

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y EXTRACCIÓN  
NUTRIMENTAL EN *Hibiscus sabdariffa* L.

JOSÉ DE JESÚS SÁNCHEZ PRADO

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:  
Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Agrícolas

Xalisco, Nayarit. Noviembre del 2016



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**

CBAP/232/16.

Xalisco, Nayarit; 10 de noviembre de 2016.

**ING. ALFREDO GONZÁLEZ JÁUREGUI**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**P R E S E N T E.**

Con base al oficio de fecha 25 de octubre del presente, enviado por los CC. Dr. Rubén Bugarín Montoya, Dr. Gelacio Alejo Santiago, Dra. Cecilia Rocio Juárez Rosete, M.C. Francisco de Jesús Caro Velarde y Dra. Elia Cruz Crespo, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza al C. José de Jesús Sánchez Prado, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Agrícolas.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
"Por lo Nuestro a lo Universal"  
  
Dr. J. Diego García Paredes  
Coordinador del Posgrado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE NAYARIT  
POSGRADO EN  
CIENCIAS BIOLÓGICO  
AGROPECUARIAS

C.c.p.- Expediente

Bsmto

Xalisco, Nayarit., 25 de octubre de 2016

**DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES**  
**COORDINADOR DEL POSGRADO EN CIENCIAS**  
**BIOLOGICO AGROPECUARIAS**  
**P R E S E N T E**

Los profesores que suscriben, integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: **CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL EN *Hibiscus sabdariffa* L.**, que presenta el **C. JOSÉ DE JESÚS SÁNCHEZ PRADO** para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con opción terminal en Ciencias Agrícolas, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes en la obtención de su grado.

Agradecemos de antemano la atención al presente. Reciba saludos cordiales.

**ATENTAMENTE**



**Dr. Rubén Bugarín Montoya**  
Director



**Dr. Gelacio Alejo Santiago**  
Co-director



**Dra. Cecilia R. Juárez Rosete**  
Asesor



**M. C. Francisco J. Caro Velarde**  
Asesor



**Dra. Elia Cruz Crespo**  
Asesor

## **DEDICATORIA**

### **A mis Padres.**

**Benigno Sánchez Corona y Sofía Prado Sánchez.** Que me dieron el mejor regalo de todos... enfrentar la vida siempre con Humildad y Alegría. Que me regalaron la mejor niñez y siempre apoyándome en todas mis decisiones.

### **A mis hermanas.**

**Leo, María, Naye y Yuli.** Por tener una vida llena de armonía familiar, por tantas risas y locuras que seguiremos compartiendo.

### **A mi esposa.**

**Elizabeth Andrade Becerra.** Regalo que Dios me dio y que a través del tiempo hemos ido formando una unión llena de amor, comprensión y respeto. Gracias por apoyarme en todo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por nunca dejarme solo y en todo momento darme fortaleza.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Nayarit y a la Unidad Académica de Agricultura por todas las facilidades otorgadas para concluir de manera exitosa la presente investigación y darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Agradezco al Dr. Juan Diego García Paredes, Coordinador del Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias y Pesqueras (CBAP). Por todo el apoyo y facilidades brindadas.

Mi profunda gratitud y reconocimiento a mi comité tutorial

**Dr. Rubén Bugarín Montoya**

**Dr. Gelacio Alejo Santiago**

**Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete**

**Dra. Elia Cruz Crespo**

**M.C. Francisco J. Caro Velarde**

Por todo el apoyo brindado para concluir exitosamente la presente investigación, que gracias a sus talentos y aportes profesionales, me permitieron abordar los temas de mi investigación de una manera más clara y precisa. Sumamente agradecido por todos sus comentarios que me transmitieron lo emocionante que es la agricultura, área que nunca pienso dejar. Expreso toda mi gratitud por el apoyo incondicional siempre que lo requerí.

**Muchas gracias.**

## CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Hipótesis .....	3
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos particulares .....	4
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	4
2.1. Generalidades del cultivo .....	4
2.2. Producción mundial.....	5
2.3. Producción nacional.....	5
2.4. Producción Estatal .....	6
2.5. Sistema de producción de jamaica en México .....	7
2.5.1. Condiciones edafoclimaticas .....	7
2.5.2. Preparación de terrenos .....	8
2.5.3. Fechas de siembra .....	9
2.5.4. Variedades .....	9
2.5.5. Siembra y densidad de población.....	9
2.5.6. Control de malezas .....	9

2.5.7.	Plagas y enfermedades .....	10
2.5.8.	Cosecha .....	10
2.5.9.	Secado de cálices.....	11
2.6.	La dosis de la fertilización en los cultivos agrícolas .....	11
2.6.1.	Curvas de extracción nutrimental .....	14
2.6.2.	La fertilización en el cultivo de jamaica.....	14
2.7.	La técnica del cultivo sin suelo .....	15
2.7.1.	Métodos hidropónicos.....	17
2.7.2.	Clasificación de los cultivos hidropónicos .....	18
2.7.3.	Solución nutritiva .....	19
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
3.1.	Ubicación del experimento .....	26
3.2.	Material vegetativo .....	27
3.3.	Diseño experimental.....	27
3.4.	Siembra.....	28
3.5.	Plantación .....	28
3.6.	Riego.....	29
3.6.1.	Solución nutritiva .....	29
3.6.2.	Agua de riego .....	29
3.6.3.	Fertilizantes utilizados .....	29
3.7.	Variables evaluadas.....	30

3.7.1.	Peso fresco y seco de hoja, tallo y cáliz (g planta <sup>-1</sup> ) .....	30
3.7.2.	Rendimiento de cáliz fresco y seco .....	30
3.7.3.	Concentración nutrimental en hoja, tallo y cáliz .....	31
3.7.4.	Extracción nutrimental en hoja, tallo y cáliz (en g planta <sup>-1</sup> ) .....	31
3.7.5.	Peso fresco y seco de hoja, tallo y cáliz a través del ciclo del cultivo ....	32
3.7.6.	Concentración nutrimental en diferentes órganos de la planta a través del ciclo del cultivo .....	32
3.7.7.	Extracción nutrimental acumulada a través del ciclo del cultivo .....	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
4.1.	Rendimiento de cáliz seco .....	33
4.2.	Asignación de materia seca acumulada e índice de cosecha .....	35
4.3.	Extracción nutrimental de macronutrientes .....	39
4.4.	Concentración de macronutrientes en la biomasa total.....	43
4.5.	Requerimiento interno nutrimental (RI) .....	45
V.	CONCLUSIONES.....	47
VI.	LITERATURA CITADA .....	47



## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.	
<b>Cuadro 1</b>	Producción Nacional de jamaica	6
<b>Cuadro 2</b>	Producción Estatal de jamaica	7
<b>Cuadro 3</b>	Composición química de la solución nutritiva Steiner, 1961	20
<b>Cuadro 4</b>	Concentración de micronutrientes en la solución nutritiva Steiner, 1984	21
<b>Cuadro 5</b>	Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en los diferentes tratamientos experimentales	28
<b>Cuadro 6</b>	Rendimiento de cálices secos de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6 cultivada en soluciones nutritivas con diferente $\psi_0$ . Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan, $P>0.05$ ).	34
<b>Cuadro 7</b>	Materia seca total acumulada por hectárea en los diferentes órganos de la planta de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6, al momento de la cosecha, empleando soluciones nutritivas con diferente potencial osmótico. Los valores se estimaron con una población de 20,000 plantas ha <sup>-1</sup> .	37
<b>Cuadro 8</b>	Extracción total de N, P, K, Ca y Mg en las diferentes partes de la planta de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6 al momento de la cosecha de cálices, obtenidos en el tratamiento de solución nutritiva con -0.072 MPa.	41
<b>Cuadro 9</b>	Tasa de absorción de macronutrientes durante el ciclo de vida del cultivo de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6, correspondiente al tratamiento de -0.072 MPa.	42
<b>Cuadro 10</b>	Requerimiento interno nutrimental de N, P, K, Ca y Mg en jamaica variedad UAN-6, expresado en % del nutriente en la biomasa total al momento de la cosecha y kg de nutriente por tonelada de cáliz cosechado.	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> Rendimiento de cálices secos de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6 cultivada con soluciones nutritivas de diferente $\psi_0$ . Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan, $P>0.05$ ). Las barras representan la desviación estándar.	35
<b>Figura 2</b> Materia seca acumulada total por hectárea en los diferentes órganos de la planta de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6, al momento de la cosecha, cultivada con soluciones nutritivas de diferente $\psi_0$ . Medias con letras iguales para un mismo órgano de la planta, no son estadísticamente diferentes (Duncan, $P>0.05$ ) entre los tratamientos de $\psi_0$ .	38
<b>Figura 3</b> Materia seca acumulada en las diferentes partes de la planta de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6 durante las etapas fenológicas vegetativa, Ve; floración, Ft; fructificación, Fr; y cosecha, Co, cultivada con solución nutritiva de $\psi_0 -0.072$ MPa. Las barras representan el error estándar.	38
<b>Figura 4</b> Curvas de extracción de macronutrientes durante las diferentes etapas fenológicas (vegetativa, Ve; floración, Ft; fructificación, Fr, y cosecha, Co) en el cultivo de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6. Los datos corresponden al tratamiento con $\psi_0$ de $-0.072$ MPa.	43
<b>Figura 5</b> Concentración nutrimental en la biomasa total (a) N, P (b) K, Ca y Mg, durante el ciclo de vida en plantas de jamaica ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) variedad UAN-6, en el tratamiento de solución nutritiva con $\psi_0$ de $-0.072$ Mpa.	44

## RESUMEN

La concentración de la solución nutritiva, es un factor importante que regula el crecimiento y desarrollo de las plantas en sistemas hidropónicos. Esta investigación se realizó en agricultura protegida y tuvo como objetivo, determinar el mejor potencial osmótico de la solución nutritiva para promover el máximo rendimiento alcanzable de cáliz de jamaica y cuantificar el requerimiento interno nutrimental (RI) de N, P, K, Ca y Mg en jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos corresponden a cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, expresadas en potencial osmótico: -0.018, -0.036, -0.054, -0.072, -0.090 MPa. La unidad experimental consistió de una maceta con una planta, empleando como sustrato escoria volcánica basáltica roja. Se efectuaron siete muestreos destructivos durante el ciclo de cultivo. A la cosecha, se evaluó la producción de cáliz seco por planta y se eligió el mejor tratamiento para cuantificar los requerimientos nutrimentales del cultivo. El mejor potencial osmótico fue -0.072 MPa (Duncan,  $\alpha < 0.05$ ) para la producción de cáliz seco, con rendimiento de 1.98 t ha<sup>-1</sup>. El RI en la biomasa total fue 2.86, 0.50, 2.80, 1.71 y 0.54 % de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente; lo que equivale en kg t<sup>-1</sup> de cáliz seco a: N 93.1, P 16.4, K 91, Ca 55.7, Mg 17.7. El patrón de extracción nutrimental total en la biomasa aérea del cultivo fue en el orden N>K>Ca>Mg>P. Las tasas de extracción nutrimental, variaron para cada nutriente en las diferentes etapas fenológicas.

Palabras clave: *Hibiscus sabdariffa* L., Extracción Nutrimental, Potencial osmótico, Rendimiento de cáliz, Solución nutritiva.

