SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Tecnológico Nacional de México

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE GENOTIPOS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

TESIS

Que presenta:

Ligia Jannet Vargas Loeza

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Esaú Ruíz Sánchez

Conkal, Yucatán, México
Noviembre, 2017

SEP

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México a 27 de noviembre de 2017.

El comité de tesis del candidato a grado: Ligia Jannet Vargas Loeza, constituido por los CC. Dr. Esaú Ruíz Sánchez, MC. Alfonzo Pérez Gutiérrez, Dr. René Garruña Hernández y MC. Gaspar Pereyda Pérez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE GENOTIPOS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Esaú Ruíz Sánchez
Director de Tesis

MC. Alfonzo Pérez Gutiérrez
Asesor de Tesis

Dr. René Garruña Hernández
Asesor de Tesis

MC. Gaspar Pereyda Pérez
Asesor de Tesis

27 /noviembre/2017

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Ligia Jannet Vargas Loeza

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por el todo el amor y el regalo de la vida. No caben las palabras para expresar mi más sincero agradecimiento, por la salud, por la fuerza, el valor y la sabiduría adquirida en este mágico viaje, todo se puede en esta vida solamente gracias a ti.

A mis padres y mis hermanos que amo con todo mi corazón y que llenan de felicidad mis días, que me hacen seguir adelante y ser mejor para ustedes hoy y siempre.

A mi compañero de vida que amo con todo mi corazón, por estar conmigo siempre, por ser parte de este largo y sumamente enriquecedor viaje... y lo que nos falta por recorrer juntos.

A mis amigas y amigos de la vida, por hacer divertido este viaje, todo se puede si uno quiere y sin la necesidad de apartarse de la fiesta y las maravillas de la vida.

Absolutamente a todos mis compañeros de la maestría generación 2015 – 2017, por todas las buenas y malas anécdotas, a pesar del humor y forma de ser de cada quién me la pase muy bien de principio a fin y aprendí mucho de ustedes, les deseo felicidad en sus vidas.

A mi comité de asesores: MC. Alfonzo Pérez, Dr. Esaú Ruíz, Dr. René Garruña y al MC. Gaspar Pereyda, por sus valiosas aportaciones a mi trabajo de investigación, por su tiempo y dedicación, gracias a sus enseñanzas aprendí a formarme y ser mejor en toda mi estancia de posgrado.

A todos mis profesores que me dieron clase en la maestría, muchísimas gracias por compartir su valioso conocimiento, es lo más preciado y enriquecedor de toda mi estancia en el posgrado y lo tendré siempre en mi memoria, aprendí y me maravillé de todo lo que son capaces de hacer las plantas y el suelo.

A la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Conkal por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el otorgamiento de la beca nacional y de apoyo a mujeres indígenas para la adquisición de equipo de cómputo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE PROPIEDAD ..... **iii**
AGRADECIMIENTOS ..... **iv**
ÍNDICE DE CONTENIDO ..... **v**
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS ..... **vi**
RESUMEN ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL **1**
1.1. INTRODUCCIÓN 1
1.2. ANTECEDENTES 3
Diversidad de chiles en México 3
El género *Capsicum* 4
Genotipos criollos 6
Nutrición 7
Fertirrigación 8
Solución nutritiva 10
1.3. OBJETIVOS 13
1.3.1. General 13
1.3.2. Específicos 13
1.4. HIPÓTESIS 14
1.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 15
1.6. LITERATURA CITADA 16
II. CAPÍTULO 2. EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN, SOBRE EL CRECIMIENTO, CALIDAD DE FRUTO Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE *Capsicum chinense* Jacq. 23
2.1. RESUMEN 23
2.2. ABSTRACT 24
2.3. INTRODUCCIÓN 25
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS 27
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 31
2.6. CONCLUSIONES 38
2.7. LITERATURA CITADA 39

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Capítulo 1.

Cuadro 1. Programa de nutrición para chile habanero propuesto por Soria *et al*., 2002. 8

Cuadro 2. División de elementos esenciales para las plantas. 9

Cuadro 3. Elementos del suelo esenciales para las plantas y su forma iónica en la que son aprovechados por las plantas. 9

Cuadro 4. Solución nutritiva universal de Steiner en mEq L^{-1} 10

Figura 1. Triángulo de equilibrio iónico propuesto por Steiner, expresado en mEq L^{-1} 11

Capítulo 2.

Cuadro 1. Concentración de aniones y cationes aplicados a los tratamientos en mEq L^{-1} 28

Cuadro 2. Conductividad eléctrica, potencial hídrico e intercambio de gases de las hojas de genotipos de chile habanero (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar) sometidos a dos soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner). 32

Cuadro 3. Contenido nutrimental de suelo y hoja de las interacciones: soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner) y genotipos (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar) de chile habanero a los 140 dds. 33

Figura 1. Crecimiento de la planta(a y b), rendimiento (c) y número de frutos por planta (d) de las interacciones: soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner) y genotipos (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar) del ciclo de cultivo de chile habanero. Medias identificadas con barras ± error estándar, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, α=0.05). 35

Figura 2. Diámetro de fruto (a), longitud de fruto (b), peso de fruto (c) y capsaicina total (d) de las interacciones: soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner) y genotipos (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar) del ciclo de cultivo de chile habanero. Medias identificadas con barras ± error estándar, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, α=0.05). 37

RESUMEN

Uno de los problemas que restringen y limitan la productividad y el rendimiento del chile habanero, además de las plagas y enfermedades, son el mal manejo del agua y los nutrientes. Con base a lo anterior se propuso un estudio para la evaluación de dosis de fertilización sobre el comportamiento productivo de genotipos de chile habanero a campo abierto. El diseño fue de bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2, factor "A" las soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner) y factor "B" los genotipos (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar), con un total de 4 tratamientos. Se evaluó variables fisiológicas (tasa fotosintética, transpiración, conductancia estomática, uso eficiente del agua, potencial hídrico de suelo y foliar), nutrimentales (contenido nutrimental del suelo y foliar) y agronómicas (crecimiento de la planta, rendimiento y calidad del fruto). El análisis de varianza dio como resultado diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la interacción, siendo la dosis de fertilización propuesta por Soria y la variedad experimental H-224 las que presentaron un intercambio de gases más eficiente, donde la relación de la conductividad eléctrica (0.55 dS m^{-1}) y el potencial hídrico (suelo -0.40 Mpa y hoja -1.79 Mpa) presentan los valores bajos, dando como resultado una óptima fotosíntesis (25.77 μmol m^{-2} s^{-1}), una mejor calidad del fruto y mayor rendimiento (1047.96 g $planta^{-1}$). Así, el contenido nutrimental de suelo y foliar no presentó diferencias significativas entre tratamientos. La variedad H-224 mostró diferencia significativa entre soluciones, y por su parte la variedad Jaguar demostró el menor rendimiento (761.80 g $planta^{-1}$).

Palabras clave: chile habanero, productividad y soluciones nutritivas.

ABSTRACT

The improper manage of irrigation and supply of nutriments are the main constrains in the production of habanero pepper. The present study was carried out to evaluate the effects of two fertilization strategies on two genotypes of habanero pepper under field conditions. The experiment wa set in a randomized block 2 x 2 factorial design. The factor "A" consisted of two nutriment solutions (T1 Soria and T2 Steiner) and factor "B" consisted of two pepper genotypes (experimental variety H-224 and comercial variety Jaguar), which generated a total of 4 treatments. The effects of treatments were evaluated on physiological variables (photosyntetic rate, transpiration, stomatal conductance, water use efficiency, soil water potential and plant water potential), nutrimental variables (mineral element contents in soil and leaves) and agronomic variables (plant growth, fruit yield and fruit quality). Analysis of variance showed significant effects ($P \leq 0.05$) of the interactions between T1 Soria and the variety H-224, where plants had more efficient gas exchange, and the electric conductivity (0.55 dS m^{-1}) as well as the water potentials (soil, -0.40 Mpa; leaves, -1.79 Mpa) showed the lowest values. These conditions in soil and plants resulted in a optimus photosyntetic rate (25.77 μmol m^{-2} s^{-1}) and higher fruit yield (1047.96 g $plant^{-1}$). The content of mineral elements in soil and leaves were not different among treatmets. The varity H-224 had differential response to the fertilization strategy. The variety Jaguar showed the lowest fruit yield (761.80 g $plant^{-1}$).

Keywords: habanero pepper, fruit yield, nutriment solutions.

I. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es uno de los principales cultivos de la Península de Yucatán y se ha convertido en un producto representativo que identifica a esta región. Las características de calidad del fruto como son el sabor, aroma, pungencia y color lo distinguen de los frutos producidos en otras regiones del país (Trujillo y Pérez, 2004). En el 2016 Yucatán contaba con 386 hectáreas cosechadas y una producción de 2,890 toneladas (SIAP, 2016).

Debido a sus características de vida de anaquel y picor el *Capsicum chinense* Jacq. producido en la Península de Yucatán se considera de calidad superior a los cultivados en otras partes del mundo (Medina-Lara *et al*., 2008), región que obtuvo el certificado de Denominación de Origen. Se ha demostrado que existe una relación entre genotipo-ambiente que puede afectar el contenido total de capsaicinoides en especies del género *Capsicum* (Zewdie y Bosland, 2000; Harvell y Bosland, 1997), por lo que las condiciones ambientales propias de la Península de Yucatán conceden características organolépticas superiores a las variedades de *Capsicum chinense* Jacq (Borges-Gómez *et al*., 2010).

En la mayoría del área destinada al cultivo de chile habanero se utilizan materiales criollos; sin embargo, actualmente se emplean variedades mejoradas de polinización libre y en menor proporción variedades híbridas desarrolladas por empresas transnacionales (Ramírez *et al*., 2012). Una condición para poder ostentar la denominación de origen de chile habanero de la Península de Yucatán, es que las nuevas variedades deben originarse de materiales criollos proveniente del área geográfica señalada en la declaración, que no contengan genes de otras especies y que no sean genéticamente modificados (Diario Oficial de la Federación, 2010).

Sin embargo, no obstante la alta demanda, aún existen problemas que restringen la producción, además de las plagas y enfermedades, el mal manejo del agua y los nutrientes son factores que limitan la producción de este cultivo. El uso inadecuado de fertilizantes es un factor que influye en el deterioro del ambiente. Por una parte, la dosis deficitaria desde el punto de vista nutrimental genera bajos rendimientos; mientras que una excesiva genera altos costos económicos y ambientales. Por ello, durante las últimas décadas, se ha impulsado el

enfoque de la fertilización balanceada; la cual consiste en suministrar nutrimentos en la cantidad y el momento en que el cultivo lo requiere (Ryan, 2008). Lo anterior se logra al aplicar sólo la cantidad de nutrimento que requiere la planta para realizar sus funciones metabólicas (Volke *et al*., 1998). Por otra parte, González *et al*. (2016) reportan que el uso eficiente de nutrientes se afecta con altas dosis de fertilización y textura del suelo, en este sentido, es importante y necesario conocer las eficiencias para cada cultivo o variedad por zona.

Aunque el cultivo de chile habanero tiene importancia económica, es escasa la información con respecto al uso de soluciones nutritivas. En la medida de lo posible que se cuente con esta información, será viable adecuar los criterios de fertilización que favorezcan la expresión de rendimiento del cultivo y que permita, a la vez, hacer más eficiente el uso de los recursos suelo, planta, fertilizante y ambiente de que se dispone (Pineda-Pineda *et al*., 2008; Castro *et al*., 2000; Galvis *et al*., 1998).

Con base a lo anterior se estableció el presente trabajo para evaluar la respuesta del efecto de dos dosis de fertilización en la productividad de genotipos de *Capsicum chinense* Jacq. en condiciones de campo abierto.

