayutla presentó cálices individuales de mayor tamaño y peso seco. Mientras que el genotipo Tecoanapa presentó cálices de menor tamaño, pero en mayor cantidad por planta.

Las características físicas de los cálices del genotipo Ayutla mejoraron cuando las plantas se regaron con SN a potencial osmótico de -0.072 MPa. Mientras que la misma concentración mejoró las químicas en el genotipo Tecoanapa.

LITERATURA CITADA

- Abdelkader, M. A., Ibrahim, M. A. y Burras, L. C. (2016). Efecto de la aplicación de silicio en roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivada en un vertisol en Egipto. *Revista de Ciencia del Suelo y Gestión Ambiental*, 7 (4): 45-52.
- Abo-Baker A. B., y Gaber M. G., (2011). Effect of Bio-and Chemical Fertilizers on Growth, sepals Yield and Chemical composition of *Hibiscus sabdariffa* at New Reclaimed soil of south valley area. *Asian Journal of crop Science*. 3(1): 16-25.
- Alejo J., A. (2016). Cultivo de jamaica en dos sistemas de producción en Guerrero. Folleto para productores número 16. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Iguala de la independencia, Guerrero. 21 p.
- Apáez-Barrios, P., Pedraza-Santos, M. E., Rodríguez-Mendoza, M. N., Raya-Montano, Y. A., y Jaén-Contreras, D. (2018). Rendimiento y concentración de antocianinas en *Hibiscus sabdariffa* L. con aplicación foliar de micronutrientes. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 24 (2): 107-120.
- Atta S., Hassane H. S., Bakasso Y., Sarr B. Lona I. Saadou M. (2011). Yield character variability in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) *African Journal of Agricultural Research*. Niamey, Niger. 6(6): 1371-1377.

- Christian, K. R.; Jackson, J. C. (2010). Changes in total phenolic and monomeric anthocyanin composition and antioxidant activity of three varieties of sorrel (*Hibiscus sabdariffa* L.) during maturity. *Journal of Food Composition and Analysis* 22: 663-667.
- Contreras, G. J. A., Soto, R. J. M., y Huchin, C. A. (2009). Tecnología para el cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Quintana Roo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Chetumal, Quintana Roo, México. Folleto Técnico No. 3. 48 p.
- Duarte-Valenzuela Z. N., Zamora-Gasga V. M., Montalvo-González E. y Sayago Ayerdi S. G. (2016). Caracterización nutricional de 20 variedades mejoradas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivadas en México. *Revista Fitotecnia. Mexico*. 39 (3): 199-206.
- Edwards, C. A., A. M. Askar, M. Vasko-Bennett, and N. Arancon. (2010). The Use and Effects of Aqueous Extracts from Vermicomposts or Teas on Plant Growth and Yields, pp. 235–248. *In: Vermiculture Technology. Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. In: Edwards, C. A., N. Q. Arancon, and R. Sherman (eds). CRC Press. Boca Ratón, Florida, United States of America.*
- González Martínez A. J. y Chamorro Íncer M. A. (2017). Efecto de la densidad poblacional sobre el crecimiento y rendimiento de la flor de jamaica (*Hibiscus*

sabdariffa L.). Nicaragua. Revista de la Facultad de Agronomía UBA 37(2): 131-139.

Hidalgo-Villatoro., S. G., W. A. Cifuentes R., H. H. Ruano S., y L. E. Cano C. (2009). Caracterización de trece genotipos de rosa de jamaica *Hibiscus sabdariffa* en Guatemala. Agronomía Mesoamericana 20: 101-109.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2015). Anuario estadístico del estado de Guerrero. México. Consultado el 10/07/2018 en: http://www.diputados.gob.mx/sedia/biblio/usieg/mapas/gro_map.pdf.

Lester, G. E., Jifon, J. L., Rogers, G. (2005). Supplemental foliar potassium application to muskmelon (*Cucumis melon* L.) during fruit growing improves quality and content of human wellness components. Journal of American Society of Horticultural Sciences 130(4): 649-653.

Marschner, P. (2012). Mineral Nutrition of Higher plants. 3th ed. Academic Press, Sydney, Australia, 649 p.

Mehdi-Dahmardeh. (2012). Efecto de los fertilizantes minerales y orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento de cáliz de reselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Revista Africana de Biotecnología 11(48): 10899-10902.

Morton, J. (1987). Roselle. *In*: Fruits of warm climates. Web publication Purdue University, Miami, FL, pp. 281 – 286, Consultado el 02/05/2019 en <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/roselle.html>.

- Ovando-Cruz, M. E. (2018). EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) BAJO CONDICIONES DE TEMPORAL EN TUTEPEC, OAXACA, MÉXICO. *Agro Productividad*, 11(12): 79-84.
- Ramírez-Cortés B., Caro-Velarde F. de J., Valdivia-Reynoso M. G., Ramírez-Lozano M. H., y Machuca-Sánchez M. L. (2011). Cambios en tamaño y características químicas de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) durante su maduración. Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(2): 19-31.
- Ramos-Gutiérrez, F. A., Ramírez-Cortés, B., Sánchez-Machuca, M. L., Caro-Velarde, F. J. y García Paredes, J. D. (2020). Yield and quality of three varieties of jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) with continuous harvest and unique harvest. *Revista Bio Ciencias* 7 (e707): 14.
- Sánchez-García P., C. Molinos da Silva, G. Alcántar-González y M. Sandoval-Villa. (2016). Diagnóstico nutrimental en plantas. *In: Nutrición de cultivos*. Alcántar-González, G., L. I. Trejo-Téllez y F. Gómez-Merino (Eds.). Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. 2016. Colegio de Postgraduados (Ed.). pp: 185-238.
- Sánchez-Prado J. J., Bugarín-Montoya R., Alejo-Santiago G., Juárez-Rosete C. R. y Aburto-González C. A., Caro-Velarde F. (2019). Incremento del rendimiento y extracción nutrimental en jamaica mediante soluciones nutritivas. Nayarit, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 6(16): 1-10.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado el 02/02/2019 en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

SAS Institute. (2012). SAS/STAT® 12.1 User's Guide SAS 9.3. Cary. N.C., USA.
320 p.

Steiner, A. A. (1984). The Universal Nutrient Solution, Proceedings of IWOSC 1984
6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands,
pp. 633-650.

Toral-Flores J. R., Pérez González A., Carreón Amaya J., Martínez Ramírez J. L.,
Rodríguez Ruvalcaba R. y Casas Salas J. F. (2005). Niveles de fertilización
orgánica mediante vermicomposta en el cultivo de la jamaica. Avances en la
investigación Científica en el CUCBA. Jalisco, México. pp.193-197.