## I. INTRODUCCIÓN

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) está considerada en México como un cultivo no tradicional y forma parte del sector de especias y plantas medicinales. No obstante que a nivel mundial, nuestro país ocupa el séptimo lugar como productor de jamaica, importa de otros países como Sudán, Nigeria, Senegal y China, aproximadamente el 50 % de la cantidad consumida (NICAEXPORT, 2007). En México, entre los 11 estados productores de jamaica, destacan Guerrero que aporta el 63 %, Michoacán 13 %, Oaxaca 13 %, Puebla 7 % y Nayarit 2 %, con un rendimiento que oscila de 250 a 930 kg ha<sup>-1</sup> y un media nacional de 350 kg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2015). Los bajos rendimientos que se reportan a nivel mundial, incluido nuestro país, obedece en esencia a la escasa tecnología que se emplea en los sistemas de producción actuales (Caro-Velarde *et al.*, 2012). Sin embargo, es posible alcanzar mayores rendimientos como ha sido demostrado por varios investigadores, al mejorar la tecnología de producción mediante el manejo agronómico de fechas de siembra, espaciamento entre plantas y densidad de población (El-Naim, 2012), lámina de riego apropiada (Babatunde y Mofoke, 2006), empleo de materiales genéticos sobresalientes (Caro-Velarde *et al.*, 2012; Ariza-Flores *et al.*, 2014) y diseño de policultivos (Ruiz-González y Victorino-Ramirez, 2014), entre otros aspectos. La fertilización constituye también un factor decisivo que impacta en el rendimiento de cálices de jamaica, cuando el agua de riego no es un factor limitante. Al respecto, las investigaciones más recientes relacionadas con la fertilización del cultivo de jamaica, se han enfocado a establecer ensayos sitio-específicos que evalúan dosis de aplicación de gallinaza y nitrógeno (Ottai *et al.*, 2006), fertilizantes compuestos (Egharevba y Law-Ogbomo, 2007), biofertilizantes (Hassan, 2009).

nitrógeno y diferentes estaciones lluviosas (Giginyu y Fagbayide, 2009), estiércol bovino y nitrógeno (Oyewole y Mera, 2010), y suministro de fertilizantes solos o en combinación con tipos de estiércol (Dahmardeh, 2012). En este sentido, la información generada ha sido muy valiosa para robustecer el conocimiento acerca de la fertilización en jamaica. Sin embargo, aún se carece de información precisa de la demanda nutrimental del cultivo, que permita determinar la dosis de fertilización de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas de las distintas regiones productoras del país. La demanda nutrimental es la cantidad de nutrimento que requiere un cultivo para satisfacer las funciones metabólicas durante su ciclo de crecimiento y desarrollo. Se calcula con base en la meta de rendimiento y el valor del requerimiento interno (RI) de un nutrimento en particular (Rodríguez *et al.*, 2001), el cual corresponde a la concentración porcentual ideal del nutrimento en la biomasa aérea total al momento de la cosecha (Greenwood *et al.*, 1980). El RI también se puede expresar también en kg de nutrimento por tonelada de producto cosechado (Bugarin-Montoya *et al.*, 2011) y su determinación se logra mediante el establecimiento de ensayos de fertilización en campo o invernadero, con dosis crecientes de los nutrimentos de interés aplicadas al suelo, cuantificando el rendimiento de un cultivo en particular. Un procedimiento alternativo es el empleo de los sistemas hidropónicos, donde el uso de una solución nutritiva posibilita mejor control de la condición nutrimental, permitiendo manipular con mayor precisión que en suelo, las concentraciones nutrimentales y medir su efecto en el crecimiento y rendimiento de los cultivos agrícolas (Flores-Macias *et al.*, 2010; Vargas-Canales *et al.*, 2014).

La concentración de la solución nutritiva en el ambiente radical, es un factor determinante que regula el crecimiento y desarrollo de los cultivos en sistemas hidropónicos. Su adecuado manejo durante las etapas fenológicas de un cultivo, la convierte en una herramienta técnica importante en la horticultura (Sonneveld y Voogt, 2009). En este orden de ideas, el objetivo de la presente investigación fue determinar la respuesta del crecimiento vegetal y rendimiento de cálices secos de jamaica, a concentraciones variables de la solución nutritiva, expresada en términos de potencial osmótico, así como cuantificar la extracción nutrimental acumulada a través del tiempo en la biomasa aérea y el RI de N, P, K, Ca y Mg. La información generada permite estimar la demanda nutrimental para diferentes metas de rendimiento en jamaica.

### **1.1. Hipótesis**

El potencial osmótico de la solución nutritiva en el intervalo de  $-0.018$  a  $-0.09$  MPa genera una respuesta diferencial en el crecimiento, rendimiento de cálices y extracción de macronutrientes en la planta de jamaica, lo que permitirá determinar su requerimiento interno nutrimental.

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar el mejor potencial osmótico de la solución nutritiva para promover el máximo rendimiento alcanzable de cálices de jamaica.

### 1.2.2. Objetivos particulares

Cuantificar el requerimiento interno de macronutrientes del cultivo de jamaica expresado en concentración de nutrimento en la materia seca total (%) y en kg de nutrimento por cada tonelada de cáliz comercial.

Determinar las curvas de extracción de macronutrientes a través del ciclo del cultivo de jamaica.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1. Generalidades del cultivo

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es una planta nativa de África, conocida también con otros nombres tales como: Karkade, roselle, sorrel, Guinea sorrel, rosa de jamaica, flor de jamaica, jamaica, agrio de Guinea, quetmia ácida y viña, entre otros. Perteneció a la familia Malvaceae, alcanza entre uno y tres metros de altura, y forma parte del sector de especias y plantas medicinales (Carvajal, 2006).

El cultivo de jamaica es una buena alternativa económica para los productores, ya que se pueden aprovechar todos los órganos de la planta (Contreras *et al.*, 2009). Las hojas jóvenes se pueden usar como verduras para consumo en forma directa, los tallos se usan en la producción de pulpa para papel o fibra textil y produce un mucilago que se utiliza en la industria de cosméticos; de los pétalos de las flores se puede obtener un colorante amarillo. Las semillas son útiles para extracción de aceite y elaboración de alimentos balanceados para animales. También para elaborar tostadas, las cuales molidas en polvo se pueden utilizar en sopas y salsas o como sustituto para el café. Los cáliz poseen potencial farmacéutico y alimenticio, por lo que son de mayor

interés comercial (Carvajal *et al.*, 2006; Ramos y Meza, 2013; Ruiz-González y Victorino-Ramírez, 2014).

## **2.2. Producción mundial**

Los principales países productores son China, Sudán, Taiwán, Tailandia e India. (FAO, 2009). La producción mundial de jamaica alcanzó cerca de las 100,000 t en el año de 1999 (SIAP, 2009). México ocupa el séptimo lugar como productor de jamaica. Actualmente los países que más demandan este producto son Japón, Estados Unidos, Francia y Alemania, quienes tienen un consumo per cápita de 2.5 kg de jamaica al año (FAO, 2009).

## **2.3. Producción nacional**

A nivel nacional, la superficie cultivada de jamaica es de aproximadamente 20 mil ha, distribuida en 11 estados, con una producción aproximada de 7021.83 t (SIAP, 2015). Entre los principales estados productores destacan Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Puebla y Nayarit, siendo Guerrero el primer productor con alrededor de 14,067 ha con una producción cerca de 4433.80 t de cálices secos por ciclo de cultivo y una derrama económica bruta superior a los 90 millones de pesos (SIAP, 2015). Sin embargo, existe déficit de producción ya que la demanda nacional no se satisface con los volúmenes de producción actual, puesto que se importa más del 50 % del producto que se consume, por lo que es de suma importancia buscar alternativas que ayuden a incrementar los rendimientos, y a su vez elevar la rentabilidad del cultivo (Caro-Velarde *et al.*, 2012; Ariza-Flores *et al.*, 2014). México dispone de condiciones edafoclimáticas favorables para producir jamaica de alta calidad que compita a nivel mundial; de esta manera, las perspectivas económicas a corto y mediano plazo son alentadoras (Larios,



1998; Caro-Velarde *et al.*, 2012). Por lo tanto, dada la importancia que reviste el cultivo, es evidente la necesidad de innovar en los sistemas de producción para promover mejores rendimientos del cultivo.

Cuadro 1. Producción nacional de jamaica

Estado	Producción (t)	Aportación en la producción nacional (%)	Rendimiento promedio de cáliz seco (kg ha <sup>-1</sup> )
Guerrero	4433.80	63	320
Oaxaca	927.15	13	310
Michoacán	922.79	13	480
Puebla	462.40	7	930
Nayarit	147.65	2	620
Campeche	78.46	1	410
*Otros	49.58	1	570

\*Colima, Jalisco, México, Morelos, Tamaulipas; Fuente SIAP, 2015.

#### 2.4. Producción Estatal

La producción de jamaica en el estado de Nayarit, tiene importancia social y económica para las zonas productoras, pues es una actividad generadora de empleo y fuente de ingreso (Caro-Velarde *et al.*, 2012). De acuerdo al SIAP (2015), el estado de Nayarit ocupa el quinto lugar a nivel nacional con alrededor de 238.50 ha, con una producción aproximada de 147.65 t de cálices secos y una derrama económica bruta superior a los 8 millones de pesos. El rendimiento de cálices secos en el estado de Nayarit oscila de 380 a 660 kilogramos de cálices por hectárea, con un valor promedio de 620 kilogramos. Sin embargo, en un grupo de variedades experimentales se han logrado

rendimientos superiores a los 1300 kg de cálices secos por hectárea con una densidad de población de 20,000 plantas por hectárea (Caro-Velarde *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Producción estatal de jamaica

Municipio	Producción (t)	Aportación en la producción estatal (%)	Rendimiento promedio de cáliz seco (kg ha <sup>-1</sup> )
Huajucoari	92.40	63	660
Acaponeta	24.70	17	650
Rosamorada	11.20	8	560
Tepic	6.82	5	620
Amatlan de cañas	3.80	3	380
Ruiz	3.18	2	530
*Otros	5.55	4	430

\*Ahuacatlán, Santa María del Oro, Santiago Ixcuintla. Fuente SIAP, 2015.

## 2.5. Sistema de producción de jamaica en México

La jamaica se cultivó durante mucho tiempo como cultivo secundario en asociación con el maíz, actualmente se siembra como monocultivo y esto hace que el cultivo dependa de la aplicación de insumos, como herbicidas y fertilizantes (Caro-Velarde *et al.*, 2012)

### 2.5.1. Condiciones edafoclimáticas

La jamaica crece bien en la mayoría de los suelos con buen drenaje y tolera suelos con limitaciones físicas y químicas, prefiere suelos de textura media con una profundidad de 50-150 cm de capa arable, salinidad de menos de 4.0 mmhos cm<sup>-1</sup> de conductividad eléctrica, nivel moderado de fertilidad natural y un intervalo de pH de 6.0-7.8 (McCaleb, 1996).

En cuanto a clima, la jamaica produce mejor en los trópicos y subtropicos con lluvias estacionales y desde el nivel del mar hasta los 1,400 msnm. Requiere 4-8 meses con temperatura nocturna arriba de 21°C y el intervalo de temperatura durante la estación de crecimiento debe estar entre los 10 y 35°C. Es una planta muy sensible a los cambios en la longitud del día, debido a la sensibilidad fotoperiódica; Se induce a floración cuando los días llegan a ser más cortos ( $\leq$  12 horas de luz de sol). Requiere que la época de cultivo sea fijada según la longitud del día y no según los requisitos de precipitación, por lo que un fotoperiodo de 13 horas de luz del sol durante los primeros 4-5 meses de crecimiento es esencial para prevenir el florecimiento prematuro. En cuanto a la lluvia, se ha estimado que una precipitación mensual de 100 a 250 mm, es necesaria los primeros 2 a 4 meses de crecimiento (McCaleb, 1996, Naturland, 2000).

### **2.5.2. Preparación de terrenos**

La preparación del terreno empieza desde la selección del predio. Con anterioridad los terrenos que se destinaban a la producción de jamaica, eran en su mayoría predios con algún grado de pendiente (Caro-Velarde, *et al.*, 2012), aunque el cultivo se adapta a una gran variedad de suelos, y es más productivo en suelos profundos donde puede desarrollarse libremente su sistema radicular (Contreras *et al.*, 2009, Meza-Chavarría, 2012). De acuerdo a la FAO-Unesco (1997), citado por Ortiz (1997), deben preferirse los suelos según la terminología maya y su equivalente corresponden a: Chac-lu'um (Cambisol), K'ankab (Luvisol crómico) y Ya'ax-hom (Vertisol pélico). Cualquiera que sea la localidad escogida, se debe tener cuidado de que la misma cuente con vías de acceso, para facilitar el traslado de la cosecha.

### **2.5.3. Fechas de siembra**

El principal sistema de producción de jamaica es de temporal, por lo que la siembra se lleva a cabo, una vez que se establecen las lluvias, durante el mes de mayo hasta principios de julio, se establece como límite de siembra el 20 de julio, para cosecharse en los meses de noviembre, diciembre y enero, para lograr el buen secado de los cálices y por ende una mejor calidad para su comercialización (Caro-Velarde *et al.*, 2012).

### **2.5.4. Variedades**

Las semillas para siembra son obtenidas de la cosecha anterior y en algunas ocasiones son intercambiadas entre productores (Caro-Velarde *et al.*, 2012). De acuerdo a Meza-Chavarria (2012), a nivel internacional se distinguen seis variedades: sudan, china o morada, roja larga y corta (America), negra gigante (Nigeria), morada gigante (Tailandia) y no acida (Vietnam).