1.2. ANTECEDENTES

Diversidad de chiles en México

La tradición del consumo de chile en México ha perdurado desde tiempos prehispánicos y forma parte de la dieta diaria de los mexicanos, junto con los productos derivados de maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita pepo* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cacao (*Theobroma cacao* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Los habitantes de Mesoamérica siempre han comido chile por el placer de su sabor y picor (Sánchez, 2006). En Yucatán el maíz, frijol, calabaza y chile continúan siendo el eje de la subsistencia alimentaria de la población campesina actual (Latournerie *et al*., 2011).

En México, los tipos de chile más sembrados son serrano, de árbol, jalapeño, guajillo pasilla, ancho, piquín, habanero y manzano (Laborde y Pozo, 1984; Hernández *et al*., 1999). Sin embargo, se desconoce la distribución geográfica precisa y no se ha estudiado la diversidad genética de un conjunto de chiles nativos.

En este contexto, México posee una gran cantidad de recursos fitogenéticos de *Capsicum*, existe una gran diversidad de chiles cultivados y silvestres en una amplia gama que va desde muy picantes hasta las variedades dulces con una distribución desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm (Pozo *et al*., 1991). Sin embargo, no existe un conocimiento amplio de este germoplasma ni tampoco trabajos de valoración morfológica, fisiológica, recolección de la diversidad de chiles, entre otros.

La diversidad fitogenética es amenazada por la “erosión genética”, un término acuñado por los científicos para designar la pérdida de genes individuales y de combinaciones de genes, como los encontrados en variedades adaptadas localmente (Latournerie *et al*., 2002; FAO, 2010). La causa principal de la erosión genética es el desplazamiento de los cultivares nativos por cultivos de especies diferentes (FAO, 1996; FAO, 2013), y también se debe a la pérdida acelerada de los sistemas tradicionales agrícolas y de las políticas de modernización del campo en el medio rural (Berretta *et al*., 2010), por lo que resulta de suma importancia la preservación de estos recursos fitogenéticos.

La conservación de los recursos fitogenéticos tiene por objetivo preservar la variación genética entre y dentro de poblaciones de especies particulares, ya sea de forma *in situ* o *ex situ* (Rivas, 2001; Vallejo y Estrada, 2002). El desarrollo de nuevas variedades y sistemas de cultivo que se adapten a las condiciones ambientales y socioeconómicas más recientes será fundamental para limitar la pérdida del rendimiento en algunas regiones y para aprovechar las nuevas oportunidades en otras (FAO, 2013). Los programas de mejoramiento genético permiten el desarrollo de plantas que posean mayores resistencias a plagas y enfermedades, así como la expresión de genes deseables en la progenie, lo cual se traduce en un mejor rendimiento por planta (Villanueva-Veruzco, 2013).

El género *Capsicum*

El centro de origen de *Capsicum* spp es América del Sur (Loaiza-Figueroa *et al*., 1983; Hernández *et al*., 1999; Milla, 2006). El número de especies silvestres que comprende el género *Capsicum* es de 20 a 23 (Eshbaugh, 1983; Morán *et al*., 2004; Milla, 2006). Otros señalan que son alrededor de 27 ó 30 (Loaiza-Figueroa *et al*., 1983; Hernández *et al*., 1999), y de ellas son solo cuatro o cinco las especies domesticadas de chile que se cultivan en el mundo.

México, como centro de domesticación, cuenta con las cinco especies cultivadas: *C. annuum* var. annuum, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. baccatum* var pendulum, y la semidomesticada *C. frutescens*, y la silvestre *C. annuum* var. glabriusculum (Loaiza-Figueroa *et al*., 1983; Morán *et al*., 2004; Milla, 2006). En la República Mexicana, es posible encontrar poblaciones silvestres de *C. annuum* y *C. frutescens*, que presentan gran variabilidad morfológica y genética (Hernández *et al*., 1999), y las especies *C. ciliatum* y *C. lanceolatum*. *Capsicum ciliatum* se encuentra en todo el país, con excepción del Noroeste, mientras que *C. lanceolatum* ha sido reportada únicamente en los estados de Chiapas y Veracruz (Hernández-Verdugo *et al*., 1998).

Los frutos de chile (*Capsicum* spp.) son relevantes en la alimentación humana y se consumen en fresco y como condimento, así mismo, son apreciados por sus características organolépticas como sabor, aroma, color y más importante aún el picor o escozor (Canto-Flick *et al*., 2008; Borges-Gómez *et al*., 2010). La planta sintetiza y acumula capsaicinoides, un grupo de alcaloides responsables del picor y ubicados principalmente en el tejido de la placenta adyacente a las semillas (Ben-Chaim *et al*., 2006). Su contenido depende del

genotipo, la madurez del fruto y las condiciones de cultivo (Zewdie y Bosland, 2000). Los capsaicinoides también poseen propiedades analgésicas, anti-inflamatorias, antioxidantes e incluso anticancerígenas al inhibir el crecimiento dependiente de andrógenos en células cancerígenas de seno, colon, adenocarcinoma gástrico y de próstata (Djamgoz e Isbilen, 2006; Mori *et al*., 2006). Por lo anterior mencionado, son de importancia económica para México, no solo por su uso en platillos típicos de la gastronomía mexicana, sino también por su uso en la industria farmacéutica, de armas y recubrimientos (Cisnero-Pineda *et al*., 2007; Salazar y Silvia, 2004).

Para el año 2012, la superficie cosechada a nivel nacional fue de 913.84 ha, con una producción de 9, 073 t. El 93% de la superficie cosechada y 92.3% de la producción nacional se concentró en el Sureste (Veracruz, Chiapas, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo y Campeche) (SIAP, 2013). Los tres principales estados productores de chile habanero son: Yucatán, Campeche y Quintana Roo, con una producción de 1879.51, 708.95 y 549.45 t. sucesivamente (SIAP, 2014).

En la Península de Yucatán se cuenta con una gran diversidad de fenotipos criollos de chile (Latournerie *et al*., 2002), los cuales se identifican de acuerdo a los caracteres del fruto y se han conservado de generación en generación por su adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la zona y bajo un manejo de agricultura tradicional, por lo que presentan buenos atributos como son tolerancia a plagas y enfermedades, rusticidad, además del rol que juegan en platillos regionales o por sus usos medicinales (Latournerie *et al*., 2001). Sin embargo, esta riqueza sufre una fuerte "erosión genética" como consecuencia de la pérdida acelerada de los sistemas tradicionales agrícolas y de las políticas de modernización del medio rural (Latournerie *et al*., 2002; Berretta *et al*., 2010). En Yucatán, el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es el más importante, seguido del dulce y el xcat'ik (*Capsicum annuum* L.) (Latournerie *et al*., 2002; Ix-Nahuat *et al*., 2013).

En el Estado de Yucatán, México, el contenido de capsaicinoides en los morfotipos de chile nativos de las especies C. chinense y C. annuum varía de 1000 a más de 235 000 USP (Alpizar *et al*., 2002; Cázares *et al*., 2005; Casanova *et al*., 2006). Tal variación estaría determinada por el genotipo, las condiciones climáticas y las prácticas de cultivo en cada localidad, asociadas a su vez con la selección, multiplicación e intercambio tradicional de

semillas, así como con el uso culinario de cada tipo de chile, pues los consumidores identifican características organolépticas específicas.

Capsicum chinense es una especie comúnmente cultivada en el Caribe; se ha sugerido que su introducción en las islas del Caribe se debió a migraciones indígenas de agricultores y alfareros procedentes de Sudamérica y pertenecientes a grupos arahuacos (Bosland and Votava, 2000; González *et al*., 2010). Ante la falta de evidencia arqueológica o registros, se cree que fue introducido a la península proveniente de Cuba (Soria *et al*., 2002). El chile habanero ha sido cultivado en la península de Yucatán, México y en Belice, sus frutos al madurar pueden ser de color amarillo, naranja o rojo (Bosland and Votava, 2000). Es uno de los principales cultivos de la Península de Yucatán y se ha convertido en un producto representativo que identifica a esta región, las características de calidad del fruto como son el sabor, aroma, pungencia y color lo distinguen de los frutos producidos en otras regiones del país (Trujillo *et al*., 2004), alcanzando gran importancia económica para los productores de hortalizas (Ruíz-Lau *et al*., 2011). Adicionalmente, la península de Yucatán cuenta con la denominación de origen del chile habanero, por su adaptación a las condiciones edafo-climáticas de la región (DOF, 2010). En el 2013 Yucatán contaba con 170 hectáreas cosechadas de y una producción de 1826 toneladas (SIAP, 2013).

Genotipos criollos

En la mayoría del área destinada al cultivo de chile habanero se utilizan materiales criollos; sin embargo, actualmente se emplean variedades mejoradas de polinización libre y en menor proporción variedades híbridas desarrolladas por empresas transnacionales (Ramírez *et al*., 2012) .

Dentro de los sistemas de producción de alta tecnología, el empleo de genotipos mejorados resulta indispensable para asegurar mayor producción y calidad de fruto. Una condición para poder ostentar la denominación de origen de chile habanero de la Península de Yucatán, es que las nuevas variedades deben originarse de materiales criollos proveniente del área geográfica señalada en la declaración, que no contengan genes de otras especies y que no sean genéticamente modificados (Secretaría de Economía, 2012).

El uso de variedades mejoradas de chile con características sobresalientes aunado a las políticas de modernización del campo rural está desplazando a los cultivos criollos de la

Península de Yucatán, poniendo en riesgo la enorme y rica diversidad genética que aún existe (Trujillo-Aguirre *et al*., 2005; Berretta *et al*., 2010).

Actualmente se han desarrollado algunas variedades mejoradas de chile habanero (Tut *et al*., 2013); sin embargo, la variedad "Jaguar" es la única que se ha distribuido en más del 50% de la superficie cultivada en la costa del Golfo de México y la Península de Yucatán (Ramírez *et al*., 2012), siendo la variedad más sembrada en todo el sureste mexicano.

Los agricultores son quienes conservan los genotipos criollos de chile bajo un sistema de agricultura tradicional, la cual depende en gran medida de las condiciones ambientales de la zona agrícola y el área en donde se establezcan las parcelas de producción (Lucio *et al*., 1998), para que esta actividad sea rentable se deben de utilizar variedades con alta demanda en el mercado. Los genotipos locales presentan una riqueza genética que les permite adaptarse al ambiente y éstas a su vez son objeto de interés en el mejoramiento genético para el desarrollo de variedades mejoradas (Berretta *et al*., 2010). En el Instituto Tecnológico de Conkal se han realizado colectas de chile habanero locales y en estudios de caracterización fenotípica y agronómica se han identificado materiales con potencial agronómico (Ix-Nahuat *et al*., 2013; Latournerie-Moreno *et al*., 2015). Estos materiales fueron sometidos a mejoramiento genético vía selección masal, generando variedades experimentales, por otro lado, las variedades de una misma especie pueden presentar diversas respuestas morfológicas y fisiológicas en respuesta a los factores ambientales (Salisbury y Ross, 2000).

Nutrición

Una nutrición adecuada contribuye a un buen desarrollo en la planta, ayudan a la conservación de los nutrientes del suelo y hacen que los cultivos dejen mayores ganancias por el alto rendimiento que se puede obtener. Es de suma importancia efectuar un análisis de suelo en el área destinada para la siembra del cultivo, con lo cual se puede determinar el contenido nutritivo del mismo y la determinación de la dosis o cantidad de nutrientes que necesita el cultivo (Steiner, 1984).

El requerimiento de nutrientes que se recomienda por ciclo de cultivo de chile habanero es 125 kg de N, 100 kg de P y 150 kg de K (Cuadro 1), esto para obtener rendimientos promedio por hectárea de 18 t en suelos pedregosos o rojos (0.9 kg planta $^{-1}$) (Soria *et al*., 2002). Según Prado (2006), el chile habanero necesita 250 kg de N, 100 kg de

P, 300 kg de K, 200 kg de Ca y 100 kg de Mg, esto por hectárea para todo el ciclo de producción.