### **2.5.5. Siembra y densidad de población**

La siembra se realiza de manera directa o en forma manual, ya sea a chorrillo o mateada (Caro-Velarde *et al.*, 2012), o mediante la propagación de planta a través de semilleros (Larios, 1998). De acuerdo a Andrade (2014), la densidad de población en el cultivo de jamaica es de 20,000 plantas ha<sup>-1</sup>, donde obtuvo un rendimiento de cálices secos de 1.2 t ha<sup>-1</sup>.

### **2.5.6. Control de malezas**

La presencia de malezas en el cultivo, es uno de los factores más importantes para su producción. El control se lleva a cabo desde la forma manual o mecánica mediante la utilización de implementos como machetes, coas y azadones; Hasta la aplicación de

herbicidas como Paraquat y Glisofato. Aunque en ocasiones no se lleva a cabo ningún control y la producción de cálices es escasa, lo que se refleja en rendimientos mínimos (Caro-Velarde *et al.*, 2012).

### 2.5.7. Plagas y enfermedades

Una de las principales plagas es la hormiga arriera que puede atacar al cultivo durante todo el desarrollo vegetativo, llevándose desde las semillas, hasta desfoliar por completo las plantas, los grillos que atacan a la jamaica en estado de plántula, cortándola desde la base del tallo, otros son los pulgones que absorben la savia de las hojas y los gusanos soldados que se comen las hojas y los frutos (Contreras *et al.*, 2009; Caro-Velarde *et al.*, 2012).

La planta de Jamaica es susceptible al ataque de diferentes enfermedades: Hongo *Rhizoctonia sp.*, Hongo pata prieta (*Phytophthora parasitica* Dastur), Cenicilla (*Erysiphe cichoracearum*), Peca u ojo de gallo agallamiento, Ojo de gallo o manchas al follaje (*Phomoides spp.*) (Contreras *et al.*, 2009).

### 2.5.8. Cosecha

En cuanto a la cosecha, se realiza durante los meses de noviembre diciembre y enero, se realiza de manera tradicional, con herramientas diseñadas y construidas de manera artesanal. Consta de dos etapas que son: corte de plantas y despique. La caída de las hojas en un 50% indica que la cosecha esta próxima. El procedimiento consiste en cortar las plantas, amontonarlas en un sitio bajo un árbol en la misma parcela o trasladar la carga hasta la propia casa del productor, donde se realiza el despique que consiste en sacar el cáliz de la cápsula, mediante el uso de herramientas como placas de hierro en las que se les hacen muescas en uno de sus bordes al tamaño de los

frutos, de manera que al pasar la rama por ellos, se realiza la separación de cálices (Caro-Velarde *et al.*, 2012).

#### **2.5.9. Secado de cálices**

El secado de los cálices se realiza de manera tradicional, se extienden en diferentes superficies como patios o techos, para el deshidratado mediante exposición a los rayos del sol por un lapso de tres a cinco días. Un secado adecuado dará como resultado una buena calidad, de lo contrario se obtendrá una mala apariencia del cáliz seco, repercutiendo en el bajo precio de venta. Una vez que el producto presenta una humedad del 12 y 14 %, se procede a empacarlo en costales para su comercialización, (Larios, 1998; Caro-Velarde *et al.*, 2012).

#### **2.6. La dosis de la fertilización en los cultivos agrícolas**

La fertilización es una práctica agrícola que permite proveer de nutrimentos a los cultivos, cuando el suelo no es capaz de aportarlos en la cantidad y tiempo apropiados durante su ciclo de crecimiento y desarrollo. Por esta razón, la aplicación de fertilizantes es uno de los aspectos más importantes a considerar en los sistemas de producción, cuando el suministro de agua no es limitante. Para calcular las dosis de fertilización en un cultivo, existen diferentes procedimientos, como son los tradicionales ensayos de respuesta a la aplicación de fertilizantes que se efectúa a nivel de campo; la extrapolación de recomendaciones; el método de la dosis media regional; empleo de análisis químico de suelos; método de agrosistemas; funciones generalizadas de producción, así como los modelos de simulación (Galvis, 1998; Rodríguez, 1990).

Rodríguez (1990) propuso para las condiciones agrícolas de la República de Chile, un modelo simplificado que estima la dosis de fertilización para lograr una meta de

rendimiento determinada en diferentes cultivos de granos, hortalizas e industriales, así como frutales, el cual fue validado por Galvis (1998) en México para diferentes cultivos agrícolas. Dicho procedimiento, considera la demanda nutrimental de acuerdo a la meta de rendimiento del cultivo que puede lograrse en función de las condiciones agroecológicas de un sitio en particular, el suministro edáfico nutrimental y la eficiencia de recuperación del fertilizante por el cultivo. Estos aspectos se integran en la siguiente ecuación:

$$\text{Dosis de fertilización} = (\text{Demanda nutrimental} - \text{Suministro edáfico})/\text{ERF}$$

Donde:

ERF: Eficiencia de recuperación del fertilizante por el cultivo

La demanda nutrimental del cultivo es definida como la cantidad de nutrimento que requiere la planta para satisfacer sus necesidades metabólicas durante el ciclo de crecimiento y desarrollo. Se calcula con base en una meta de rendimiento y el valor de requerimiento interno del nutrimento en cuestión (Rodríguez, 1990). El Requerimiento Interno (RI) se refiere a la concentración nutrimental óptima en la biomasa aérea total en el momento de la cosecha, expresada en % de nutriente (Greenwood *et al.*, 1980). También puede expresarse en términos de kilogramos de nutrimento por cada tonelada de producto cosechado. Este valor es independiente del rendimiento (Galvis, 1998).

Una forma de proceder para determinar el valor del RI de un nutrimento en particular, es mediante el establecimiento de ensayos de campo o invernadero con dosis crecientes del nutrimento de interés, y cuantificar el rendimiento económico y calidad del producto cosechado de un cultivo en particular. Por su parte, los sistemas de cultivo

sin suelo o cultivos hidropónicos, ofrecen la posibilidad de un mejor control de la nutrición del cultivo al utilizar soluciones nutritivas con una conductividad eléctrica y pH determinados (Resh, 2001; Flores-Macias *et al.*, 2010; Vargas-Canales *et al.*, 2014). Cuando esta técnica es bien manejada permite que las especies cultivadas expresen su máximo potencial de rendimiento sin restricciones de nutrientes y agua. Por ello, la técnica de los cultivos sin suelo en conjunción con un ambiente de crecimiento apropiado en invernadero, ofrece ventajas importantes que facilitan el manejo agronómico para determinar el requerimiento interno nutrimental de los diferentes cultivos.

Por su parte, para estimar el suministro edáfico nutrimental, que se refiere a la cantidad de nutrimento disponible para el cultivo, se han generado índices de la fertilidad que relacionan la disponibilidad nutrimental con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos agrícolas, mediante procedimientos de correlación y calibración.

La eficiencia de recuperación del fertilizante por el cultivo o eficiencia de la fertilización, está relacionado con la interacción fertilizante-suelo-planta, donde inciden diferentes factores tales como la tecnología de aplicación de fertilizantes mediante sistemas convencionales o sistemas de fertirrigación, manejo del agua de riego, tipo de suelo y especie cultivada, entre otras.

En suma, a través de la relación cuantificada de la demanda nutrimental del cultivo, el suministro edáfico y la eficiencia de recuperación de fertilizantes por el cultivo, es posible determinar la dosis de fertilización para una meta de rendimiento alcanzable en cualquier condición agroecológica.



### 2.6.1. Curvas de extracción nutrimental

Una curva de extracción es la representación gráfica de la absorción nutrimental; determina las cantidades de los elementos extraídos por la planta, durante el ciclo de vida, y permite definir un programa de fertilización adecuado para el cultivo. En dicha curva, se deben de reflejar los cambios nutricionales dependientes de la fenología de la planta, para así asociar puntos clave de absorción al momento de cualquier etapa fenológica (Molina *et al.*, 1993; Sancho 1999; Misle 2006; Rincón *et al.*, 1998; Fallas *et al.*, 2014).

La extracción nutrimental por la planta es variable dentro de una misma especie, y esta depende del cultivar, el órgano muestreado, la tecnología de producción y el nutrimento (Azofeifa y Moreira, 2005; Terbe *et al.*, 2006; Pineda-Pineda *et al.*, 2008; Bugarín-Montoya *et al.*, 2011).

### 2.6.2. La fertilización en el cultivo de jamaica

Existen diferentes reportes de investigaciones que dan cuenta de las experiencias obtenidas en cuanto a la generación de conocimiento de la dosis de fertilización en jamaica. Toral *et al.*, (2005) demostraron que la jamaica responde positivamente a la fertilización con vermicomposta y aplicando 99 g planta<sup>-1</sup> equivalente a 3.5 t ha<sup>-1</sup> se produjo el mayor rendimiento, el cual fue de 1,312 kg ha<sup>-1</sup> de cálices secos. Por otro lado, Giginyu y Fagbayide (2009) probaron que el efecto de 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> produjeron los mejores resultados en crecimiento y producción de jamaica. Por su parte, Caro-Velarde *et al.*, (2012) demostraron que la aplicación de la dosis 60-60-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) aplicando todo el fósforo y un tercio de nitrógeno a la siembra y el resto a la escarda, se obtuvo un rendimiento de 753 kg ha<sup>-1</sup> de cálices

secos. En otro experimento Oyewole y Mera (2010) en Nigeria, demostraron que el empleo de  $7.5 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol y  $75 \text{ kg N ha}^{-1}$  fue necesario para obtener los mejores resultados en la producción de semillas y mayor precocidad de cosecha así como el mejor rendimiento de cálices, que ascendió a  $735 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Dahmardeh (2012) estableció que con dosis de  $20 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol de gallina en combinación con  $20 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol de avestruz, produjeron los más altos resultados en rendimiento de cáliz seco con un total de  $1.6 \text{ t ha}^{-1}$ . A su vez, Ruiz-González y Victorino-Ramírez (2014) determinaron niveles de fertilización óptimos en respuesta del policultivo jamaica-frijol-maíz, que obtuvieron con una dosis de fertilización de 120-60-60 con un rendimiento de  $698 \text{ kg ha}^{-1}$ .

## 2.7. La técnica del cultivo sin suelo

La técnica de cultivos hidropónicos ofrece la posibilidad de controlar de manera eficiente las concentraciones de nutrimentos en la solución nutritiva y observar su efecto en las plantas (Steiner, 1961), lo cual representa una ventaja comparativa a los ensayos en suelo para determinar el requerimiento interno nutrimental de uno o varios nutrimentos de manera precisa (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002).

La producción de cultivos en sistemas hidropónicos ha permitido incrementos substanciales en los rendimientos comerciales, calidad y rentabilidad de muchas especies hortícolas cultivadas. Es una técnica para cultivar plantas, cuyas raíces se desarrollan en un medio completamente inorgánico y son abastecidas con agua y nutrientes en las concentraciones y proporciones más adecuadas mediante una solución nutritiva (Steiner, 1961).

La mayoría de los sistemas hidropónicos se deben de desarrollar en invernadero, con el fin de tener un mejor manejo de la temperatura, reducir la pérdida de agua por evaporación, controlar las infestaciones de plagas y enfermedades y proteger a los cultivos de elementos del ambiente, como el viento y la lluvia (Lara, 2000), con esto se logra obtener los rendimientos máximos en los cultivos.

Por lo tanto esta técnica, sirve para abordar diferentes aspectos en la generación de conocimiento científico y técnico de la nutrición de las plantas cultivadas, debido a la facilidad de manipulación de las concentraciones nutrimentales en la solución nutritiva, por lo cual es posible emplearla para determinar el requerimiento interno de macronutrientes y micronutrientes de los cultivos agrícolas (Bugarin-Montoya, 2002).

Se destacan 16 ventajas de la hidroponía sobre el cultivo en suelo: se logra un balance ideal de aire, agua y nutrientes, una humedad uniforme y un excelente drenaje. Permite corregir rápidamente la falta o exceso de nutrientes y se tiene un perfecto control del pH. Propicia mayor rendimiento por unidad de superficie, mayor calidad del producto, mayor precocidad, permite cultivar repetidamente la misma especie vegetal, con varias cosechas al año. Requiere de menos espacio para la producción, ahorra agua, reduce los costos de producción, da una mayor limpieza e higiene, reduce la erosión y contaminación del medio ambiente. Entre las desventajas de este tipo de producción se encuentra el hecho que para su uso a nivel comercial, requiere de conocimiento técnico especializado, su inversión inicial es muy elevada y requiere de un abastecimiento continuo de agua (Urrestarazu y Salas, 2004; Gutiérrez, 2011; Osuna, 2011).