Cuadro 1. Programa de nutrición para chile habanero propuesto por Soria *et al*., 2002.

Etapas	Relación			No. de fertirriegos	Unidades de nutrientes por ha $^{-1}$			Unidades de nutrientes por ha $^{-1}$ por riego (20 000 plantas)		
	N	P	K		N	P	K	N	P	K
I. Trasp. + 20 días	2	1	1	6	31.25	16.67	16.67	5.21	2.78	2.78
II. 20 + 30 días (55)	3	1	2	12	46.88	16.67	33.33	3.91	1.39	2.78
III. 55 + 30 días (85)	2	3	2	10	31.25	50.00	33.33	3.13	5.00	3.33
IV. 85 + 60 días (145)	1	1	4	28	15.63	16.67	66.67	0.56	0.60	2.38
TOTAL	8	6	9	56	125	100	150			

Las formas de aplicación de fertilizantes pueden ser:

- al suelo
- al follaje (foliares)
- con el agua de riego: fertirriego
- sin suelo: hidropónico

Fertirrigación

Fertirrigación o fertigación, son los términos para describir el proceso por el cual los fertilizantes son aplicados junto con el agua de riego, con el fin de infiltrarlo en el suelo. Este método es un componente de los modernos sistemas de riego a presión como: aspersión, microaspersión, pivote central, goteo, exudación, etc. Con esta técnica, se puede controlar fácilmente la parcialización, la dosis, la concentración y la relación de fertilizantes (Sánchez, 2000).

De todos los elementos químicos conocidos, solamente 17 se consideran esenciales para las plantas, ya sea porque forman parte de sus estructuras o porque están involucrados en algún proceso metabólico (Salisbury y Ross, 2000). De estos 17 elementos unos los requieren en grandes cantidades (macroelementos) y otros en cantidades pequeñas (microelementos); tres elementos de los elementos esenciales son atmosféricos (C, O, H) y 14 se encuentran en el suelo (Cuadro 2).

Cuadro 2. División de elementos esenciales para las plantas.

División	Elemento químico
Macroelementos	Carbono, Oxígeno, Hidrógeno, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre
Microelementos	Cloro, Hierro, Manganeso, Zinc, Boro, Cobre, Molibdeno y Níquel

Todos los elementos nutritivos esenciales para la planta son tomados o asimilados en forma de iones. Estos iones pueden ser positivos (cationes) o negativos (aniones). En el cuadro 3 se muestra el símbolo de los elementos químicos contenidos en el suelo y la forma iónica en que son asimilados por la planta (Salisbury y Ross, 2000).

Cuadro 3. Elementos del suelo esenciales para las plantas y su forma iónica en la que son aprovechados por las plantas.

Elemento químico	Símbolo químico	Forma iónica
Nitrógeno	N	NH_4^+, NO_3^-
Fósforo	P	$H_2PO_4^-$
Potasio	K	K^+
Calcio	Ca	Ca^{2+}
Magnesio	Mg	Mg^{2+}
Azufre	S	SO_4^{2-}
Hierro	Fe	Fe^+
Manganeso	Mn	Mn^{2+}
Zinc	Zn	Zn^{2+}
Boro	B	$B_4O_7^{2-}$
Cobre	Cu	Cu^{2+}
Molibdeno	Mo	MoO_4^{2-}
Cloro	Cl	Cl^-
Níquel	Ni	Ni^{2+}

Solución nutritiva

Aun cuando en la actualidad no existe información suficiente para determinar soluciones nutritivas estandarizadas por especies, variedades, estados de desarrollo, condiciones climáticas o métodos de cultivo, y tal vez esta información nunca exista debido a la gran variabilidad de los factores de producción, gracias a la gran capacidad de adaptación de las plantas a diferentes concentraciones de los elementos nutritivos, es posible diseñar soluciones nutritivas que permitan un adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas. De los aspectos más importantes que tienen que considerarse a la hora de definir una solución nutritiva, están los económicos y los ligados a la productividad. Existen soluciones nutritivas "tipo" que aparecen en la bibliografía tradicional y han sido aportadas por autores con gran prestigio en el campo de la hidroponía que pueden servir de guía, pero para ello es necesario hacer ajustes dependiendo de la especie a cultivar así como de las condiciones del ambiente de cultivo (Steiner, 1984).

El precursor de la investigación en soluciones nutritivas es Abram A. Steiner, cuya recomendación se conoce como solución nutritiva universal de Steiner, la cual está expresada en mEq L^{-1} (Steiner, 1984) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Solución nutritiva universal de Steiner en mEq L^{-1}.

Aniones	mEq L^{-1}	Cationes	mEq L^{-1}
NO_3^-	12	K^+	7
PO_4^-	1	Ca^{2+}	9
SO_4^{2-}	7	Mg^{2+}	4
Total	20	Total	20

La concentración ideal de nutrientes en una solución no es absoluta, está dada por un intervalo entre la cantidad mínima que necesita estar contenida para que la planta pueda aprovecharlo y la cantidad máxima después de la cual el nutriente empieza a presentar síntomas de toxicidad. Cualquier elemento puede convertirse en tóxico para la planta si su concentración en la solución del suelo es alta, o si se encuentra en desequilibrio con otros elementos, por eso es necesario analizar el contenido de nutrientes absoluto (cantidad), así como las proporciones relativas en

las que se encuentran en la composición final de la solución. Esta posibilidad de variar las concentraciones absolutas de los nutrientes, permite cierta flexibilidad para ajustarlas, dependiendo de la disponibilidad de las fuentes, sin afectarse el desarrollo del cultivo. Con la finalidad de analizar este equilibrio, Steiner desarrolló los llamados "triángulos de equilibrio iónico", uno de estos triángulos analiza la proporción relativa de los aniones y otro el de los cationes (Figura 1), en estos diagramas se muestran dos polígonos que delimitan el área de equilibrio para las diferentes combinaciones de las proporciones (porcentajes) de los tres principales aniones o cationes según sea el caso, las soluciones nutritivas que caigan fuera de estas zonas pueden presentar problemas (Steiner, 1984).

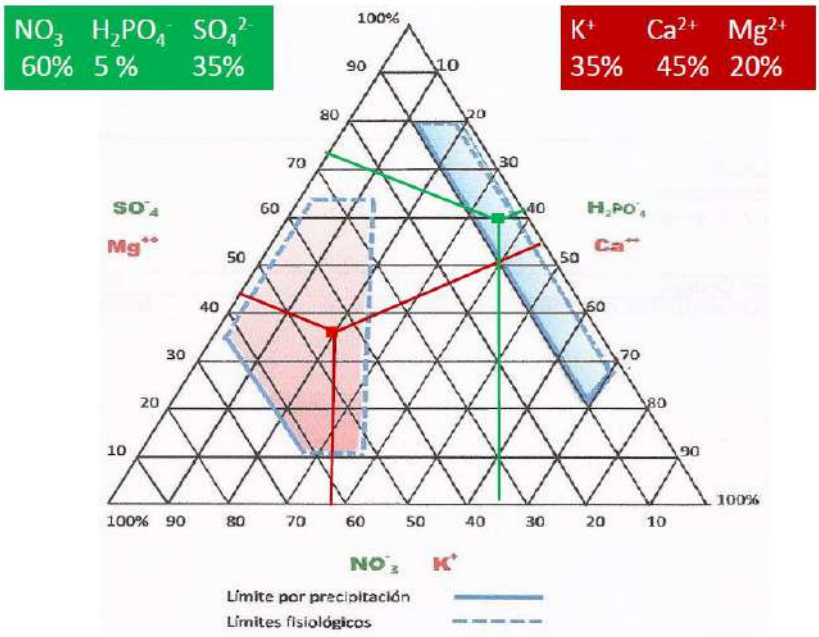

Figura 1. Triángulo de equilibrio iónico propuesto por Steiner 1984, expresado en mEq L^{-1}.

Es indispensable realizar un análisis de agua, para conocer la composición cuantitativa y cualitativa de las sales contenidas en el agua de riego, ya que esta información servirá para cuantificar los iones que entran a formar parte de la solución nutritiva y que por lo tanto, al llevarlas el agua de riego, permiten disminuir las cantidades que se han de aportar (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

Por otro lado, se desarrollaron estudios durante dos años sobre soluciones nutritivas equilibradas para la nutrición del chile habanero (Villa *et al*., 2010; Villa *et al*., 2011). Esas soluciones consistieron desde 12 hasta 25 mEq L^{-1} y los rendimientos variaron desde 0.532 kg m^{-2} hasta 3.129 kg m^{-2}. De los resultados encontrados se tiene que con la aplicación de

una solución nutrimental equilibrada de 15 y 17 mEq L^{-1} durante las etapas de trasplante a inicio de floración y de inicio de floración al final del ciclo se obtienen los rendimientos más altos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

Evaluar dosis de fertilización sobre el comportamiento productivo de genotipos de chile habanero a campo abierto.

1.3.2. Específicos

- Evaluar el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de la variedad experimental (H-224) y de la variedad comercial (Jaguar) de chile habanero en respuesta a dos métodos de fertilización.

- Evaluar el contenido inicial y final de N, P, K, Ca y Mg en el suelo, y su efecto en la nutrición de la planta.

- Evaluar la actividad fotosintética de la variedad experimental (H-224) y la variedad comercial (Jaguar) de chile habanero en respuesta a dos métodos de fertilización.

1.4. HIPÓTESIS

Las plantas de chile habanero fertilizadas con la solución nutritiva de Steiner (1984) presentan mayor rendimiento, calidad de fruto y actividad fotosintética que las fertilizadas con la recomendación pre-establecida por Soria *et al.* (2002) en condiciones de campo abierto.

1.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

TRATAMIENTOS	FERTILIZACIÓN	GENOTIPOS
T1	Solución nutritiva 1 (Soria *et al*., 2002) – 125 N – 100 P_2O_5 – 150 K_2O Kg ha^{-1} – Etapas fenológicas – Densidad de población – Número de fertirriegos	Genotipo 1 (H-224)
T2		Genotipo 2 (JAGUAR)
T1	Solución nutritiva 2 (Steiner 1984) – 60% NO_3^--5% H_3PO_4-35% SO_4^{2-} – 35% K^+-45% Ca^{2+}-20% Mg^{2+} – Niveles de CE 1.5, 2.0 y 2.5 dS m^{-1} – Calidad del agua de riego – Volúmenes de agua	Genotipo 1 (H-224)
T2		Genotipo 2 (JAGUAR)

La SN fue suministrada mediante el sistema de riego por goteo, calculando la lámina de riego de acuerdo a la técnica de la evapotranspiración de referencia calculada con la metodología del tanque evaporímetro tipo "A" (FAO, 2006).

Agronómicas

PLANTA.

Altura (cm): Flexómetro

Diámetro del tallo (mm): Vernier

CALIDAD DE FRUTO.

Peso (g): Báscula.

Longitud y diámetro (mm): Vernier.

Número de frutos.

Capsaicina (mg L^{-1}): HPLC.

Fisiológicas

PLANTA.

Fotosíntesis (µmol m^{-2} s^{-1}), transpiración (mmol m^{-2} s^{-1}), conductancia estomática (µmol m^{-2} s^{-1}) y uso eficiente del agua (µmol CO_2/mmol H_2O): Medidor portátil de fotosíntesis IRGA; LICOR, LI-6400.

SUELO Y HOJA.

Potencial hídrico (Mpa): WP4.

Nutrimentales

ANÁLISIS DE AGUA.

pH, CE, K, Ca, Mg, Na, Bicarbonatos, Cl y P.

ANÁLISIS DE SUELO.

pH, CE, N, P, K, Ca, Mg, Textura, MO, Da, Dr, CIC.

ANÁLISIS DE HOJA.