### 2.7.1. Métodos hidropónicos

Existen diferentes sistemas de hidroponía, que se pueden clasificar en tres grupos, según el medio que se desarrollan las raíces:

1) Cultivo aeropónico: se mantienen las raíces de las plantas suspendidas en el aire dentro de una cámara oscura donde se inyecta la solución nutritiva periódicamente con el objetivo de mantener 100 % de humedad relativa. El suministro de solución nutritiva es mediante microaspersores o nebulizadores que se encargan de mantener húmeda la raíz mediante descargas de solución nutritiva de corta secuencia (Canavas, 1999; Lara, 2000).

2) Cultivo en agua: las raíces de las plantas están suspendidas en un medio líquido con la solución nutritiva, sin que ésta reciba luz para evitar el desarrollo de algas que favorecen un cambio en color, reducción de la acidez de la solución, competencia por la toma de nutrientes, menor disponibilidad de oxígeno para la raíz y por consecuencia un mal funcionamiento de la planta (Canavas, 1999; Lara, 2000). En el cuello radicular, las plantas se mantienen en una capa muy fina de medio inerte que tiene la función de soporte. La incorporación de oxígeno en la raíz se realiza mediante una bomba o compresor que hace que se diluya en el interior de la solución nutritiva a través de una tubería con perforaciones (Resh, 2001).

3) El cultivo en sustrato sólido: se utilizan sustratos inertes (tezontle, arena, grava, vermiculita, peat moss, etc.) que le proporcionan a la planta las condiciones necesarias de oxígeno y humedad para su desarrollo. Dentro de los cultivos en sustrato sólido hay tres tipos en función de su manejo. Se tienen los sistemas que funcionan por aplicación de una solución nutritiva por subirrigación que se aplica a las camas con grava de un

diámetro superior a 3 mm y que fluye rápidamente hacia un depósito. Se encuentran también aquellos sistemas que utilizan un sustrato con baja retención de agua y una elevada aireación, donde el gran tamaño de los poros permiten que el sustrato retenga un mayor volumen de agua; sin embargo, por la baja retención de agua requiere un aporte muy frecuente de solución nutritiva. También están los sistemas que emplean un sustrato como lana de roca, perlita, fibra de coco y arena; estas deben tener capacidad de retención de agua, y a la vez permitir buena oxigenación; por ello se maneja una mezcla de partículas con un diámetro de 0.2 a 2.5 mm, de tal forma que requieren un aporte de riegos muy puntual, en función de las necesidades hídricas de un cultivo (Canavas, 1999; Lara, 2000).

### **2.7.2. Clasificación de los cultivos hidropónicos**

El cultivo hidropónico; se puede subdividir en dos tipos de sistemas: abiertos y cerrados. En los sistemas abiertos, la solución nutritiva pasa a través de las raíces y el drenaje que se genera se desecha; en este caso la solución nutritiva no se reutiliza después de pasar por el cultivo. La disolución sobrante se drena, percola, se infiltra en el subsuelo o simplemente sufre escorrentía fuera del contenedor de cultivo, sin que el cultivo vuelva a tener ningún contacto con la misma (Urrestarazu y Salas, 2004). Mientras que en los sistemas cerrados, la solución nutritiva es reutilizada total o parcialmente después de pasar por el cultivo, con el fin de economizar fertilizantes y agua (Urrestarazu, 2000). En estos sistemas, la solución nutritiva sobrante vuelve a incorporarse, como suministro a la fertirrigación del mismo cultivo.

Los sistemas cerrados o sistemas recirculantes de la solución nutritiva, permiten dos grandes aportaciones a la agricultura:

- 1) Máxima eficiencia en el uso de fertilizantes, con especial interés sobre aquellos que producen problemas de eutrofización como nitratos y fosfatos.
- 2) Se obtiene el control máximo posible en las salidas del agrosistema respecto al agua de fertirrigación y las sales en ella disueltas, así como de los pesticidas de aplicación radical. Respecto a los sistemas cerrados en ellos diversos autores ven una posibilidad de mejora medioambiental (Van Os, 2009; Garcia *et al.* 2007).

### 2.7.3. Solución nutritiva

La solución nutritiva (SN) consiste en agua con oxígeno y los nutrientes esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos como los quelatos de hierro forman parte de la SN (Steiner, 1968). Para que la SN tenga disponibles los nutrientes que contiene, debe ser una solución verdadera, todos los iones se deben encontrar disueltos. La pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de los nutrientes puede ocasionar su deficiencia en la planta. Además, de este problema se genera un desbalance en la relación mutua entre los iones (Steiner, 1961).

En hidroponía, las necesidades nutrimentales que tienen las plantas son satisfechas con los nutrientes que se suministran en la SN. La cantidad de nutrientes que requieren las plantas depende de la especie, la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales (Carpena *et al.*, 1987; Adams, 1994b).

Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una SN con características específicas. Existen diferentes formulaciones de soluciones nutritivas que son empleadas de manera exitosa en el mundo, han sido formuladas para hacer crecer plantas en cultivo sin suelo, y su composición química varía ampliamente. Estas soluciones fueron desarrolladas empíricamente y la mayor parte sin consultar,

previamente información precisa, con respecto a las concentraciones de nutrientes (Smith *et al.*, 1983). Dichos autores enfatizan que las concentraciones de nutrientes requeridos para satisfacer las demandas internas de las plantas difieren de acuerdo con la especie. Por lo tanto, no puede haber una solución nutritiva única con que se tendrían resultados satisfactorios para todas ellas. Sin embargo, dentro de éstas, la solución nutritiva de Steiner (1961) ha sido ampliamente utilizada tanto a nivel comercial como en investigación experimental, y fue diseñada considerando una relación mutua de aniones ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), una relación mutua de cationes ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), una concentración iónica total que incluye macronutrientes y micronutrientes y un pH estable con una mínima variación (Cuadro 4).

Cuadro 3. Composición química de la solución nutritiva Steiner, 1961.

Unidades de concentración	Cationes			Aniones		
	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
*meq L <sup>-1</sup>	7	9	4	12	1	7
**mMol L <sup>-1</sup>	7	4.5	2	12	1	3.5

\*meq L<sup>-1</sup>=millequivalentes por litro; \*\*mMol L<sup>-1</sup>=milmoles por litro

Cuadro 4. Concentración de micronutrientes en la solución nutritiva Steiner (1961).

Elemento	* $\mu\text{mol L}^{-1}$	** $\text{mg L}^{-1}$
Fe	9-36	0.5-2.0
Mn	4-36	0.2-2.0
Zn	1.5-9	0.1-0.6
Cu	19-56	0.2-0.6
B	0.2-1	0.01-0.06
Mo	0.4-0.6	0.04-0.06

\*  $\mu\text{mol L}^{-1}$ =micromoles por litro, \*\*  $\text{mg L}^{-1}$ =miligramos por litro

La concentración iónica de la solución nutritiva de Steiner asciende a  $30 \text{ mMol L}^{-1}$ , que en términos de presión osmótica corresponde a  $0.72 \text{ atm}$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ó un potencial osmótico de  $-0.072 \text{ MPa}$  y un pH de 6.5 (Steiner, 1968).

### 2.7.3.1. Relación de aniones y relación de cationes

La demanda y la absorción de los macronutrientes no son lineales durante el desarrollo de la planta, esto trae como consecuencia que también deba sincronizarse la relación mutua entre los iones en la SN. Steiner (1961) estableció el concepto de relación mutua entre los aniones  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , y entre los cationes  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Se basó en que una solución nutritiva debe estar regulada en sus macronutrientes contenidos en los iones mencionados. De no existir esta relación, se pueden generar desbalances nutrimentales, como por ejemplo el antagonismo entre  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  (De Krij *et al.*, 1992; Adams y Ho, 1993),  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (Bouma, 1983; Pujos y Morard, 1997),  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (Adams 1994; Morard *et al.*, 1996).

Steiner (1961) indicó que cuando se aplica la solución nutritiva en forma continua, las plantas pueden absorber iones a muy bajas concentraciones. Sin embargo, es



probable que a una concentración demasiado baja, la demanda mínima de determinados nutrientes no sea cubierta. En el otro extremo de concentración, el consumo excesivo puede conducir a efectos tóxicos. Steiner (1968) señaló, respecto a la concentración de un ion, que el problema más importante es la relación que tiene respecto a los otros dos iones de su misma carga eléctrica; una inadecuada relación entre los iones puede disminuir el rendimiento. La existencia de concentraciones óptimas de determinados nutrientes en solución para un cierto cultivo, la interacción de los factores ambientales y la relación mutua entre los aniones y los cationes tienen gran influencia en la nutrición de las plantas (Lara, 2000).

#### **2.7.3.2. Presión osmótica**

La respuesta de las plantas en crecimiento y desarrollo a la solución nutritiva del cultivo hidropónico depende de varios factores, el más importante de éstos es la concentración total de iones, expresada como presión osmótica de la solución nutritiva, que es una propiedad fisicoquímica de las soluciones que depende de la cantidad de partículas, o solutos disueltos (Steiner, 1966; Segal, 1989).

Es una característica de gran importancia en la solución nutritiva, ya que una alta presión osmótica disminuye la energía libre del agua y, por lo tanto, restringe la absorción de agua y algunos nutrimentos (Asher y Edwards, 1983; Ehret y Ho, 1986; Al-Harbi, 1994; Marschner, 1995; Kafkafi y Bernstein, 1996). Uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit hídrico es el crecimiento celular, se reduce la expansión celular y el área foliar (Núñez, 1991). De acuerdo con Steiner (1984), diferencias de presión osmótica de la solución nutritiva en el orden de 0.2 atmósferas (atm), provocan discrepancias considerables en el rendimiento de los cultivos.

La planta no absorbe nutrientes en la misma cantidad durante el ciclo, ya que lo hace según la especie, variedad, etapa fenológica y las condiciones climáticas, por lo que el equilibrio iónico de la solución nutritiva se debe adaptar al ritmo de absorción de la planta (Carpena *et al.*, 1987; Steiner, 1984; Adams, 1994b; Rincón, 1997). La interacción entre los iones puede influenciar fuertemente la absorción y con ello inducir deficiencias o toxicidades y en consecuencia modificar el crecimiento de las plantas (Schwarz, 1995).

Una medida indirecta y empírica para determinar la presión osmótica expresado en atm de la solución nutritiva, es multiplicando la concentración iónica total en  $\text{mMol L}^{-1}$  por el factor 0.024 (Steiner, 1968). En adición, el potencial osmótico expresado en Megapascales (MPa) de la solución nutritiva puede estimarse dividiendo el valor de presión osmótica (atm) entre -10.

El potencial osmótico también puede estimarse a partir del valor de la conductividad eléctrica (C.E.), se calcula mediante la siguiente ecuación:

Potencial osmótico (MPa) = C.E. ( $\text{dS m}^{-1}$ ) (-0.036); o bien

Presión osmótica (atm) = CE ( $\text{dS m}^{-1}$ ) (0.36).

### 2.7.3.3. Conductividad Eléctrica

Es una medida indirecta de la concentración de sales en una disolución. Se expresa en deciSiemens por metro ( $\text{dS m}^{-1}$ ), considerando una temperatura de 25 °C. (Rhoades, 1993).

A medida que en la solución nutritiva aumenta la conductividad eléctrica, disminuye la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes (Steiner, 1973; Ehret y Ho, 1986; Adams, 1994a). La Conductividad eléctrica influye en la nutrición de las plantas,

a C.E. mayores que  $6 \text{ dS m}^{-1}$  además de inducir una deficiencia hídrica, aumenta la relación  $K^+$  ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ), ocasionando desbalances nutrimentales; No todos los nutrimentos son afectados en igual medida. Los que se mueven por flujo de masas, como el  $Ca^{2+}$  y en menor medida el  $Mg^{2+}$  se absorben en menor cantidad, de esta manera se puede inducir deficiencia de  $Ca^{2+}$ , pero una C.E. menor que la que requieren las plantas de  $2 \text{ dS m}^{-1}$ , puede también inducir deficiencias nutrimentales (Ehret y Ho, 1986, Lara, 2000).

La CE apropiada para el cultivo de plantas está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura y luz). Steiner (1973) y Resh (2001) observaron que las plantas toleran una mayor CE en invierno que en verano.