N, P, K, Ca y Mg.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con un arreglo factorial de 2x2., factor A: soluciones nutritivas, factor B: genotipos. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey $P \leq 0.05$

1.6. LITERATURA CITADA

Alpizar L., E., J. Trujillo A., y F. J. Herrera R. 2002. Determinación de capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jaq.), colectados en Yucatán. In: Proc. 16th Int. Pepper Conf. November 10-12. Tampico, Tamaulipas, México. pp: 48-49.

Ben-Chaim, A., Y. Borovsky, M. Falise, M. Mazourek, B. C. Kang, I. Paran, and M. Jahn. 2006. QTL Analysis for capsaicinoid content in *Capsicum*. Theor. Appl. Genet. 113: 1481-1490.

Berretta, A., Albín, A., Díaz, R. y P. Gómez. 2010. Recursos fitogenéticos: desafíos y oportunidades. En: Estrategias en los recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Uruguay, Montevideo, Pp: 7-20.

Bonfil G. 1990. México una civilización negada. Fondo de la Cultura Económica. México. 160 p.

Bosland, P. W. and E. J. Votava. 2000. Peppers: vegetable and spice *capsicum*. Centre for Agricultural Bioscience International (CABI) Press, London. 250 p.

Borges-Gómez, L., L. Cevantes C., J. Ruiz N., M. Soria F., V. Reyes O. y E. Villanueva C. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. Terra Latinoamericana 28(1): 35-41.

Canto-Flick, A., E. Balam-Uc, J. Bello-Bello, C. Lecona-Guzmán, D. Solís-Marroquín, Avilés S. Viñas and L. Iglesias-Andreu. 2008. Capsaicinoids content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.): hottest known cultivars. HortScience 43(5): 1344-1349.

Casanova C., C., L. Gutiérrez P., L. Torres T., S. Peraza S., y T. González E. 2006. Caracterización química y molecular de la pungencia de los chiles (*Capsicum* spp.) de Yucatán. In: Memoria de la Tercera Convención Mundial del Chile. 9-11 de julio. Chihuahua y Delicias, Chih., México. pp: 27.

Castro BR., Sánchez GP., Peña LA., Alcántar GG., Baca CG., López RRM. Niveles críticos, de suficiencia y toxicidad de N-NO3 en el extracto celular de pecíolos de tomate de cáscara. Terra Latinoamericana 2000; 18: 141-145.

Cázares S., E., P. Ramírez V., F. Castillo G., R. M. Soto H., M. T. Rodríguez G., y J. L. Chávez S. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del Centro-Oriente de Yucatán. Agrociencia 39: 627-638.

Cisneros-Pineda, O., L. Torres-Tapia, L. Gutiérrez-Pacheco, F. Contreras-Martín, T. González-Estrada and S. Peraza-Sánchez. 2007. Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatan, Mexico. Food Chemistry 104(4): 1755-1760.

Djamgoz, M. B. A., and B. Isbilen. 2006. Dietary compounds as anti-cancer agents: a preliminary evaluation of ion channels and membrane excitability as possible target mechanisms. Turkish Biochem. 31: 57-68.

Diario Oficial de la Federación. 2010. Declaratoria general de protección de la denominación de origen "Chile habanero de la Península de Yucatán". http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5145315&fecha=04/06/2010

FAO, 1996. México: Informe Nacional para la Conferencia Técnica Internacional de la FAO sobre los Recursos Fitogenéticos. INIFAP. 49 p.

FAO, 2010. El Segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mundo. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 372 p.

FAO, 2013. Recursos fitogenéticos: o se utilizan o se pierden. En: Biodiversidad para la seguridad alimentaria y la nutrición. Disponible en línea: http://www.fao.org/nr/cgrfa/cthemes/es/ (3/Marzo/2015).

Galvis SA. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. (Tesis de Doctor en Ciencias). Especialidad en Edafología. Montecillo, Estado de México, México: Colegio de Postgraduados, 1998.

González E. T., Casanova C. C., Gutiérrez P. L., Torres T. L., Contreras M., F. y S. Peraza S. 2010. Chiles cultivados en Yucatán. En: Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. R. Durán y M. Méndez (Eds.). CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 pp.

González, T.A., Figueroa V.U., Preciado R.P., Núñez, H.G., Luna O.J., & Antuna, G.O. (2016).Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. Rev. Mex. Cienc. Agríc., 7(2), 301- 309.

Harvell, K. y P. Bosland. 1997. The environment produces a significant effect on pungency of chiles (*Capsicum annuum* L.). HortScience 32: 1992

Hernández-Verdugo, S., R.G. Guevara-Gónzalez, R.F. Rivera-Bustamante, C. Vázquez-Yanes y K. Oyama 1998. Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp.) como recursos genéticos. Boletín de la Sociedad Botánica de México 62: 171-181.

Hernández V., S., A. P. Dávila, y K. Oyama. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. Bol. Soc. Bot. Méx. 64: 65-84.

Ix-Nahuat, J. G., Latournerie-Moreno, L., Pech-May, A. M., Pérez-Gutiérrez, A., Tun-Suárez, J. M., Ayora-Ricalde, G., Mijangos-Cortes, J. O., Castañón-Nájera, G., López-Vázquez, J. S. y S. Montes-Hernández. 2013. Valor agronómico de germoplasma de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) en Yucatán, México. Universidad y Ciencia. Tróp. Húmedo, 29 (3): 231-242.

Kakafki, U. y Tarchitzky, J. 2012. Fertirrigación, una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA). Pp: 18-19.

Laborde C., J. A., y O. Pozo C. 1984. Presente y Pasado del Chile en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Publicación Especial No. 85, México. 80 p.

Latournerie M. L., Chávez J.L., Pérez P. M., Hernández C.F., Marínez V. R., Arias R., L.M. y G. Castañón N. 2001. Exploración de la diversidad morfológica de chiles regionales en Yaxcabá, Yucatán, México. Agron. Mesoam., 12(1):41-47.

Latournerie M. L., Chávez S. J. L., Pérez P. M., Castañón N. G., Rodríguez H. S. A., Arias R. L. M. y P. Ramírez V. 2002. Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. Rev. Fitotec. Mex., Vol. 25(1): 25-33.

Latournerie-Moreno L., Chávez-Servia J., Arias-Reyes L (2011). Intercambio de semillas de maíz, frijol, calabaza y chile entre agricultores de una comunidad de Yucatán. XII Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario.

Latournerie-Moreno L., López-Vázquez J. S., Castañón-Nájera G., Mijangos-Cortéz J. O., Espadas-Villamil G., Pérez-Gutiérrez A. y E. Ruíz-Sánchez. 2015. Evaluación agronómica de germoplasma de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Rev. Agroproduct., 8: 24-29.

Loaiza-Figueroa, F., K. Ritland, J.A. Laborde-Cancino y S.D.Tanksley (1989). Patterns of genetic variation of the genus *Capsicum* (Solanaceae) in Mexico. Plant Systematics and Evolution 65: 159-188.

Lucio O. F., Reyes M. L., Ramos G., J. L., Maciel P. L. H., Lozano D. R. R., Espinoza C. J., González C. F., Esquivel V. F., Padilla R. J. S. y E. S. Osuna C. 1998. Guía para la asistencia técnica agrícola. Área de influencia del campo experimental pabellón. INIFAP/Produce Ed. México. 4° Ed. 429 p.

Medina-Lara, F., I. Echevarría-Machado, R. Pacheco-Arjona, N. Ruiz-Lau, A. Guzmán-Antonio y M. Martinez-Estevez. 2008. Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). HortScience 43(5): 1549-1554.

Milla, A. 2006. *Capsicum* de capsa, cápsula el pimiento. Pimientos, Compendios de Horticultura. Capítulo 2, pp. 21-31. Libro en línea. http://www.horticom.com/tematicas/pimientos/pdf/capitulo1.pdf. Revisado 03-01-2007.

Morán, B. S.H., M. Ribero B, Y. García F. y P. Ramírez V. (2004). Patrones isoenzimáticos de chiles criollos (*Capsicum annuum* L.) de Yucatán, México. En: Chávez-Servia, J.L., Tuxill, J., Jarvis, D.I. (eds). pp. 83-89. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia.

Mori, A., S. Lehmann, J. O'Kelly, T. Kumagai1, J. C. Desmond, M. Pervan, W. H. McBride, M. Kizaki, and H. P. Koeffler. 2006. Capsaicin, a component of red peppers, inhibits the growth of androgen-independent, p53 mutant prostate cancer cells. Cancer Res. 66: 3222-3229.

Pineda-Pineda J, Avitia-García E, Castillo-González AM, Corona-Torres T, Valdez-Aguilar LA, Gómez-Hernández J. Extracción de macronutrimentos en frambueso rojo. Terra Latinoamericana 2008; 26: 333-340.

Pozo C O, S Montes H, E Redondo (1991) Chile (*Capsicum* spp.). In: R. Ortega, G. Palomino, F. Castillo, V. A. González y M. Livera (eds.) Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. México. Pp. 217-238.

Prado, U. G. 2006. Tecnología de producción comercial del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, 43.

Ramírez, M. M., Arcos, C. G., Mata, V.H. y Vázquez, G. E. 2012. Jaguar, Variedad de chile habanero para México. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Las Huastecas. Folleto técnico. 35 p

Rivas, M. 2001. Conservación in situ de los recursos fitogenéticos. In Berretta, A., y M. Rivas (eds) 2001. Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. PROCISUR. Montevideo, Uruguay.

Ruíz-Lau, N., Medina L. F. y M. Martínez E. 2011. El chile habanero: su origen y usos. Rev. Ciencia. Academia Mexicana de Ciencias, 62(3): 70-77.

Ryan, J. J. (2008). A perspective on balanced fertilization in the Mediterranean region. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 32(2), 79-89

Salazar, L., y C. Silva. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. Biología Scripta 1(1): 7-14.

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas. Tomo 3. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Ed. Thomson-Paraninfo.

Sánchez A V (2006) La fiesta del gusto: La construcción de México a través de sus comidas. Opción 22:9-25.

Sánchez V J (2000) Fertirrigación: Principios, factores y aplicaciones. Pp.1

Secretaría de Economía. 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-189-SCFI-2012, Chile Habanero de la Península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.)-Especificaciones y métodos de prueba.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Chile habanero de la Península de Yucatán. Disponible en URL: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=comcontent&view=article&id=306:chile-habanero-de-la-peninsula-de-Yucatan&catid= 72: infogramas

Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2014. Anuarios estadísticos. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. http://www.siap.gob.mx/

Soria, M., Trejo, J., Tun, J. y R. Terán. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Secretaría de Educación Pública. Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológicas (SEP-SEIT-ITA). Instituto Agropecuario No. 2, Conkal, Yucatán, México.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands.

Trujillo, A. J. J. G. y Pérez, Ll. D. R. 2004. Chile habanero *Capsicum chinense*. Diversidad Varietal. CIRSE. CE Uxmal. Folleto técnico.

Trujillo-Aguirre, J. J. G., Pérez-Llanes, C. R. y O. Gutiérrez A. 2005. Avances en la caracterización fenológica de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) criollos e introducidos en Yucatán, México. Investigación Agropecuaria, Forestal y Pesca. Mérida, Yuc. Pp: 269-272.

Tut P. F. J., Santamaría B. F., Zavala L. M. J. y J. C. Berny Mier y Terán. 2013. Características de materiales mejorados de chile habanero para la Península de Yucatán. Folleto técnico No 13. SAGARPA. INIFAP. CIR. Grupo Impresor Unicornio, S. A. de C. V. Mérida, Yuc. 33 p.

Vallejo, C. F. y S. E. I. Estrada. 2002. Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira. Impresora Feriva, S. A. Cali, Colombia. 389 p.

Villanueva-Veruzco, C., Sánchez-Hernández, M. A., Sánchez-Cabrera, I., Sahagún-Castellanos, J., Parra-Benavides, G. y E. Villanueva-Sánchez. 2013. Respuesta a la selección masal participativa en calabaza de dulce (Cucurbita moschata Duch.). Rev. Chapingo. U. A. C. Serie Horticultura, 19 (2): 239-253.