#### 2.7.3.4. pH

El pH es otro factor importante en la preparación y manejo de las soluciones nutritivas se determina por la concentración de los ácidos y de las bases. El pH se define una vez que se establece la proporción relativa de los aniones y los cationes, y la concentración total de ellos en  $\text{meq L}^{-1}$  lo cual significa que el pH es una propiedad inherente de la composición química de la solución nutritiva y no puede cambiar independientemente (De Rijck y Schrevens, 1998).

El pH de la solución nutritiva apropiado para el desarrollo de los cultivos se encuentra entre los valores 5.5 y 6.5. A pH mayor de 7.5, la absorción de  $NO_3^-$  y  $H_2PO_4^-$  disminuye, en pH menor a 7.0, la absorción de  $K^+$  se reduce. Con un pH inferior a 4.0 se produce una despolarización de la membrana celular de las raíces por exceso de  $H^+$  (Favela, 2006). Es por ello que el pH se controla con el fin de:

1). Regular la presencia de los bicarbonatos en el agua de riego, ya que estos iones producen un elevado pH, y un alto contenido de ellos en la zona radical provoca inmovilización de algunos elementos como el P, Mn y Fe (Rincón, 1997; De Rijck y Scherevens, 1998; Amiri y Sattary, 2004).

2). Solubilizar al  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , que es la principal forma en que el fósforo es absorbido por las plantas.  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  está sujeto a cambiar a otras formas derivadas de la disociación del  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , en la medida que aumenta el pH aumenta el grado de disociación de este ácido. Entre el pH de 5.5 y 6.0 predomina el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , en relación con el  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , ó al  $\text{HPO}_4^{2-}$ , pero en la medida que aumenta el pH aumenta la proporción de  $\text{HPO}_4^{2-}$  respecto  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ .

3). Evitar la precipitación de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ . La solubilidad de estos dos iones también está en función del pH; en la medida que éste aumenta, la solubilidad de esos cationes disminuye. Para el caso del hierro, en hidroponía se recomienda el uso de la forma  $\text{Fe}^{2+}$  (reducida), la forma (oxidada)  $\text{Fe}^{3+}$  es menos soluble, ésta precipita como  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (De Reijck y Scherevens, 1998). El  $\text{Fe}^{2+}$  tiende a oxidarse, una forma de controlar su solubilidad es evitando que el pH sea mayor que 6. Otra forma es aplicar el  $\text{Fe}^{2+}$  en forma de quelato (Lara, 2000).

#### 2.7.3.5. Temperatura

Otra característica muy importante de la solución nutritiva, es la temperatura, la cual se recomienda mantenerla entre los 20 y 30 °C; por lo general no debe ser menor a la temperatura del ambiente puesto en la medida que la temperatura disminuye también disminuye la absorción y asimilación de los nutrimentos (Jones, 1982; Cornillon, 1988). Sin embargo, Adams (1994a) reportó que la temperatura de la SN tiene aún mayor

efecto en la absorción de P que de N y agua. Con temperaturas menores que 15 °C, Moorby y Graves (1980) encontraron deficiencias de Ca<sup>2+</sup>, P y Fe<sup>2+</sup>. En el agua, además de disolver las sales que corresponden a los nutrimentos, en forma natural se disuelve el oxígeno que requieren las raíces de las plantas. La temperatura de la SN tiene relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta. A temperatura menor que 20 °C el oxígeno disuelto en la SN es suficiente para abastecer la demanda de este nutrimento; sin embargo, el requerimiento es pequeño debido a que se reduce la velocidad de un buen número de procesos fisiológicos, entre ellos la respiración y, por lo tanto, también se reduce el crecimiento de la planta. A temperaturas mayores que 30 °C las condiciones son contrarias, la gran demanda de oxígeno no es satisfecha por la SN debido a que a mayor temperatura aumenta la difusión de este gas. Con altas temperaturas de la SN también se incrementa el crecimiento vegetativo en una magnitud mayor que la deseable y disminuye la fructificación (Graves, 1983; Lara, 2000).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del experimento

El experimento se realizó en un invernadero, con dimensiones de 8 m de ancho, 42 m de largo y 6.5 m de altura; con techo de dos aguas cubierto con polietileno, ventilación cenital y lateral protegida con malla antiáfidos, ubicado en la Universidad Autónoma de Nayarit, cuyas coordenadas son 21° 29' 31" N, 104° 53' 31" W, en la ciudad de Tepic, a una altitud de 952 m.

### **3.2. Material vegetativo**

Se utilizó semilla de jamaica de la variedad denominada UAN-6, procedente del Programa de Mejoramiento Genético de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAA-UAN).

### **3.3. Diseño experimental**

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados corresponden a cinco concentraciones iónicas de la solución nutritiva de Steiner (1961), expresadas en potencial osmótico ( $\psi_0$ ): -0.018, -0.036, -0.054, -0.072, -0.090 MPa (Cuadro 6). Para llevar a cabo el experimento, se establecieron en total 150 plantas y se efectuaron siete muestreos destructivos. La unidad experimental consistió de una maceta con una planta. Los muestreos destructivos se efectuaron cada 15 días, iniciando después del trasplante, y en cada muestreo se consideraron cuatro repeticiones por tratamiento.

Cuadro 5. Composición química de las soluciones nutritivas empleadas en los diferentes tratamientos experimentales.

Tratamiento	Aniones (meq L <sup>-1</sup> )			Cationes (meq L <sup>-1</sup> )			Potencial osmótico (Ψ <sub>s</sub> )
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	*MPa
1	3	0.25	1.75	1.75	2.25	1	-0.018
2	6	0.5	3.5	3.5	4.5	2	-0.036
3	9	0.75	5.25	5.25	6.75	3	-0.054
4	12	1	7	7	9	4	-0.072
5	15	1.25	8.75	8.75	11.25	5	-0.090

\*MPa=Megapascales.

### 3.4. Siembra

Se realizó en charolas germinadoras de poliuretano con 200 cavidades, previamente desinfectadas con solución de hipoclorito de sodio (Cloralex®). Se utilizó turba comercial Sunshine # 3® como sustrato.

### 3.5. Plantación

El trasplante se realizó cuando las plantas tuvieron cuatro hojas verdaderas a los 40 días después de la siembra. Cada unidad experimental estuvo compuesta de una bolsa de polietileno negra con capacidad de 14 L (maceta), con orificios en la base para permitir un adecuado drenaje, como sustrato se utilizó roca volcánica basáltica, conocido comúnmente como tezontle rojo con una granulometría de 1 a 5 mm de diámetro. La distancia entre macetas fue de 0.5 m y 1.0 m entre hilera.

## **3.6. Riego**

### **3.6.1. Solución nutritiva**

Se utilizó la solución nutritiva propuesta por Steiner (1961), la cual se ajustó al respectivo análisis de agua, y se hicieron las modificaciones en las concentraciones de aniones y cationes según correspondió a cada tratamiento.

### **3.6.2. Agua de riego**

Se realizaron determinaciones analíticas del agua de riego empleada para las concentraciones de aniones y cationes presentes en ésta, dando la siguiente composición en meq L<sup>-1</sup>: Ca<sup>2+</sup>, 0.1; Mg<sup>2+</sup>, 0.028; K<sup>+</sup>, 0.19; Na<sup>+</sup>, 2.0 y una conductividad eléctrica de 0.44 dS m<sup>-1</sup>, RAS 7.1, pH 6.81 y CSR 1.8 meq L<sup>-1</sup>. De acuerdo a las normas Riverside, corresponde a una clasificación C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>, lo cual es agua de buena calidad con salinidad media. Con estos resultados se procedió a realizar los ajustes correspondientes a cada uno de los tratamientos de potencial osmótico.

### **3.6.3. Fertilizantes utilizados**

Como fuentes de nutrientes se emplearon fertilizantes comerciales grado fertirriego: nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>), nitrato de calcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), fosfato monopotásico (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), sulfato de potasio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y sulfato de magnesio Mg(SO<sub>4</sub>). La concentración de micronutrientes empleados fue (mg L<sup>-1</sup>): Fe 3, Mn 1.6, Zn 0.023, Cu 0.011 y B 0.865 y se adicionaron con la mezcla comercial Ultrasol micro® de SQM. Para bajar los niveles de pH de la solución se utilizó ácido sulfúrico.

Cada una de las soluciones nutritivas de los tratamientos experimentales, se prepararon por separado, en contenedores con capacidad de 450 litros. La solución nutritiva se suministró mediante un sistema de riego por goteo desde el trasplante



hasta el término de la cosecha de acuerdo a la demanda hídrica de la planta. El drenado de la solución nutritiva fue de 10 a 15%, ésto con el fin de que no hubiera exceso de iones que pudiesen afectar de manera significativa el desarrollo de la planta. El sustrato se mantuvo siempre a una humedad constante o capacidad de contenedor y solo fue necesario un riego por día ( $2.5 \text{ L día}^{-1}$ ) los primeros 45 días después del trasplante (ddt), posteriormente fueron necesarios dos riegos diarios de  $5 \text{ L}^{-1}$  hasta los 105 ddt cuando se llevó a cabo la cosecha de cálices.

### **3.7. Variables evaluadas**

#### **3.7.1. Peso fresco y seco de hoja, tallo y cáliz ( $\text{g planta}^{-1}$ )**

Al momento de la cosecha de cálices, se recolectaron las plantas completas cortadas desde su base, se separaron hoja, tallo y cáliz, se registró el peso total de cada órgano. Posteriormente se tomó una submuestra, la cual fue trasladada al laboratorio de análisis de agua, suelo y planta, de la Unidad Académica de Agricultura en la Universidad Autónoma de Nayarit, donde se lavaron con agua potable y enseguida con agua destilada, para luego ser introducida en bolsas de papel para su secado en una estufa de aire forzado a  $60^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener un peso constante a las 72 horas y así cuantificar la cantidad acumulada de materia seca en cada submuestra de cada órgano. Las muestras se guardaron libres de humedad, previamente etiquetadas de acuerdo al tratamiento de potencial osmótico para luego ser procesadas en laboratorio y efectuar las determinaciones analíticas nutrimentales.

#### **3.7.2. Rendimiento de cáliz fresco y seco**

A los 105 días después del trasplante, se cosecharon los cálices en cada una de las plantas, registrando el peso fresco de cálices. El secado de los mismos, se efectuó a

la manera tradicional, los cálizos frescos fueron tendidos en el techo de la casa para el deshidratado mediante exposición a los rayos del sol, por un lapso de 4 días, hasta que los cálizos frescos perdieron una humedad del 92 %. El peso seco y fresco se cuantificó con una balanza digital de precisión (Precisa XB 620C).

El rendimiento de cáliz seco por hectárea se estimó considerando una población de 20,000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  con base a lo reportado por Andrade (2004), quien encontró que es una densidad de población ideal en el cultivo de jamaica. Posteriormente los datos obtenidos fueron procesados mediante un análisis de varianza donde se determinó el mejor tratamiento de potencial osmótico con base al rendimiento por ha.

### **3.7.3. Concentración nutrimental en hoja, tallo y cáliz**

Una vez que se determinó el mejor tratamiento de potencial osmótico respecto al rendimiento de cáliz seco, se procedió con las determinaciones analíticas nutrimentales en hoja, tallo y cáliz. Para tal efecto, se tomaron submuestras de los diferentes partes de la planta, previamente secados en estufa de aire forzado a  $60^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas; luego se trituraron con un molino de martillo (IKA A11 basic), se almacenaron en bolsas de plástico para el posterior análisis de concentración nutrimental, de acuerdo a los métodos descritos por Alcántar y Sandoval (1999). Los valores fueron expresados en %.

### **3.7.4. Extracción nutrimental en hoja, tallo y cáliz (en g planta<sup>-1</sup>)**

La extracción de macronutrientes en las hojas, tallo y cáliz, se calculó a partir de la concentración de nutrientes y la cantidad de materia seca total acumulada por órgano al momento de la cosecha, el valor se expresó en g.

### **3.7.5. Peso fresco y seco de hoja, tallo y cáliz a través del ciclo del cultivo**

Después del trasplante, se realizó un muestreo secuencial destructivo cada 15 días, hasta el momento de la cosecha de cáliz, donde se recolectaron plantas completas, cortadas desde su base. Se separaron hojas, tallos, cálices y se registró el peso fresco total de cada órgano, para enseguida tomar submuestras, que fueron trasladadas al laboratorio de análisis de agua, suelo y planta de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, donde se lavaron con agua potable y enseguida con agua destilada. Posteriormente las muestras se secaron en bolsas de papel estraza, en una estufa de aire forzado a 60°C, hasta obtener peso constante, esto aproximadamente a las 72 horas. De esta manera, se cuantificó la materia seca acumulada en hojas, tallo y cáliz a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo.