Villa C. M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I. A. Román L. y H. Macías R. 2010. Población de plantas y manejo de la solución nutrimental del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero. XXII Semana Internacional de Agronomía. pp. 569-573.

Villa C. M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I. A. Román L. y H. Macías R. 2011. Fitorreguladores del crecimiento y nutrición de plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero. AGROFAZ: 7-11.

Vijay LC, Singh RV, Raghav M (2005) Optimum nitrogen and phosphorus fertilization in hybrid *capsicum*. Short Comm. Veg. Sci. 32: 200-202.

Volke HV, Etchevers BJD, Sanjuan RA, Silva PT (1998) Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. Terra 16: 79-91.

Warman A (1988) Maíz, la historia de un bastardo. Fondo de Cultura Económica. México. 186 p.

Zewdie, Y., and P. W. Bosland. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in Capsicum annuum L. Euphytica 111:185-190.

II. CAPÍTULO 2. EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN, SOBRE EL CRECIMIENTO, CALIDAD DE FRUTO Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE *Capsicum chinense* Jacq.

2.1. RESUMEN

Uno de los problemas que restringen y limitan la productividad y el rendimiento del chile habanero, además de las plagas y enfermedades, son el mal manejo del agua y los nutrientes. Con base a lo anterior se propuso un estudio para la evaluación de dosis de fertilización sobre el comportamiento productivo de genotipos de chile habanero a campo abierto. El diseño fue de bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2, factor "A" las soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner) y factor "B" los genotipos (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar), siendo un total de 4 tratamientos. Se evaluó variables fisiológicas (tasa fotosintética, transpiración, conductancia estomática, uso eficiente del agua, potencial hídrico de suelo y foliar), nutrimentales (contenido nutrimental del suelo y foliar) y agronómicas (crecimiento de la planta, rendimiento y calidad del fruto). El análisis de varianza dio como resultado diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la interacción, siendo la dosis de fertilización propuesta por Soria y la variedad experimental H-224 las que presentaron un intercambio de gases más eficiente, donde la relación de la conductividad eléctrica (0.55 dS m^{-1}) y el potencial hídrico (suelo -0.40 Mpa y hoja -1.79 Mpa) presentan los valores bajos, dando como resultado una óptima fotosíntesis (25.77 μmol m^{-2} s^{-1}), una mejor calidad del fruto y mayor rendimiento (1047.96 g $planta^{-1}$). Así, el contenido nutrimental de suelo y foliar no presentó diferencias significativas entre tratamientos. La variedad H-224 mostró diferencia significativa entre soluciones, y por su parte la variedad Jaguar demostró el menor rendimiento (761.80 g $planta^{-1}$).

Palabras clave: chile habanero, productividad y soluciones nutritivas.

2.2. ABSTRACT

The improper manage of irrigation and supply of nutriments are the main constrains in the production of habanero pepper. The present study was carried out to evaluate the effects of two fertilization strategies on two genotypes of habanero pepper under field conditions. The experiment wa set in a randomized block 2 x 2 factorial design. The factor "A" consisted of two nutriment solutions (T1 Soria and T2 Steiner) and factor "B" consisted of two pepper genotypes (experimental variety H-224 and comercial variety Jaguar), which generated a total of 4 treatments. The effects of treatments were evaluated on physiological variables (photosyntetic rate, transpiration, stomatal conductance, water use efficiency, soil water potential and plant water potential), nutrimental variables (mineral element contents in soil and leaves) and agronomic variables (plant growth, fruit yield and fruit quality). Analysis of variance showed significant effects ($P \leq 0.05$) of the interactions between T1 Soria and the variety H-224, where plants had more efficient gas exchange, and the electric conductivity (0.55 dS m^{-1}) as well as the water potentials (soil, -0.40 Mpa; leaves, -1.79 Mpa) showed the lowest values. These conditions in soil and plants resulted in a optimus photosyntetic rate (25.77 μmol m^{-2} s^{-1}) and higher fruit yield (1047.96 g $plant^{-1}$). The content of mineral elements in soil and leaves were not different among treatmets. The varity H-224 had differential response to the fertilization strategy. The variety Jaguar showed the lowest fruit yield (761.80 g $plant^{-1}$).

Keywords: habanero pepper, fruit yield, nutriment solutions.

2.3. INTRODUCCIÓN

En la mayoría del área destinada al cultivo de chile habanero se utilizan materiales criollos (Ramírez *et al*., 2012); sin embargo, dentro de los sistemas de producción de alta tecnología, el empleo de genotipos mejorados resulta indispensable para asegurar mayor producción y calidad de fruto. Estudios previos han demostrado que hay variedades locales de chile habanero con alto potencial agronómico (Latournerie *et al*., 2015), el uso de esas variedades ayudaría a conservar la diversidad genética del germoplasma regional, para utilizar en programas de mejoramiento genético y a su vez, proporcionaría a los productores material vegetal adaptado a las condiciones bióticas y abióticas de la región. Las variedades locales presentan una riqueza genética que les permite adaptarse a los cambios climáticos, lo que puede contribuir a la sustentabilidad de los agrosistemas en el futuro inmediato (Berretta *et al*., 2010).

Existen algunas variedades mejoradas de chile habanero para la Península de Yucatán (Tut *et al*., 2013), sin embargo, la variedad comercial 'Jaguar' es la única que se ha distribuido en más del 50% de los cultivares en la costa del Golfo de México y la Península de Yucatán (Ramírez *et al*., 2012). En el Instituto Tecnológico de Conkal se han realizado recolectas de genotipos criollos de chile habanero por toda la Península de Yucatán, estos genotipos han sido caracterizados agronómicamente en diferentes ambientes y han demostrado características de rendimiento sobresalientes (Latournerie *et al*., 2015).

Las investigaciones en *Capsicum* spp. se han enfocado en obtener variedades o líneas con altos rendimientos y concentración de capsaicina, en función de la aplicación de fertilizantes o inoculantes microbianos, de las densidades de siembra y de las aplicaciones de diferentes láminas de riego, entre otras (Reyes *et al*., 2014, Borges *et al*., 2010, Díaz *et al*., 1999, Gil *et al*., 2012, Quintal *et al*., 2012). Así mismo, algunos estudios han sido realizados con el fin de conocer los requerimientos nutrimentales de los diversos tipos de chile entre los que destacan chile jalapeño (Alonso- Baez *et al*., 2002), chile verde (Haynes, 1988), chile pepper (Kirnak *et al*., 2003) entre otros.

Marouani y Harbeoui (2016) sugieren que la eficiencia en el uso de nutrientes se relaciona con incrementos en la absorción de nutrientes y reducción de las pérdidas, así mismo, Baligar, Fageria y He (2001) consideran que el uso eficiente de los nutrientes mejora

el rendimiento y calidad de los cultivos, lo cual indirectamente, se traduce en una reducción de los costos por uso de fertilizantes, y en una protección del medio ambiente al evitar el uso excesivo de fertilizantes (Zhu *et al*., 2005).

Abram Steiner (1984) indica que las plantas podrían cultivarse exitosamente con el uso de una solución nutritiva constituida por 50 a 70% NO_3^-, 3 a 20% $H_2PO_4^-$ y 25 a 40% SO_4^{-2} relativo al total de aniones; y por 30 a 40% K^+, 35 a 55% Ca^{+2} y 15 a 30% Mg^{+2} relativo al total de cationes. Con esto sugirió que existe una mínima concentración de iones por debajo de la cual la planta no logra nutrirse lo suficiente, y por otro lado hay una concentración máxima sobre la que realiza un consumo de lujo. Se desarrollaron estudios durante dos años sobre soluciones nutritivas equilibradas para la nutrición del chile habanero (Villa *et al*., 2010; Villa *et al*., 2011). Esas soluciones consistieron desde 12 hasta 25 mEq L^{-1} y los rendimientos variaron desde 0.532 kg m^{-2} hasta 3.129 kg m^{-2} Por otro lado, Soria *et al.* (2002) propone el requerimiento de nutrientes por ciclo de cultivo de chile habanero, que consta de 125 kg de N, 100 kg de P y 150 kg de K, esto para obtener rendimientos promedio por ha de 18 t en suelos pedregosos o rojos (0.9 kg planta $^{-1}$). Según Prado (2006), el chile habanero necesita 250 kg de N, 100 kg de P, 300 kg de K, 200 kg de Ca y 100 kg de Mg, esto por ha para todo el ciclo de producción. En un experimento para determinar las necesidades de N, P y Mg en chile dulce, Barrientos (1988) obtuvo los mayores rendimientos de frutos comerciales con las dosis de 150, 250 y 0,5 kg ha^{-1} de N, P y Mg, respectivamente. Fernández y Haag (1972) determinaron que para un rendimiento de 421,875 frutos ha^{-1}, las plantas de chile requirieron de 51, 5, 84, 65, 8, 5, kg ha^{-1} de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente.

Por la importancia que tiene el chile habanero en la economía de México, y por el rol que juega la fertilización en la producción, nutrición y fisiología de esta planta, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos formulaciones de fertilización, sobre el comportamiento productivo de dos genotipos de chile habanero a campo abierto.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área experimental y material vegetal

El experimento se estableció en el Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México. Se utilizaron semillas de la variedad, experimental H-224 y comercial Jaguar. Se sembraron en charolas de 200 cavidades, a los 50 d de edad y con 15 cm de altura, se trasplantaron a campo abierto a una distancia de 0.30 m entre plantas y a 1.20 m entre surcos y se comenzaron las evaluaciones 30 d después del trasplante. Se manejó acolchado plástico calibre 90 plata-negro y para evitar la presencia de insectos-plaga se cubrió durante 40 d a partir del trasplante con malla agribón. Después de este período se controlaron las plagas y enfermedades de acuerdo a la recomendación de Soria *et al*. (2002).

Soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas se suministraron mediante el sistema de riego por goteo, de acuerdo al criterio de la evapotranspiración de referencia (ET_o) estimada con la propuesta del tanque evaporímetro tipo "A". La ET_o se calculó con la siguiente fórmula: $ET_o = E_o$ x Kt, donde ET_o= evapotranspiración potencial, Eo= evaporación potencial, Kt= coeficiente del área. El área de humedecimiento total se calculó mediante la fórmula: $A = N_l * A_{hf}$, donde N_l = número de líneas (ancho del terreno/distancia entre líneas) y A_{hf} = área de humedecimiento por fila y el volumen de agua aplicado mediante la fórmula Va = Lr*A, donde Lr = lámina de riego A = área de humedecimiento total. Para ello se utilizaron los registros diarios de la evaporación de tanque.

Se utilizaron, como solución nutritiva 1: la pre-establecida recomendada por Soria *et al*. (2002) (T1) que considera la densidad de población, 4 etapas fenológicas, número de fertirriegos y el tratamiento 125 N-100 P_2O_5-150 K_2O Kg ha^{-1}; y para la solución nutritiva 2: la solución nutritiva universal propuesta por Steiner (1984) (T2) que supone el equilibrio entre cationes (35% K^+-45% Ca^{2+}-20% Mg^{2+}) y aniones (60% NO_3-5% H_3PO_4-35% SO_4^{2-}) a niveles de conductividad eléctrica de la solución nutritiva: 1.5, 2.0 y 2.5 dS m^{-1}, en consideración de las etapas fenológicas y la aportación de iones del agua de riego. Las concentraciones aplicadas al fertirriego se presentan a continuación en el cuadro 1 y el aporte del agua (mEq L^{-1}) de riego fue: Ca^{2+} 4.3, Mg^{2+} 2.6, Na 4.8, K^+ 0.01, HCO_3 7.2, Cl^- 5.6, SO_4 0.7.

Cuadro 1. Concentración de aniones y cationes aplicados a los tratamientos en mEq L^{-1}.

Tratamientos		NO^{3-}	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Tratamiento 1 Soria *et al*., 2002	1[§]	11.46	0.91	0.7	2.18	7.32	5.16
	2[§]	12.51	1.59	0.7	3.16	6.25	4.11
	3[§]	7.21	1.92	0.7	3.08	8.02	5.75
	4[§]	3.20	0.43	0.7	4.12	10.84	4.65
Tratamiento 2 Steiner 1984	1.5[†]	9.00	0.75	5.25	5.25	6.75	3.00
	2.0[†]	12.00	1.00	7.00	7.00	9.00	4.00
	2.5[†]	15.00	1.25	8.75	8.75	11.25	5.00

[§]Etapas
[†]Niveles de conductividad eléctrica

Las fuentes de nutrición fueron: $Mg(NO_3)_2$, $Ca(NO_3)_2$, KNO_3, K_2SO_4, HNO_3, H_3PO_4 y urea. El fertirriego se realizó tres veces por semana, una vez al día, con un volumen de agua promedio de: 4.22, 4.41, 3.17 y 4.06 m^3 por etapa para Soria y 1.91, 1.11 y 1.41 m^3 por etapa para Steiner.

Variables fisiológicas

Las variables fisiológicas evaluadas, fueron: Conductividad eléctrica del suelo que se midió con un conductímetro, para ello se tomaron muestras compuestas de suelo de dos kilos cada una y se realizó mediante el sistema de cuarteos diagonales, a una profundidad de 0-20 cm descrito en la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. La fotosíntesis (A), transpiración (E), conductancia estomática (g_e), que se midieron con un analizador de gases infrarrojo portátil (LI-6400, LICOR, Nebraska, USA). El uso eficiente de agua (UEA), que se calculó mediante el cociente de A/E. Y el potencial hídrico del suelo (Ψ_s) y foliar (Ψ_f), utilizando el medidor WP4 Dewpoint Potentiameter (WP4T, Decagon Devices. Inc, Washington, USA). Se realizaron 15 lecturas por planta en hojas jóvenes del estrato alto totalmente expandidas (Garruña *et al*., 2014). Todas las variables fisiológicas se midieron a los 140 dds.

Variables nutrimentales

Las variables nutrimentales evaluadas se dividieron en suelo y foliar. El muestreo de suelo se realizó a los 0 y 140 dds, en donde el muestreo 0 representa la calidad del suelo antes de la siembra. Para ello, se tomaron muestras compuestas de suelo de dos kilos cada una y se realizó mediante el sistema de cuarteos diagonales, a una profundidad de 0-20 cm descrito en la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Se realizó un análisis físico-químico para los siguientes parámetros en elementos totales: N (Kjeldhal), P (molibdato de sodio con p-meilaminofenol sulfato), K, Ca y Mg (digestión ácida y absorción atómica). Para el muestreo foliar se tomaron muestras de la hoja a la altura media del tallo de la planta, obteniendo 10 g de su peso en seco y se le realizó un análisis químico a los 140 dds y se le realizó un análisis físico-químico para los siguientes parámetros en elementos totales: N (Kjeldhal), P (molibdato de sodio con p-meilaminofenol sulfato), K, Ca y Mg (digestión ácida y absorción atómica).

Variables agronómicas

Las variables agronómicas evaluadas, fueron: altura final de la planta (AP), diámetro final del tallo (DT). Para el diámetro de fruto (DF), longitud de fruto (LF), peso de fruto (PF), se midieron semanalmente durante 8 cosechas, tomando 20 frutos por tratamiento. Para la capsaicina total (capsaicina + dihidrocapsacina = CAP_{total}) se tomaron a los 140 dds 10 frutos al azar de las cosechas por muestra, y se hicieron las evaluaciones por medio de las metodologías, para la extracción, Collins *et al*., (1995) y para la determinación y cuantificación de CAP_{total}, Ruiz-Lau *et al*., (2010).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con un arreglo factorial de 2x2, siendo el factor principal las soluciones nutritivas y el otro factor los genotipos, dando un total de 4 tratamientos.

Análisis de datos

A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANDEVA), en las variables donde hubo diferencias estadísticas significativas se realizó una comparación de

medias con la prueba de Tukey $P \leq 0.05$ mediante el programa estadístico InfoStat-Statistical Software.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conductividad eléctrica

A través de la conductividad eléctrica (CE), se permite establecer la factibilidad, la viabilidad y el buen desarrollo de un producto en un suelo específico, ya que se considera un método rápido y económico de indicar su productividad (McBride *et al*., 1990). La solución nutritiva de Soria (T1) presentó valores bajos de conductividad eléctrica en el suelo, ocurriendo lo contrario en la solución nutritiva de Steiner (T2), lo cual influyó directamente en el rendimiento del cultivo. La CE del suelo en los tratamientos T1 (0.55 dS m^{-1}) y T2 (0.51 dS m^{-1}) en la variedad experimental H224, no presentaron diferencias, mientras que la CE en los tratamientos T1 (0.35 dS m^{-1}) y T2 (0.67 dS m^{-1}) en la variedad comercial Jaguar si presentaron diferencias, siendo T2-Jaguar el que obtuvo la mayor CE del suelo. Lara (2000) reportó que al incrementar la conductividad eléctrica, los cultivos realizan un mayor gasto energético para la absorción de agua y nutrientes, lo que repercute negativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Cuadro 2).

Potencial hídrico del suelo y foliar

El tratamiento T1-H224, indican valores menos negativos tanto para el potencial en el suelo (-0.40 Mpa) como para el foliar (-1.79 Mpa), mientras que presenta diferencias para la solución nutritiva de Steiner con el mismo genotipo (-0.65 y -3.16 Mpa). Por otra parte, los tratamientos T1 (-0.48 y -2.53) y T2 (-1.56 y -3.26) de la variedad comercial Jaguar, presentaron diferencias significativas y los valores más negativos. Estos resultados tienen relación directa con la CE, debido a que la solución Soria presentó los valores más bajos. Morales, 2010 menciona que al presentarse una disminución en los nutrientes, se puede mostrar modificación en la absorción y distribución de estos, esto provoca la disminución (más negativo) del potencial hídrico (Ψh) y se restringe la absorción del agua por las raíces y la absorción de iones salinos específicos, que se acumulan en el tejido de la planta en concentraciones que pueden llegar a ser tóxicas (Cuadro 2).

Estos resultados son similares a los reportados para suelo y hoja por Campos *et al*., (2014), quienes indicaron que a menor disponibilidad del agua en el suelo es menor también el potencial hídrico.

Intercambio de gases y uso eficiente del agua

En la fotosíntesis las plantas del tratamiento T1-H224 (25.77μmol m^{-2} s^{-1}) presentaron diferencias estadísticas con relación a los demás tratamientos, sin embargo en la transpiración no hubo diferencias entre T1-H224 (6.52 mmol m^{-2} s^{-1}), T2-H224 (6.50 m^{-2} s^{-1}) y T1-Jaguar (6.60 m^{-2} s^{-1}), pero superaron al tratamiento T2-Jaguar (5.65 m^{-2} s^{-1}). Por su parte, un aumento en la transpiración con lleva a una mayor apertura estomática, lo cual se observó en el tratamiento T1-224, que disminuyó la eficiencia en el uso de agua. La interacción T2-Jaguar presentó el mayor uso eficiente del agua con 4.35 μmol CO_2/mmol H_2O, una menor apertura estomática y transpiración. Sin embargo, Mendrano en el 2007 menciona que medir el gasto de agua con exactitud sigue siendo uno de los principales retos para los investigadores, debido a que no es posible manejar los factores ambientales en cultivos a campo de producción intensiva convencional (Cuadro 2).

Cuadro 2. Conductividad eléctrica, potencial hídrico e intercambio de gases de las hojas de genotipos de chile habanero (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar) sometidos a dos soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner).

TRATAMIENTOS	Ce_s (dS m^{-1})	Ψ_s (Mpa)	Ψ_f (Mpa)	A (μmol m^{-2} s^{-1})	E (mmol m^{-2} s^{-1})	g_s (μmol m^{-2} s^{-1})	UEA (μmol CO_2/mmol H_2O)
T1-H224	0.55±0.06ab	-0.40±0.12a	-1.79±0.14a	25.77±0.39a	6.52±0.15a	0.89±0.03a	3.96±0.06b
T2-H224	0.51±0.04ab	-0.65±0.05ab	-3.16±0.23b	21.72±0.58b	6.50±0.13a	0.69±0.04c	3.35±0.09c
T1-JAGUAR	0.35±0.08b	-0.48±0.23a	-2.53±0.15ab	24.36±0.49a	6.60±0.21a	0.85±0.05ab	3.74±0.12b
T2-JAGUAR	0.67±0.08a	-1.56±0.42b	-3.26±0.22b	24.56±0.16a	5.65±0.02b	0.74±0.02bc	4.35±0.03a

Ce_s: conductividad eléctrica del suelo. Ψ_s: potencial hídrico del suelo. Ψ_f: potencial hídrico foliar. A: fotosíntesis. E: transpiración. g_s: conductancia estomática. UEA: uso eficiente del agua. [§]Los valores son medias ± EE; letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, α=0.05).

Contenido nutrimental del suelo y hoja

En el análisis inicial del suelo se observaron niveles más altos de nitrógeno (0.93%), fosforo (2454.59 mg kg^{-1}) y calcio (49378.51 mg kg^{-1}) con respecto al análisis a los 140 dds. Mientras que para potasio ocurre lo contrario, el suelo inicial tiene menor contenido con 3535.10 mg kg^{-1} (Cuadro 3).

Con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000, se reporta para este estudio, que los niveles de nitrógeno son altos en el suelo tanto a los 0 dds como a los 140 dds. Sin embargo el N evaluado corresponde al N total del suelo (formas orgánicas e inorgánicas) por lo que estos valores no son indicadores del N disponible (Borges Gómez *et al*, 2014). Según Borges-Gómez *et al*. (2008), el nivel crítico de P para la producción de chile habanero en suelos de Yucatán es de 11.9 mg kg^{-1}; en el presente estudio, los valores de P fueron mayores al nivel crítico. Borges-Gómez *et al*. (2005) reportan que la variabilidad del contenido de K en suelos de Yucatán se atribuye a la naturaleza y proporción de los coloides presentes. Así mismo, los niveles en el suelo, fueron muy altos de Ca y de medio a alto para Mg, debido a su origen calcáreo (Wilson, 1980).

El contenido nutrimental foliar presenta niveles bajos en N, P y K, niveles altos de Ca y niveles suficientes de magnesio, según lo reportado por Benton-Jones *et al*. (1991). Y no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Los contenidos de N y P en el suelo y la hoja a los 140 dds fueron bajos (Cuadro 3), por lo que los nutrientes pudieron ser destinados al amarre del fruto, donde el tratamiento T1-H224 presentó valores altos de calidad de fruto y rendimiento.

Cuadro 3. Contenido nutrimental de suelo y hoja de las interacciones: soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner) y genotipos (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar) de chile habanero a los 140 dds.

TRATAMIENTOS	N (%)	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	Ca (mg kg^{-1})	Mg (mg kg^{-1})
SUELO INICIAL	0.93	2454.59	3535.10	49378.51	2630.63
CONTENIDO NUTRIMENTAL SUELO					
T1-H224	0.63±0.08	1786.90±371.52	4086.41±82.50	27081.80±3839.66	2400.19±158.53
T2-H224	0.70±0.05	2579.45±404.06	4486.64±239.85	30365.93±3872.15	2897.50±80.51
T1-JAGUAR	0.65±0.09	1787.91±342.37	4526.68±143.39	26582.60±8908.53	2916.39±127.99
T2-JAGUAR	0.84±0.03	2154.73±219.85	4055.50±61.35	30104.68±4020.96	2631.42±135.46
CONTENIDO NUTRIMENTAL FOLIAR					
T1-H224	3.58±0.06a	1893.13±44.92a	17639.78±1674.57c	72047.21±5634.44a	7591.55±592.68a
T2-H224	3.42±0.09a	1967.78±61.15a	27162.65±1355.00ab	43354.66±3286.18b	5310.06±435.06a
T1-JAGUAR	3.69±0.09a	2031.28±51.93a	19539.34±2235.33bc	60692.94±7300.55ab	6882.44±1099.22a
T2-JAGUAR	3.67±0.10a	2062.26±65.17a	30324.98±2324.61a	51732.21±4022.36ab	5190.71±84.87a

N: nitrógeno. P: fósforo. K: potasio. Ca: calcio. Mg: magnesio. [§]Los valores son medias ± EE; letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, α=0.05).