### **3.7.6. Concentración nutrimental en diferentes órganos de la planta a través del ciclo del cultivo**

Una vez que se determinó el mejor tratamiento de potencial osmótico respecto al rendimiento de cáliz seco, se procedió a realizar las determinaciones analíticas nutrimentales en hojas, tallo y cáliz. Para esto, del material previamente secado correspondientes a todos los muestreos a lo largo del ciclo del cultivo, se tomaron porciones de las diferentes partes de la planta y se molieron en un molino de análisis (IKA A11 basic), con criba de 20 mesh. Enseguida se procedió al análisis químico nutrimental mediante procedimientos estándares de laboratorio descritos por Alcántar y Sandoval (1999). Los valores fueron expresados en %.

### 3.7.7. Extracción nutrimental acumulada a través del ciclo del cultivo

La acumulación de nutrimentos durante los diferentes muestreos a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo de jamaica, se calculó a partir de su concentración porcentual y la cantidad de materia seca total acumulada en hojas, tallos y cálices. La extracción de macronutrimentos en cada muestreo, se expresó en g planta<sup>-1</sup>. La estimación de la extracción nutrimental por hectárea en el cultivo de Jamaica, se realizó considerando una densidad de población de 20,000 plantas ha<sup>-1</sup>.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Rendimiento de cáliz seco

El tratamiento que promovió el más alto rendimiento de cáliz seco con una media de 1.98 t ha<sup>-1</sup> fue la solución nutritiva con potencial osmótico ( $\psi_o$ ) -0.072 MPa (Tratamiento 4), y donde se presentó el menor rendimiento de cáliz seco (0.88 t ha<sup>-1</sup>) fue en la solución nutritiva con potencial osmótico -0.018 MPa (Tratamiento 1). En el intervalo -0.018 a -0.072 MPa se observó una relación directa en el incremento del rendimiento respecto al potencial osmótico. Sin embargo, al disminuir el potencial osmótico a -0.090 MPa el rendimiento disminuyó a 1.56 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 6, Figura 1). Por lo tanto, estos resultados permiten evidenciar que las plantas de jamaica pueden tolerar condiciones de hasta  $2.5 \pm 0.2$  dS m<sup>-1</sup> sin que afecte de manera significativa el rendimiento de cáliz seco. Valores de conductividad eléctrica mayores a éste, podrían ser explorados para conocer el umbral de tolerancia a la salinidad. Un aspecto no considerado en esta investigación, fue la medición de CE en el sustrato a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo, y es muy probable, que el nivel máximo de salinidad en el intervalo estudiado haya sido mayor que 2.5 dS m<sup>-1</sup> como ocurre con frecuencia

en sistemas hidropónicos (Sonneveld y Voogt, 1990). De esta manera, valores de CE mayores a éste, podrían ser explorados para conocer el umbral de tolerancia a la salinidad, así como determinar su efecto en la producción de metabolitos primarios y secundarios responsables del sabor, aroma, color y propiedades antioxidantes en cálices de jamaica.

Los resultados obtenidos demuestran que en el cultivo de jamaica es posible lograr rendimientos de cálices secos de aproximadamente 2 t ha<sup>-1</sup>, tal y como ha sido reportado previamente por otros investigadores (Dahmardeh, 2012; Caro-Velarde *et al.*, 2012; Ruiz-González y Victorino-Ramírez, 2014). Sin embargo, el rendimiento de cálices secos es un parámetro muy sensible a las condiciones de cultivo, que deberá tomarse en cuenta, como fue demostrado también por Ottai *et al.* (2006) al estudiar la interacción ambiente-variedad.

Cuadro 6. Rendimiento de cálices secos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6 cultivada en soluciones nutritivas con diferente  $\psi_0$ . Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan,  $P > 0.05$ ).

Tratamiento P.O.	Media t ha <sup>-1</sup>
-0.018 MPa	0.88 b
-0.036 MPa	1.10 ab
-0.054 MPa	1.74 ab
-0.072 MPa	1.98 a
-0.090 MPa	1.56 ab

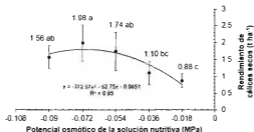


Figura 1. Rendimiento de cálices secos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6 cultivada con soluciones nutritivas de diferente  $\psi_0$ . Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan,  $P > 0.05$ ). Las barras representan la desviación estándar.

#### 4.2. Asignación de materia seca acumulada e índice de cosecha

En la Figura 2 y Cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos con la materia seca total acumulada (MST) y su asignación entre los órganos de la planta de jamaica. La acumulación de materia seca en la planta completa, tuvo una tendencia muy similar a lo obtenido con el rendimiento de cálices secos. La solución nutritiva con  $\psi_0$  de -0.018 MPa provocó una menor acumulación significativa de MST en la planta de jamaica con  $3869.3 \text{ kg ha}^{-1}$ , en comparación con el tratamiento de -0.072 MPa con  $6473.0 \text{ kg ha}^{-1}$  que tuvo la acumulación máxima, aunque este último sin diferencias estadísticas con respecto a -0.036, -0.054 y -0.090 MPa. A excepción del tallo, en todos los demás

órganos existieron diferencias significativas en la materia seca acumulada entre los tratamientos de  $\psi_0$  de -0.018 y -0.036 MPa comparado con el intervalo de -0.054 a -0.090 MPa (Cuadro 7). El fruto+cáliz fue la parte de la planta que concentró el 56.5% de la MST, seguido por el tallo con 21.24%, hojas 16.25% y raíz 6%. Se determinó que después de los 65 ddt, el fruto+cáliz es la parte de la planta que más contribuye al incremento de la MST (Figura 3). Esto permite inferir que los fotoasimilados de la planta a partir de este tiempo, se concentran en las estructuras reproductivas, como ha sido referido para el caso de algodón por Orozco-Vidal *et al.* (2007).

El índice de cosecha (IC) en las plantas de jamaica cultivadas con diferentes tratamientos de potencial osmótico, varió de 0.25 a 0.30 g g<sup>-1</sup>. El menor valor correspondió al  $\psi_0$  de -0.018 MPa, lo cual se infiere que pudo deberse a la obtención de un menor rendimiento de cálices secos. El mayor IC se obtuvo en los tratamientos de  $\psi_0$  de -0.054 y -0.072 MPa (0.30 g g<sup>-1</sup>), aunque sin diferencias estadísticas con respecto a los potenciales osmóticos de -0.036 (0.27 g g<sup>-1</sup>) y -0.090 MPa (0.28 g g<sup>-1</sup>). El valor medio del IC, considerando los mejores tratamientos de potencial osmótico fue 0.28 g g<sup>-1</sup>, mismo que se sugiere emplear para estimación de la biomasa seca total en el cultivo de jamaica, dado que considera una amplitud importante de la condición del potencial osmótico de la solución nutritiva.

Cuadro 7. Materia seca total acumulada por hectárea en los diferentes órganos de la planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6, al momento de la cosecha, empleando soluciones nutritivas con diferente potencial osmótico. Los valores se estimaron con una población de 20,000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Potencial osmótico	Partes de la planta				Total
	Raíz	Hoja	Tallo	Fruto + cáliz	
MPa	-----kg ha <sup>-1</sup> -----				
-0.018	231.37 b	499.3 b	1051.8 a	2086.8 b	3869.3 b
-0.036	293.08 ab	752.6 ab	1285.3 a	2570.2 ab	4901.2 ab
-0.054	347.52 a	877.2 a	1197.4 a	3389.5 a	5811.6 a
-0.072	387.07 a	1062.0 a	1372.6 a	3651.3 a	6473.0 a
-0.090	335.59 a	848.3 a	1265.7 a	3162.6 ab	5612.2 a

Medias con letras iguales en columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, P>0.05).



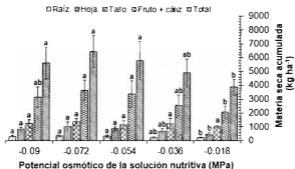


Figura 2. Materia seca acumulada total por hectárea en los diferentes órganos de la planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6, al momento de la cosecha, cultivada con soluciones nutritivas de diferente  $\psi_0$ . Medias con letras iguales para un mismo órgano de la planta, no son estadísticamente diferentes (Duncan,  $P > 0.05$ ) entre los tratamientos de  $\psi_0$ .

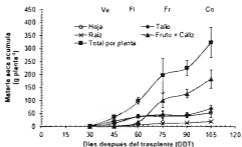


Figura 3. Materia seca acumulada en las diferentes partes de la planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6 durante las etapas fenológicas vegetativa, Ve; floración, Fl; fructificación, Fr; y cosecha, Co, cultivada con solución nutritiva de  $\psi_0$  - 0.072 MPa. Las barras representan el error estándar.

### 4.3. Extracción nutrimental de macronutrientes

La extracción de macronutrientes en la biomasa total y en las diferentes partes que componen la planta de jamaica se presenta en el Cuadro 8. El orden de extracción nutrimental en la biomasa total fue  $N > K > Ca > Mg > P$ . El fruto+cáliz es la parte de la planta que extrajo mayores cantidades de N, P, K y Mg, con valores que representan el 57%, 61%, 47% y 57% respectivamente, de la extracción nutrimental en la biomasa total. La alta extracción de N por el fruto+cáliz ( $5.1 \text{ g planta}^{-1}$ ) puede explicarse porque el contenido de proteína en el cáliz y semillas es alto, con un valor de hasta 10.1 % y 20 % en base a peso seco respectivamente (Fakir *et al.*, 2012). La acumulación máxima de P, K y Mg ocurrió en el fruto+cáliz, siguiendo en orden descendiente tallo, hoja y raíz. En el caso del Ca, su acumulación fue mayor en las hojas con un 51% del total, siguiéndole el fruto+cáliz con 33.7%. Al comparar la extracción nutrimental de P en la biomasa total con respecto a Ca y Mg, se puede apreciar que ambos nutrientes se demandan en mayor cantidad que el P por el cultivo de jamaica. Es de resaltar el hecho que el Ca se requiere 3.4 veces más que el P.

En la Figura 4, se pueden apreciar las curvas de extracción nutrimental de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa total durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo de jamaica. En los primeros 45 ddt de la etapa vegetativa, la tasa de acumulación de nutrientes en la biomasa total fue menor comparado con etapas posteriores (Cuadro 9); mientras que en el periodo de la antesis hasta la etapa de fructificación es donde se presentó un pronunciado incremento en la acumulación de nutrientes y mayores tasas de absorción nutrimental. El potasio fue el nutriente que se acumuló en mayor cantidad durante la etapa de fructificación, lo que es común encontrar reportes en

muchos otros cultivos en donde el órgano aprovechable son los frutos, flores o estructuras de acumulación (Bertsch, 1998; Tagliavini *et al.*, 2004), debido a que este elemento cumple funciones principales en el metabolismo de las plantas, las cuales repercuten en la calidad del fruto (Bugarin-Montoya *et al.*, 2002), como se observa en naranja Navel (Storey y Treeby, 2000), frambuesa roja (Pineda-Pineda *et al.*, 2008), banano 'Dominico' (Castillo *et al.*, 2011) y en híbrido de tomate FB-17 (Quezada-Roldán y Bertsch-Hernández 2013). En el periodo de 75 a 90 ddt, disminuyeron las tasas de absorción nutrimental y por consiguiente, hubo menor acumulación de nutrimentos en la biomasa total (Figura 3, Cuadro 9). Después de los 90 ddt hasta la cosecha, se vuelve a presentar una elevada acumulación de nutrimentos en la biomasa total, lo cual se explica porque durante este periodo ocurrió una nueva rebrotación vegetativa, que más tarde originó más frutos y cálices. De acuerdo a Ramírez-Cortés *et al.*, (2011), hace mención que el cultivo de jamaica al igual que otras especies del género *Hibiscus*, la transición de la floración a la fructificación es gradual, porque las flores jóvenes continúan desarrollándose, después de que las flores viejas ya han formado las cápsulas (Acosta, 1999). Generalmente los agricultores cosechan la jamaica hasta el final del ciclo, lo que origina que se obtengan cálices tanto maduros como inmaduros (Duke, 2003; Morton, 1974). Esto explica el incremento significativo de nutrimento al momento de la cosecha. Este fenómeno puede tener un importante impacto agronómico, en virtud de que mejorando la técnica de cosecha, es posible aprovechar comercialmente los cálices desarrollados; de lo contrario, muchos cálices como resultado de este último rebrote, se cosechan en estado inmaduro.