Crecimiento de la planta y rendimiento

En el análisis de altura y diámetro de la planta, se observó un efecto similar con diferencias entre tratamientos de la solución nutritiva de Soria con la variedad experimental H-224, con 71.60 cm y 20.49 mm, respectivamente (Figura 1 a y b).

El tratamiento T1-H224 demostró el mayor rendimiento con 1047.96 g planta-^{1}, mientras que el menor fue con 409.53 g planta-^{1} con T2-H224 (Figura 1c). Quintal *et al*., (2012) reportaron rendimientos de 547.7 g planta^{-1}, a su vez, Latournerie *et al*., 2015 reportan un rendimiento menor de 577.1 g planta^{-1}, para H-224. Los tratamientos T1-Jaguar (761.80 g planta-^{1}) y T2-Jaguar (713.13 g planta-^{1}) demostraron que no existen diferencias significativas entre soluciones.

Puentes, Menjívar y Aranzazu (2014) afirman que la producción no solo depende de la fertilidad del suelo, sino de factores relacionados con la genética de la planta y el medio ambiente, es decir, la interacción de ambos.

Con respecto al número de frutos por planta, el tratamiento T1-H224 (163 frutos) superó estadísticamente a T2-H224 (77 frutos), Latournerie *et al*., (2015) reportan sobresaliente el genotipo H-224 (77.9), el cual presentó de igual forma el mayor número de frutos por planta. Para T1-Jaguar y T2-Jaguar fue de 141 y 127 frutos respectivamente, no existiendo diferencias significativas entre las soluciones con el mismo genotipo (Figura 1d). Estas respuestas permiten identificar genotipos adaptables y con buen rendimiento en determinados ambientes de cultivo.

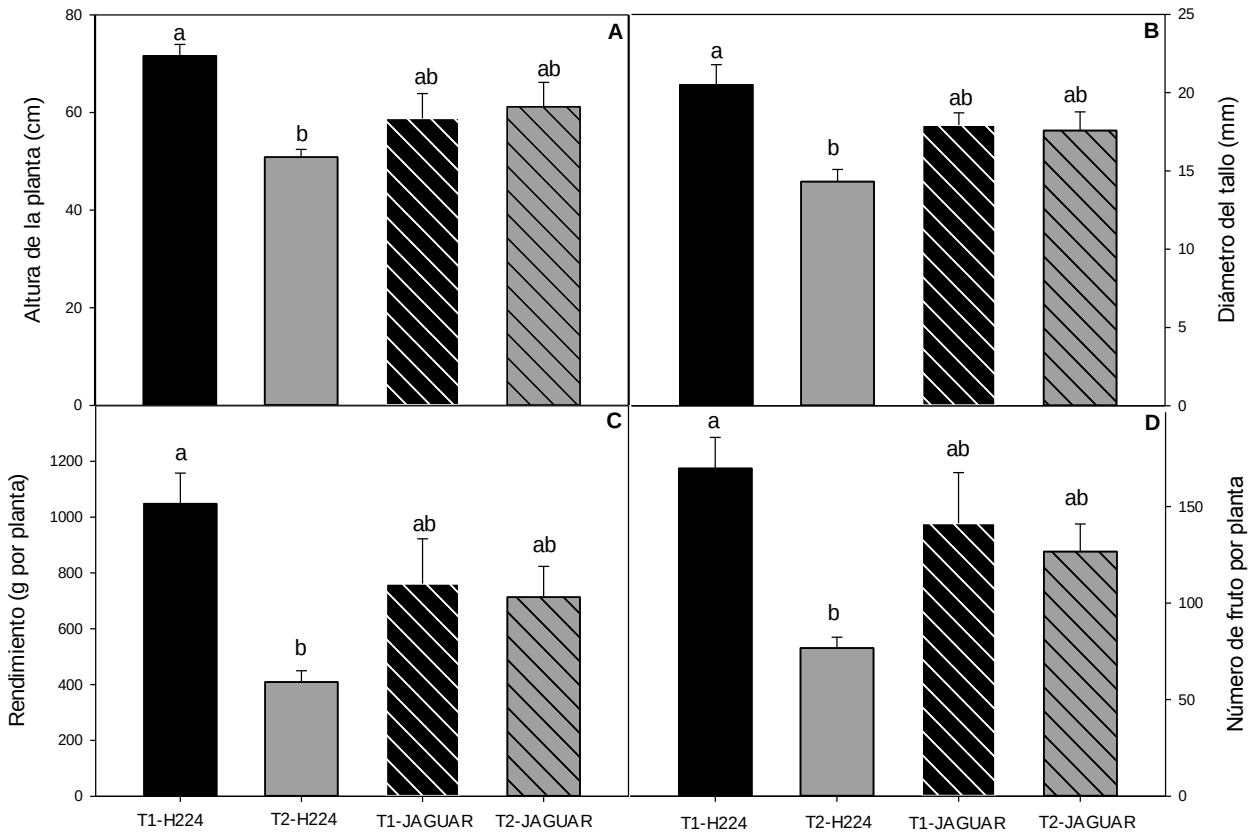

Figura 1. Crecimiento de la planta(a y b), rendimiento (c) y número de frutos por planta (d) de las interacciones: soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner) y genotipos (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar) del ciclo de cultivo de chile habanero. Medias identificadas con barras ± error estándar, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, α=0.05).

Calidad del fruto

Se observó para T1-H224 el mayor, diámetro de fruto (28.18 mm) (Figura 2a) y longitud de fruto (39.83 mm) (Figura 2b). El menor valor lo obtuvo T2-H224 con 22.17 mm y 32.96 mm, respectivamente. En el caso de T1-Jaguar Y T2-Jaguar no se encontraron diferencias significativas en diámetro de fruto (26.95 y 26.38 mm) ni en longitud de fruto (39.48 y 39.31 mm).

El mismo comportamiento se observó para el peso del fruto (Figura 2c), donde T1-H224 presentó mayor diferencia con 6.10 g^{-1} con respecto a T2-H224 quién fue menor con 4.87 g^{-1}. T1-Jaguar y T2-Jaguar no demostraron diferencias significativas (5.37 y 5.49 g^{-1}). Estos resultados son similares a los reportados en chile habanero criollo con frutos naranjas por Tucuch *et al*. (2012), donde el mejor tratamiento produjo frutos de 5.9 g^{-1} en condiciones protegidas. Quintal *et al*. (2012) reportaron 6.4 g^{-1} para peso de fruto individual.

La mayor concentración de capsaicinoides (CAP) fue de 7472.87 mg L^{-1} (Figura 2d) para T2-Jaguar, sin embargo, no presentó diferencias significativas entre T1-H224 (4909.04 mg L^{-1}), T2-H224 (7230.20 mg L^{-1}) y T1-Jaguar (6798.46 mg L^{-1}). De igual manera Borges-Gómez *et al*. (2010) no encontraron diferencias significativas en las concentraciones de CAP en plantas cultivadas bajo diferentes niveles de nutrición y humedad del sustrato. Sin embargo otros estudios demuestran que a diferentes concentraciones de macroelementos tienen un efecto sobre las concentraciones de CAP, principalmente concentraciones de N (Johnson y Decoteau, 1996; Medina-Lara *et al*., 2008).

Zewdie y Bosland (2000) comentan que los factores ambientales, el genotipo y las condiciones de cultivo pueden afectar las concentraciones de CAP's en los frutos de chile, cuando causan un estrés fisiológico térmico (Butcher *et al*., 2012; Rahman y Inden, 2012; González-Zamora *et al*., 2013), hídrico (Sung *et al*., 2005; Ruiz-Lau *et al*., 2011) y nutricional (Johnson y Decoteau, 1996; Medina-Lara *et al*., 2008) en la planta.

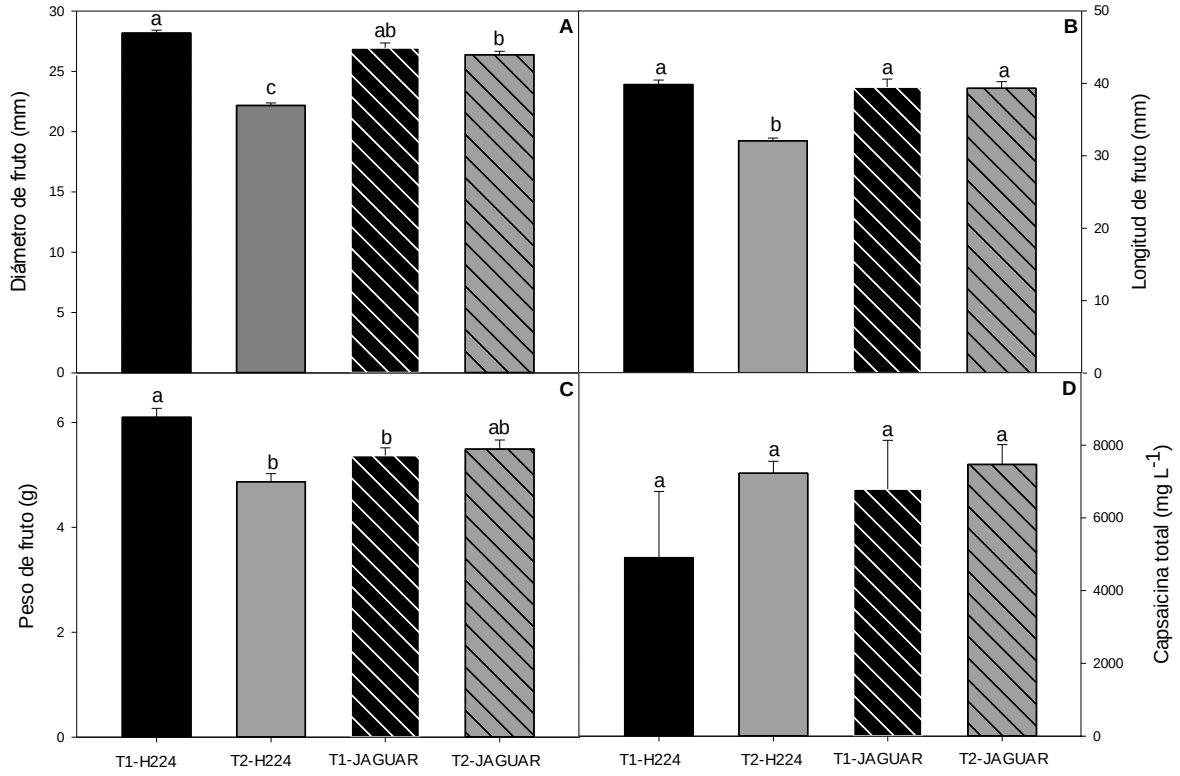

Figura 2. Diámetro de fruto (a), longitud de fruto (b), peso de fruto (c) y capsaicina total (d) de las interacciones: soluciones nutritivas (T1 Soria y T2 Steiner) y genotipos (variedad experimental H-224 y variedad comercial Jaguar) del ciclo de cultivo de chile habanero. Medias identificadas con barras ± error estándar, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, α=0.05).

2.6. CONCLUSIONES

- La solución nutritiva propuesta por Soria *et al*. (2002) y la variedad experimental H-224 permitieron mayor rendimiento de fruto, crecimiento de planta y calidad de fruto.
- Las plantas del tratamiento T1-H224 presentaron una conductividad eléctrica en el suelo óptima para el desarrollo del cultivo, así como el potencial hídrico del suelo y la hoja más bajos. Con base a ello presentó un intercambio de gases más eficiente que se vio reflejado en una mayor tasa de asimilación neta de CO_2 (fotosíntesis), no obstante, presentó una mayor abertura estomática y transpiración, lo que ocasionó un menor uso eficiente del agua.
- Las plantas irrigadas con las soluciones nutritivas empleadas en esta investigación tuvieron bajo contenido nutrimental foliar de N, P y K, suficiente contenido nutrimental foliar de Mg y un alto contenido nutrimental foliar de Ca, por lo que para futuras investigaciones se recomienda subir las concentraciones de N, P y K, bajar las de Ca y mantener la concentración de Mg, para suelos pedregosos característicos de Yucatán.
- Las plantas de la variedad comercial Jaguar tuvieron una menor pérdida de agua (transpiración) y conductancia estomática, es por ello que el uso eficiente del agua fue alto, demostrando que estás plantas pueden ser utilizadas para futuras evaluaciones de tolerancia al estrés hídrico.
- Las plantas de la variedad experimental H-224 presentaron una mayor heterogeneidad entre soluciones nutritivas, siendo la concentración de nutrientes el factor determinante en la respuesta metabólica del genotipo, lo anterior muestra el potencial agronómico del genotipo de chile habanero susceptible de mejorarse.
- Las plantas de la variedad comercial Jaguar demostraron un comportamiento homogéneo entre soluciones nutritivas debido a que es una variedad mejorada y resistente a las condiciones propias del cultivo, sin embargo el rendimiento fue menor.

2.7. LITERATURA CITADA

Alonso-Báez, M., L. Tijerina-Chávez, P. Sánchez-García, L. Aceves-Navarro, A. Escalante-Estrada y A. Martínez-Garza. 2002. Producción de chile jalapeño con fertirriego como función de la tensión de humedad del suelo, nutrición nitrogenada y potásica. Terra 20: 209-215

Baligar, V. C., Fageria, N. K. & He, Z. L. (2001).Nutrient use efficiency in plant. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32(7), 921-950.London, UK: Taylor & Francis Group.

Barrientos E. 1988. Evaluación de necesidades de N, P y Mg en chile dulce, *Capsicum annuum* L, asociado con café,Coffea arabiga, en siembra nueva. Tesis. Ing. Agr. Centro Regional de Occidente, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia. 49 p.

Benton-Jones, Jr., B. Wolf, H. A. Mills. 1991. Plant analysis handbook. Micro-macro publishing.

Berretta, A., Albín, A., Díaz, R. y P. Gómez. 2010. Recursos fitogenéticos: desafíos y oportunidades. En: Estrategias en los recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Uruguay, Montevideo, Pp: 7-20.

Borges-Gómez, L., A. Escamilla-Bencomo, M. Soria-Fregoso, y V. Casanova-Villarreal. 2005. Potasio en suelos de Yucatán. Terra Latinoam. 23: 437-445.

Borges-Gómez, L., M. Soria-Fregoso, V. Casanova-Villarreal, E. Villanueva-Cohuo, y G. Pereyda-Pérez. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. Agrociencia 42:21-27.

Borges-Gómez, L., L. Cevantes C., J. Ruiz N., M. Soria F., V. Reyes O. y E. Villanueva C. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. Terra Latinoamericana 28(1): 35-41.

Borges-Gómez, L., C. Moo-Kauil, J. Ruiz-Novelo, M. Osalde-Balam, C. González-Valencia, C. Yam-Chimal y F. Can-Puc. 2014. Suelos destinados a la producción de chile

habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. Agrociencia 48(4): 347-359.

Butcher, J., K. Crosby, K. Yoo, B. Patil, A. Ibrahim, D. Leskovar and J. Jifon. 2012. Environmental and genotypic variation of capsaicinoid and flavonoid concentrations in Habanero (*Capsicum chinense*) peppers. HortScience 47(5): 574-579.

Campos H., Trejo C., Peña-Valdivia C. B., García-Nava R., Conde-Martínez F. V., Cruz-Ortega M. R. (2014). Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under water stress and re-watering: delayed restoration of photosynthesis during recovery. Environ. Exp. Bot. 98, 56–64. 10.1016/j.envexpbot.2013.10.015

Collins, M., L. Wasmund and P. Bosland. 1995. Improved method for quantifying capsaicinoids in *Capsicum* using high-performance liquid chromatography. HortScience 30(1): 137-139.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2012. NORMA Oficial Mexicana NOM-189-SCFI-2012, Chile Habanero de la Península de Yucatán (*Capsicum chinense* Jacq.)-Especificaciones y métodos de prueba. Disponible en URL: http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4730/seeco2/seeco2.htm

Díaz, L., Viloria de Z, A. & Arteaga de R, L. (1999). Crecimiento vegetativo del pimentón en función de la densidad de plantas y edad del cultivo. Bioagro, 11(2), 69-73.

Gil, M.J.A., Montaño, N.J. & Plaza, R. (2012). Efecto del riego y la cobertura del suelo sobre la productividad de los cultivares de ají dulce. Bioagro 24(2):143- 148.

Garruña-Hernández, R., Orellana, R., Larque-Saavedra, A. and A. Canto. 2014. Understanding the physiological responses of a tropical crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at high temperature. PLoS ONE, 9(11): e111402.

González-Zamora, A., E. Sierra-Campos, J. Luna-Ortega, R. Pérez-Morales, J. Ortiz, and J. García-Hernández. 2013. Characterization of different varieties by evaluation of their capsaicinoids content by high performance liquid chromatography, determination of pungency and effect of high temperature. Molecules 18(11): 13471-13486.

Haag H., Homa P., Kimoto T. 1970. Nutrição mineral de hortalizas: V. Absorção de nutrientes pela cultura do pimentão. O Solo 62: 7-11.

Haynes, R.J. 1988. Comparison of fertigation with broadcast applications of urea-N on levels of available soil nutrient sand on growth and yield of trickle irri-gated peppers. Scientia Horticulturae 35: 189-198.

Ismail S. M. (2010). Influence of deficit irrigation on wáter use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). Meteor. Environ. Arid Land Agric. Sci. 21, 29-43. Jeddah, Saudi Arabia: King Abdulaziz University.

Johnson, C. D. and D. R. Decoteau. 1996. Nitrogen and potassium fertility affects jalapeño pepper plant growth, pod yield, and pungency. HortScience 31(7): 1119-1123.

Kirnak, K., C. Kaya, D. Higgs, y Tas, I. 2003. Responses of drip irrigated bell pepper to water stress and different nitrogen levels with or without mulch cover. J. Plant Nutr. 26: 263-277.

Lara, H. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Revista Terra 17(3): 221-229.

Latournerie-M, L., López-V, J. S., Castañón-N, G., Mijangos-C, J.O., Espadas-V, G., Pérez-G, A., Ruiz-S, E. 2015. Evaluación agronómica de germoplasma de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Agroproductividad.

Marouani, A. & Harbeoui, Y. (2016). Eficiencia de nitrógeno en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.). Acta agronómica, 65(2), 164-169. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

McBride, R.A., Gordon, A.M., Shrive, S.C. 1990. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 54(1):290-293.

Medina-Lara, F., I. Echevarría-Machado, R. Pacheco-Arjona, N. Ruiz-Lau, A. Guzmán-Antonio and M. Martinez-Estevez. 2008. Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). HortScience, 43(5): 1549-1554.

Morales C D, Rodríguez P, Dell'Amico J M, Torrecillas A y Sánchez M de J. (2010). Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas en plantas de tomate durante el período vegetativo. Cultrop vol. 31(4)

Mendrano H., J. Bota., J. Cifre., J. Flexas., Ribas-Carbó M., J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Investigaciones Geográficas 43:63-84 p.

NOM–021–SEMARNAT–2000 (Norma Oficial Mexicana). 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación. 17 octubre 2000.

Prado, U. G. 2006. Tecnología de producción comercial del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, 43.

Puentes, P.Y.J., Menjivar, F.J.C. y Aránzazu, H.F. (2014). Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (Theobroma cacao L.). Bioagro 26:99-106.

Quintal O.W.C., Perez G.A., Latournerie M.L., May L.C., Ruiz S.E., Martínez C.A.J. 2012. Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Revista Fitotecnia Mexicana. 35(2): 155-160.

Ramírez, M. M., Arcos, C. G., Mata, V.H. y Vázquez, G. E. 2012. Jaguar, Variedad de chile habanero para México. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Las Huastecas. Folleto técnico. 35 p.

Rahman, M. J. and H. Inden. 2012. Effect of nutrient solution and temperature on capsaicin content and yield contributing characteristics in six sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. Journal of Food, Agriculture & Environment 10(1): 524-529.

Reyes, R.A., López, A.M., Ruíz, S.E., Latournerie, M.L., Perez, G.A., G. Lozano, C.M. & Zavala, L.M.J.(2014). Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Agrociencia, 48, 285-294. Chillán, Chile: Universidad de Concepción.

Ruiz-Lau, N., F. Medina-Lara, Y. Minero-García, L. Torres-Tapia, S. Peraza-Sánchez and M. Martínez-Estévez. 2010. Capsaicinoids are absent in habanero pepper vegetative organs (*Capsicum chinense* Jacq.).HortScience 45(2): 323-326.

Ruiz-Lau, N., F. Medina-Lara, Y. Minero-García, E. Zamudio-Moreno, A. Guzmán-Antonio, I. Echevarría-Machado and M. Martínez-Estévez. 2011. Water Deficit Affects the Accumulation of Capsaicinoids in Fruits of *Capsicum chinense* Jacq. HortScience, 46(3): 487-492.

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 2000. Fisiología de las plantas. Tomo 3. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Ed. Thomson-Paraninfo. 480 p.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Chile habanero de la Península de Yucatán. Disponible en URL: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=comcontent&view=article&id=306:chile-habanero-de-la-peninsula-de-Yucatan&catid= 72: infogramas&Itemid=422

Soria F.M., Trejo R.J.A., Tun S.J.M., Teran S.R. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. pp: 31-36.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands. pp: 633-650.

Sung, Y., Y. Chang and T. Ni-Lun. 2005. Capsaicin biosynthesis in wáter-stressed hot pepper fruits. Botanical Bulletin of Academia Sinica 46.

Tucuch H.C.J., Alcántar G.G., Ordaz C.V.M., Santizo R.J.A., Larqué S.A. 2012. Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) con diferentes relaciones de NH4+/NO3- y tamaño de partícula de sustrato. Terra Latinoamericana. 30(1):9-15.

Trujillo, A. J. J. G. y Pérez, Ll. D. R. 2004. Chile habanero *Capsicum chinense*. Diversidad Varietal. CIRSE. CE Uxmal. Folleto técnico.

Tut P. F. J., Santamaría B. F., Zavala L. M. J. y J. C. Berny Mier y Terán. 2013. Características de materiales mejorados de chile habanero para la Península de Yucatán. Folleto técnico No 13. SAGARPA. INIFAP. CIR. Grupo Impresor Unicornio, S. A. de C. V. Mérida, Yuc. 33 p.

Villa C. M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I. A. Román L. y H. Macías R. 2010. Población de plantas y manejo de la solución nutrimental del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero. XXII Semana Internacional de Agronomía. pp. 569-573.

Villa C. M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I. A. Román L. y H. Macías R. 2011. Fitorreguladores del crecimiento y nutrición de plantas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero. AGROFAZ: 7-11.

Wilson E., M. 1980. Physical geography of the Yucatan peninsula. In: Moseley E., H., and E.D. Terry (eds). Yucatan A World Apart. University of Alabama. USA. pp: 5-4.

Zhu, J.H., Li, X.L., Christie, P. & Li, J.L. (2005). Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 111, 70-80.Belfast, UK: Queen´s University.