En suma, durante el desarrollo del cultivo de jamaica, se presentaron dos etapas de mayor acumulación nutrimental, la primera sucedió entre los 61 y 75 ddt; la segunda ocurrió después de los 90 ddt hasta la cosecha, con valores máximos de absorción de nutrimentos de 5.14, 0.85, 3.39, 1.91 y 0.73 kg ha<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente (Cuadro 9). La información generada acerca de la acumulación nutrimental y tasas de absorción de nutrimentos en el cultivo de jamaica a través del tiempo, puede ser empleada en programas de fertirrigación con riego por goteo, en sistemas de cultivo en suelo.

Cuadro 8. Extracción total de N, P, K, Ca y Mg en las diferentes partes de la planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6 al momento de la cosecha de cálices, obtenidos en el tratamiento de solución nutritiva con -0.072 MPa.

Parte de la planta	N	P	K	Ca	Mg
	----- g planta <sup>-1</sup> -----				
Raíz	0.30 d	0.01 d	0.07 d	0.14 c	0.06 d
Hoja	2.20 c	0.16 cd	1.55 cd	2.82 b	0.29 cd
Tallo	1.42 cd	0.43 c	3.08 bc	0.70 c	0.38 c
Fruto + Cáliz	5.31 b	1.00 b	4.31 b	1.86 b	1.00 b
Total	9.24 a	1.62 a	9.03 a	5.52 a	1.75 a

Medias con letras iguales en columna no son estadísticamente diferentes (Duncan, P>0.05).

Cuadro 9. Tasa de absorción de macronutrientes durante el ciclo de vida del cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6, correspondiente al tratamiento de -0.072 MPa.

DDT	N	P	K	Ca	Mg
kg ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>					
15	0.009	0.001	0.006	0.006	0.002
30	0.18	0.01	0.13	0.09	0.02
45	1.58	0.17	1.56	1.06	0.30
60	2.04	0.22	1.91	1.53	0.49
75	2.25	0.77	4.72	2.24	0.71
90	1.13	0.16	0.34	0.54	0.09
105	5.14	0.85	3.39	1.91	0.73

DDT: Días después del trasplante.

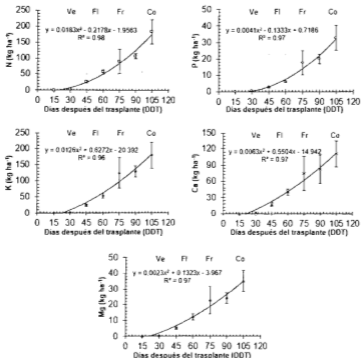


Figura 4. Curvas de extracción de macronutrientos durante las diferentes etapas fenológicas (vegetativa, Ve; floración, FI; fructificación, Fr; y cosecha, Co) en el cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6. Los datos corresponden al tratamiento con  $\psi_0$  de -0.072 MPa.

#### 4.4. Concentración de macronutrientos en la biomasa total

La variación en la concentración nutrimental de N, P, K, Ca y Mg en la biomasa total de las plantas cultivadas con la solución nutritiva de -0.072 Mpa a través del tiempo,

durante las etapas fenológicas de jamaica se presenta en la Figura 5. En todos los casos ocurrió una tendencia de disminución en las concentraciones nutrimentales a lo largo del ciclo de cultivo, lo cual es típico en las especies vegetales, como ha sido descrito por Mills y Benton (2007). Los máximos valores durante el ciclo de crecimiento de las plantas de jamaica fueron para N y K, seguido de Ca, Mg y P. Durante la etapa vegetativa y floración, la concentración de N fue superior al resto de los macronutrientes cuantificados; sin embargo, en la etapa de fructificación y cosecha, la concentración de K fue superior a los demás nutrientes, incluido el N, lo cual demuestra que las cápsulas de las plantas, acumulan mayor cantidad de este nutriente, y coincide con en el período de 75 a 90 ddp, donde se presentó la máxima tasa de absorción de K (Cuadro 9).

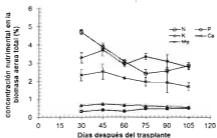


Figura 5. Concentración nutrimental en la biomasa total (%) N, P, K, Ca y Mg, durante el ciclo de vida en plantas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) variedad UAN-6, en el tratamiento de solución nutritiva con  $\psi_0$  de -0.072 Mpa.

#### 4.5. Requerimiento interno nutrimental (RI)

En el Cuadro 10 se presentan los valores del requerimiento interno nutrimental de N, P, K, Ca y Mg, expresado en % de nutrimento en la biomasa total al momento de la cosecha, así como también en kg de nutrimento por tonelada de cáiz seco con un contenido de humedad de 8 %. Dichos valores pueden emplearse para calcular la demanda nutrimental en jamaica de acuerdo al rendimiento máximo alcanzable o rendimiento esperado en una condición agroecológica determinada, como ha sido propuesto por Rodríguez *et al.* (2001) y complementa la información agronómica obtenida hasta el momento (Ottai *et al.*, 2006; Giginyu y Fagbayide, 2009; Oyewole y Mera, 2010; Caro-Velarde *et al.*, 2012; Ruiz-González y Victorino-Ramirez, 2014) para establecer programas de fertilización en el cultivo de jamaica. En este sentido, para calcular una dosis de fertilizante, solo se tendrá que evaluar el suministro edáfico nutrimental del sitio agrícola de interés y considerar la eficiencia de recuperación del fertilizante por el cultivo.



Cuadro 10. Requerimiento interno nutrimental de N, P, K, Ca y Mg en jamaica variedad UAN-6, expresado en % del nutrimento en la biomasa total al momento de la cosecha y kg de nutrimento por tonelada de cáliz cosechado.

Nutrimento				
N	P	K	Ca	Mg
% en la biomasa total				
2.86 ± 0.17*	0.50 ± 0.03	2.80 ± 0.15	1.71 ± 0.22	0.54 ± 0.01
kg t <sup>-1</sup> de cáliz cosechado				
93.1 ± 12.2	16.4 ± 2.4	91.0 ± 12.2	55.7 ± 10.5	17.7 ± 2.3

\*Los valores ± representan el error estándar

Esta información muestra que el requerimiento nutrimental para este cultivo aparentemente es alto, si se compara con otros cultivos por ejemplo con *Capsicum annun* L. el cual posee un requerimiento nutrimental por tonelada de fruto de 7.7, 0.5, 7.64, 1.6 y 0.6 kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente (Valentin-Miguel *et al.*, 2013). Sin embargo, los rendimientos por hectárea de cada uno de estos cultivos son completamente diferentes, ya que en jamaica se puede establecer una meta de rendimiento de cáliz seco de 2.0 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en el caso de chile jalapeño, las metas de rendimiento superan las 40 t ha<sup>-1</sup>. Esto explica la respuesta que se observa en este cultivo al aplicar pequeñas cantidades de fertilizantes.

## V. CONCLUSIONES

Los potenciales osmóticos de la solución nutritiva promovieron diferencias significativas en el rendimiento de cálices secos y acumulación de materia seca en plantas de jamaica. El rendimiento máximo de 1.98 t ha<sup>-1</sup> de cálices secos se obtuvo en el tratamiento de -0.072 MPa y la mayor asignación de materia seca lo constituyó la parte del fruto+cáliz. La extracción nutrimental en la biomasa total fue en el orden N>K>Ca>Mg>P y los valores de requerimiento interno nutrimental obtenidos, permiten estimar la demanda nutrimental de N, P, K, Ca y Mg para distintas metas de rendimiento de cálices secos de jamaica.

## VI. LITERATURA CITADA

- Adams, P. 1994a. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hidroponic systems. Acta Hort. 361:245-257.
- Adams, P. 1994b. Some effects of the environment on the nutrition of greenhouse tomatoes. Acta Hort. 366:405-416.
- Adams, P. and Ho, L.C. 1993. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and the incidence of blossom-end rot. Plant Soil. 154:127-132.
- Aosta A.G. 1999. Aspectos generales del kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), en Cuba. Temas de Ciencia y Tecnología. 7:3-31.
- Alharbi, A.R. 1994. Effect of manipulating nutrient solution salinity on the growth of cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth in NFT. Acta Hort. 361:267-273.
- Alcántar, G.G. y Sandoval, M.V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Chapingo, México. 156 p.

- Arri, M. and Sattary, N. 2004. Mineral precipitation in solution culture. *Acta Hort.* 644:469-478.
- Artrade, M.E. 2014. Densidad de población óptima para la producción de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Acaponeta. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, México.
- Atter, C.J. y Edwards, D.G. 1983. Modern solution culture techniques. p. 94-119. In: Pirson, A. and Zimmermann, M.H. (eds.). *Encyclopedia of Plant Physiology*. Springer Verlag, Berlin.
- Alca-Flores, R., Serrano-Altamirano, V., Navarro-Galindo, S., Ovando-Cruz, M.E., Vásquez-García, E., Barrios-Ayala, A., Michel-Aceves, A.C., Guzmán-Maldonado, S.H. y Otero-Sánchez, M.A. 2014. Variedades mexicanas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) "alma blanca" y "rosalis" de color claro y "cotzaltzin" y "tecoanapa" de color rojo. *Fitotecnia mexicana*. 37:181-185.
- Abufeifa, A. y Moreira, M. 2004. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 32:19-29.
- Babatunde, F.E. and Mofoke, A.L.E. 2006. Performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as influenced by irrigation schedules. *Pakistan Journal of Nutrition*. 5:363-367.
- Bartsch F. (1998) La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Buma, D. 1983. Diagnosis of mineral deficiencies using plant test. p 120-146. In: Pirson, A. and Zimmerman, M.H. (eds.). *Encyclopedia of Plant Physiology*. Springer-Verlag, Berlin.

- Buarín-Montoya, R., Galvis-Spínola, A., Sánchez-García, P. y García-Paredes, D. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra Latinoamericana*. 20:391-399.
- Buarín-Montoya, R. 2002. Simulación de la demanda y suministro edáfico de potasio en tomate. Tesis de Doctorado. Universidad de Colima. Colima, México.
- Buarín-Montoya, R., Virgen-Ponce, M., Galvis-Spínola, A., García-Paredes, D., Hernández-Mendoza, T., Bojórquez-Serrano, I. y Madueño-Molina, A. 2011. Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. *Bioagro*. 23:95-98.
- Cañas, M.F. 1999. Sistemas hidropónicos. p. 223-244. In: Cultivo sin suelo. Cuadrado G.I.M. (eds.). Caja Rural de Almería. Andalucía, España.
- Cao-Velarde, F.J., Machuca-Sánchez, M.L., Flores-Berrios, E.P. 2012. El cultivo de jamaica en Nayarit. Segunda edición. Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, México.
- Capena, O., Rodríguez, A.M. y Sarro, M.J. 1987. Evaluación de los contenidos minerales de raíz, tallo y hoja de plantas de tomate como índices de nutrición. *An. Edafol. Agrobiol.* 46:117-127.
- Cavajal, O., Waliszewski, S. y Infanzón, R. 2006. Los Usos y Maravillas de la jamaica. *La ciencia y el Hombre*. 19:20-25.
- Castillo, G.A.M., Hernández, M.J.A., Avitia, G.E., Pineda, P.J., Valdéz, A.L.A. y Corona, T.T. (2011) Extracción de macronutrientes en banano 'Dominico' (*Musa spp.*). *Oyton* 80:65-72.
- Centreras, G.J.A., Soto, J.R. y Huchin, A.C. 2009. Tecnología para el cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Quintana Roo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto técnico 3:4-6.



- Conillon, P. 1988. Influence of root temperature on tomato growth and nitrogen nutrition. *Acta Hort.* 229:211-218.
- Danmardeh, M. 2012. Effect of mineral and organic fertilizers on the growth and calyx yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). In *African Journal of Biotechnology*. 11:10899-10902.L
- DeKreij, C.J., Jansen, B.J., Van, G. and Van Doesburg, J.D.J. 1992. The incidence of calcium oxalate crystals in fruit walls of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by humidity, phosphate and calcium supply. *Horticultural Science*. 67:45-50.
- Dijk, G. and Schrevens, E. 1998a. Cationic speciation in nutrient solutions as a function of pH. *Plant Nutrition*. 21:861-870.
- Duke J.A., Jobogenschutz, J.M., Ducellier, P.A. Duke. 2003. *Handbook of Medicinal Spices*. CRC Press LLC. New York, USA. 348 p.
- Eharenvba, R.K.A. and Law-Ogbomo, K.E. 2007. Comparative effects of two nitrogen sources on the growth and yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) in the rainforest region: a case study of Benin-city, Edo State, Nigeria. *Benin, Nigeria. Journal of agronomy* 6:142-146.
- Epret, D.L. y Ho, C. 1986. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *Journal of Experimental Botany*. 182:1294-1302.
- E Naim, A.M., Ahmed, S.E., Jabereldar, A.A., Zaied, M.M.B. and Ibrahim, K.A. 2012. Effects of weeds on calcies yeild of *Hibiscus sabdariffa* L. in traditional agricultural sector of Sudan. *Journal of Plant Research*. 2:1-5
- Fikir, M.S.A., Islam, M.M., Islam, A., Islam, F. and Chowdhury, M. M. 2012. Capsule growth and calyx protein content in *Hibiscus sabdariffa* L. var. sabdariffa. *Journal Agrofor. Environ.* 6:1-4.

- Fallas, R., Bertsch, F. y Barrientos, M. 2014. Curvas de absorción de nutrientes en papaya (*carica papaya* L.) cv. "pococi" en las fases de crecimiento vegetativo, floración e inicio de cosecha. *Agronomía Costarricense*. 38:43-54.
- FAO. 2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. FAO, Roma, Italia. 200 p.
- Fwela, C.E., Preciado, R.P. y Benavides, M.A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Agraria Antonio Narro. Torreón Coahuila. 148 p.
- Fires-Macias, A., Miranda-Franco, R.A., Galvis-Spinola, A., Hernández-Mendoza, M.T. y Ramos-Espinoza, G. 2010. Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Latuca sativa*). *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*. 10:83-100.
- Galvis, S.A., Álvarez E.S. and Etchevers B.J.D. 1998. A method to quantify N fertilizer requirement. *Nutrient Cycling in agroecosystems*. 51:155-162.
- García G.E., Leal, P.M. y González, J.E. 2007. Evaluación de dos sistemas hidropónicos (abierto y cerrado) con relación al uso de solución hidropónica reciclada y producción de jitomate de exportación. *Tecnóloga*. 1:54-66.
- Ginyu, M.B and Fagbayide, J.A. 2009. Effect of Nitrogen Fertiliser on the Growth and Calyx Yield of Two Cultivars of Roselle in Northern Guinea Savanna. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 4:66-71
- Gutiérrez, T.J. 2011. Producción Hidropónica de lechuga con y sin recirculación de la solución nutritiva. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Craves, C.J. 1983. The nutrient film technique. *Hort. Rev.* 5:1-44.
- Greenwood, J.D., Cleaver, T.J., Turner, M.K., Hunt, J., Niendorf, K.B. and Loquens, S.M.H. 1980. Comparison of the effects of potassium fertilizer on the yield, potassium content

- and quality of 22 different vegetable and agricultural crops. *Journal of Agricultural Science*. 95:441-456.
- Hissan, F.A.S. 2009. Response of *Hibiscus sabdariffa* L. plant to some biofertilization treatments. *Annals of agricultural Science*. 54:437-446.
- Joes, B.J.J. 1982. Hydroponics: its history and use in plant nutrition studies. *Journal Plant Nutr*. 5:1003-1030.
- Kafafi, U. and Bernstein, N. 1996. Root growth under salinity stress. p 445-451. In: Warsel, Y., Eshel, A. and Kafafi, U. (eds.). *Plant root, the hidden half*. Marcel Dekker, New York.
- Lira, H.A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de Tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana*. 17:221-229.
- Lirios, J. 1998. El cultivo de la jamaica. *Agricultura para el productor diversificado*. 55:9-11.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press. San Diego, USA.
- McCaleb, R. 1996. *Manual de la producción de Roselle (Hibiscus sabdariffa)*. Herb Research Foundation, USA.
- Meza-Chavarría, P. 2012. Guía: flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L) e (*Hibiscus cruentus* Bertol). Asociación para el Desarrollo Eco-Sostenible (ADEES). Chinandega, Nicaragua. 25 p.
- Nils, H.A. and Benton J.Jr. (2007). *Plant Analysis Handbook II: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide*. MicroMacro Publishing. USA. 422 p.
- Nisle, E. 2006. Determinación alométrica entre absorción mineral y biomasa en diferentes especies cultivadas. *Ciencia e investigación agraria*. 33:67-71.

- Molina, E., Salas, R.E. y Castro, A. 1993. Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (*Fragaria x ananasa* cv. Chandler) en Alajuela. *Agronomía Costarricense*. 17:67-73.
- Morby, J. and Graves, C.J. 1980. The effects of root and air temperature on the growth of tomatoes. *Acta Hort.* 98:29-43.
- Morard, P.A., Pujos, A.B. and Bertoni, G. 1996. Effect of temporary calcium deficiency on tomato growth and nutrition. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 19:115-127.
- Morton J. 1974. Renewed interest in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), the long forgotten "Florida Cranberry". *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 87:415-425.
- NICAEXPORT. 2007. Estudio de inteligencia de mercados flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) para México, Estados Unidos, Dinamarca y Costa Rica. Managua, Nicaragua. 111 p.
- Núñez, B.A. 1991. La fisiología del frijol bajo condiciones de sequía. *Fitotecnia Mexicana* 14:269-275.
- Nurland, E.V. 2000. Organic farming in the tropics and subtropics. *Neture* vol. 170. Primera edición USA.
- Opzco-Vidal J.A., Palomo-Gil A., Gutiérrez-Del Río E., Espinoza-Banda A. y Hernández-Hernández V. 2007. Dosis de nitrógeno y su efecto en la producción y distribución de biomasa de algodón transgénico. *Terra Latinoamericana*. 26:29-35.
- Ortiz, S.C.A. 1997. Fundamentos de pedología. Colegio de Postgraduados. Instituto de recursos naturales. Programa de edafología. Montecillos Estado de México. 85 p.



- Olana, R.J.M. 2011. Comparación de sistemas con y sin recirculación de la solución nutritiva en un cultivo hidropónico de jitomate. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Olai, M.E.S., Aboud, K.A., Mahmoud, I.M. and El-Hariri, D.M. 2006. Stability analysis of roselle cultivars (*Hibiscus sabdariffa* L.) under different nitrogen fertilizer environments. World Journal of Agricultural Sciences. 2:333-339.
- Olawole, C.I. and Mera, M. 2010. Response of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) to rates of inorganic and farmyard fertilizers in the Sudan savanna ecological zone of Nigeria. Africal Journal of Agricultural Research. 5:2305-2309.
- Pineda-Pineda, J., Avitia-García, E., Castillo-González, A.M., Corona-Torres, T., Valdez-Aguilar, L.A. y Gómez-Hernández, J. 2008. Extracción de macronutrientes en frambueso rojo. Terra Latinoamericana. 26:333-340.
- Pijos, P. and Morard, P. 1997. Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. Plant Soil. 189:189-196.
- Quezada-Roldán, G., y Bertsch-Hernández, F. 2013. Obtención de la curva de extracción nutrimental del híbrido de tomate FB-17. Terra Latinoamericana. 31:1-7.
- Ramírez-Cortés, B., Caro-Velarde, F. 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. Revista Chapingo. Serie horticultura. 17:19-31.
- Ramos, A.K.P. y Meza, Z.K.S. 2013. Elaboración de un yogur estandarizado con *Hibiscus sabdariffa* L (flor de Jamaica) con propiedad funcional (antioxidante). Tesis de licenciatura. Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia.

- Rish, H.M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Editorial Mundi-Prensa. España.
- Roades, J.D. 1993. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. In Sparks D.L. advances in agronomy. 201-251.
- Ricón, S.L. 1997. Características y manejo de sustratos inorgánicos en fertirrigación. Acta Hort. 1:28-45
- Rodríguez, S.J. (1990). Fertilización de Cultivos, Un Método Racional. Departamento de Ciencias vegetales. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 406 p.
- Rodríguez, S.J., Pinochet, T.D. y Matus, B.F. (2001). Fertilización de los Cultivos. LOM Ediciones. Santiago de Chile. 117 p.
- Ricón, L., Sáez, J., Pérez, J., Pellicer, C. y Gómez, M. 1998. Crecimiento y absorción del Melón bajo invernadero. Investigación agraria en producción y protección vegetal. 13:111-120.
- Ruiz-González, R.O. y Victorino-Ramírez, L. 2014. Respuesta del policultivo Jamaica-frijol-malz a tres tratamientos de fertilización en Villaflores, Chiapas, México. Revista *Ra Ximhai*. 10(6): 45-53.
- Sancho, H. 1999. Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programa de fertilización. Instituto de la Potasa y el fósforo. Informaciones Agronómicas. 36:11-13.
- SAS Institute (2009) SAS/STAT® 9.2 Userss Guide Release. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 60 p.
- Schwarz, M. 1995. Soilless culture management. Advanced series in Agricultural Sciences 24. Springer-Verlag. Berlin, Germany.
- Segal, B.G. 1989. Chemistry: Experiment and Theory. Wiley. Nueva York, EEUU. 1008 p.

- S.I.P., Sistema de Información Agropecuaria. (2015) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Smith, G.S., Johnston, C.M., Cornforth, I.S. 1983 Comparison of Nutrient Solutions for Growth of Plants in Sand Culture. *New Phytol.* 94 537-548.
- Sneevelde, C. y Voogt, W. 1990. Response of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.) to an unequal distribution of nutrient root environment. M. L. Van Beusichem (ed) *Plant nutrition-physiology and applications*. p. 509-514.
- Seiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil.* 15:134-154.
- Seiner, A.A. 1966. The Influence of the Chemical Composition of a Nutrient Solution on the Production of Tomato Plants. *Plant Soil.* 24:434-466.
- Seiner, A.A. 1968. Soilless culture. In: *Proceeding 6th Colloq. Int. Potash Inst. Florence, Italy.* p. 324-341.
- Seiner, A.A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. 43-53. In: *Proceedings 3rd International Congress on Soilless Culture. Sassari, Italy.* p. 43-54.
- Seiner, A.A. 1984. The Universal Nutrient Solution. In: *Proceeding 6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen. The Netherlands.* p. 633-650.
- Sprey, R. and Treeby, M.T. 2000. Seasonal changes in nutrient concentrations of navel orange fruit. *Scientia Horticulturae.* 84:67-82.
- Tigliavini, M., Balde, E., Nestby, R., Raynal, C., Lieten, P., Salo, T., Pivot, D., Lucchi, P., Baruzzi, G. and Faedi, W. 2004. Uptake and partitioning of major nutrients by strawberry plants. *Acta Horticulturae.* 649:197-199.

- Trbe, I., Szabó, Z.S. and Kappel, N. 2006. Macronutrient accumulation in green pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by different production Technologies. International Journal of Horticultural Science. 12:13-19.
- Tral, F.J.R., Pérez, G.A., Carreón, A.J., Martínez, R.J.L., Rodríguez, R.R. y Casas, S.J.F. 2005. Niveles de fertilización orgánica mediante vermicomposta en el cultivo de la jamaica. XI semana de investigación científica en el CUCBA Universidad de Guadalajara.
- Urrestarazu, G.M. y Salas S.C. 2004. Sistemas con sustrato y recirculación de la disolución nutritiva. p. 362-420. In: Tratado de cultivo sin suelo. 2ª Ed. Urrestarazu, G.M. (eds.). Mundi Prensa S. A. Madrid, España.
- Urrestarazu, G.M. 2000. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo, p. 51-94. In: Manual de cultivos sin suelo 5. Urrestarazu, G.M. (eds.). Mundi-Prensa. España.
- Valentín-Miguel, M.C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J. E. y Pérez-Grajales, M. 2013. Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura. 19:71-78.
- Vargas-Canales, J.M., Castillo-González, A.M., Pineda-Pineda, J., Ramírez-Arias, J.A. y Avitia-García, E. 2014. Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. Revista Chapingo serie horticultura. 20:71-88.
- van Os, E.A. 2009. Comparison of Some Chemical and Non-Chemical Treatments to Disinfect a Recirculating Nutrient Solution. Acta Hort. 843:229-234.