



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION  
EN CIENCIAS AGRICOLAS  
CAMPUS CAMPECHE**

**POSTGRADO EN BIOPROSPECCIÓN Y SUSTENTABILIDAD  
AGRÍCOLA EN EL TRÓPICO**

**APLICACIÓN DEL MODELO SIMPLIFICADO  
PARA ESTIMAR DOSIS DE FERTILIZACIÓN  
FOSFORADA EN EL CULTIVO DE CHILE  
HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq)**

**BRENDA AREMMY RAMÍREZ VARGAS**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**SIHOCHAC, CHAMPOTON, CAMPECHE**

**2018**

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS  
REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el(la) que suscribe **Brenda Aremmy Ramírez Vargas**, Alumno(a) de esta institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **Eugenio Carrillo Ávila**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Aplicación del Modelo Simplificado para Estimar Dosis de Fertilización Fosforada en el Cultivo de Chile Habanero (Capsicum chinense Jacq)** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos que se pueden derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y El que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta institución.

Sihochac, Champotón, Campeche a 16 de noviembre de 2018.

---

**Brenda Aremmy Ramírez Vargas**

Firma

---

**Vo.Bo. Dr. Eugenio Carrillo Ávila**

La presente tesis titulada: “Aplicación del modelo simplificado para estimar dosis de fertilización fosforada en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq)”. Realizada por la alumna: Brenda Aremmy Ramírez Vargas, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS  
BIOPROSPECCIÓN Y SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA EN EL TRÓPICO  
ORIENTACION SUSTENTABILIDAD**

**CONSEJO PARTICULAR**


CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_


DIRECTOR  
DE TESIS

  
\_\_\_\_\_

ASESOR

  
\_\_\_\_\_

ASESOR

  
\_\_\_\_\_

ASESOR

  
\_\_\_\_\_

Sihochac, Champotón, Campeche, 22 de noviembre de 2018

# APLICACIÓN DEL MODELO SIMPLIFICADO PARA ESTIMAR DOSIS DE FERTILIZACIÓN FOSFORADA EN EL CULTIVO DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq)

Brenda A. Ramírez Vargas. M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2018

## RESUMEN

El cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es fuente considerable de ingresos para los productores de la Península de Yucatán, región que cuenta con la denominación de origen, caracterizada por suelos calizos, en los que el fósforo tiene a fijarse y a formar compuestos no asimilables para las plantas. Se estableció un experimento en julio de 2017, en una parcela de un productor cooperante, tomando previamente una muestra compuesta de suelo. Se aplicaron tres tratamientos de fertilización: 56, 112 y 168 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, definidos con base en el manejo de los productores. Se midió el número, tamaño y peso de frutos y el rendimiento. Al final se realizaron muestreos destructivos de plantas y se tomó una muestra compuesta del suelo del área correspondiente a cada tratamiento, determinándose las concentraciones de macro y micronutrientes en raíces, tallos, hojas y frutos, así como en las muestras de suelo iniciales y finales. No se encontraron efectos significativos de los tratamientos, como consecuencia principalmente de las elevadas dosis de fertilización manejadas por los productores, lo que condujo a cantidades similares de fósforo soluble en todos los tratamientos. Se aplicó el modelo conceptual simplificado para estimar la dosis de fertilización en el cultivo que contribuya a la sustentabilidad del manejo de fertilizantes. Los resultados obtenidos permitirán establecer las dosis de fertilización a aplicar, definidas con base en el análisis químico del suelo en el que se establezca el cultivo.

**Palabras clave:** Chile habanero, método conceptual simplificado, fertilización fosforada.

**APPLICATION OF THE SIMPLIFIED MODEL TO ESTIMATE THE PHOSPHORIC FERTILIZATION DOSE IN THE HABANERO CHILI CROP (*Capsicum chinense* Jacq).**

**Brenda A. Ramírez Vargas. M.C.**

**Colegio de Postgraduados, 2018**

**ABSTRACT**

The habanero pepper crop (*Capsicum chinense* Jacq.) is a source of income for the producers of the peninsula of Yucatan, area which bears the denomination of origin of the crop, characterized by calcareous soils, in which phosphorus tends to be fixed and form compounds that can not be assimilated by plants. An experiment was set up in July 2017 on a plot of a cooperating producer, having previously taken a composite soil sample. Three phosphate fertilization treatments were applied to the crop: 56, 112 and 168 kg ha<sup>-1</sup>, defined according to the fertilization management applied by the producers. The variables: fruit number (NF), fruit weight (PF) and yield (R) were recorded. At the end of the work, destructive samples of plants and composite soil samples were taken from the area corresponding to each treatment. Chemical analyzes of the initial and final samples were performed, determining macro and micronutrient concentrations in the roots, stems, leaves and fruits, as well as in the initial and final composite soil samples. The treatments had no significant effect on the response variables, which is attributed to the high doses of fertilizer treated by the producers, which led to similar amounts of soluble phosphorus in all treatments. The simplified conceptual model was applied to estimate the most appropriate fertilization rate, thus contributing to the sustainability of fertilizer management. The results obtained will make it possible to establish the fertilization doses to be applied, defined according to the chemical analysis of the soil in which the crop is established.

**Key words:** habanero pepper, simplified conceptual model, phosphorus fertilization.

## **Dedicatoria**

**A Dios** por su infinita bondad y permitirme lograr lo que soy.

**A mi Madre María Ester** por ser siempre la amiga incondicional, por todo tu apoyo, por ser lo mejor en mi vida, eres un gran ejemplo de lo que es ser fuerte y que cuando se quiere se puede, sin tu amor, tu cariño, consejos y regaños no lo habría hecho.

**A mi padre Isidro**, por tu incomparable apoyo siempre, tus consejos, exigencias y muchos regaños los cuales me han hecho fuerte, gracias a eso, esto es una realidad.

Mis hermanas: **Bárbara**, por ser un gran ejemplo, y por todos los buenos consejos que me has dado; **Debora**, por tu valioso apoyo y ayuda incondicional en el trabajo, ¡porque son las mejores hermanas, las quiero mucho! **Mi sobrino Román**, por ser la más bonita inspiración en mi vida.

**A ti Jorge**, por ser paciente, por tu apoyo, cariño y comprensión, por compartir tantas alegrías y fracasos en este difícil camino.

¡A los Doctores Fulgencio, Itzel, Mónica y Alfredo por las lecciones, apoyo y amistad!

A mis Amigos y Compañeros: Julia, Cinthia, Jorge, Teo, Hilda, Edgar, Elías, Celia, Gisela, José, Christian, Elmi, por hacer de los momentos difíciles situaciones más amenas, por ¡las aventuras y amistad!

A todos aquellos que colaboraron de manera directa o indirectamente en la realización de esta tesis ¡gracias!

¡A todas aquellas personas que no creyeron en mí, gracias por darme el coraje y la fuerza para poder terminar lo que juzgaron mal! DLB

## **Agradecimientos**

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca de maestría otorgada para la realización del presente trabajo de investigación.

Al colegio de Postgraduados por todo el apoyo durante el desarrollo de la maestría para mi superación profesional y académica.

A mis profesores el **Dr. Eugenio Carrillo** por su apoyo absoluto, por sus consejos, su paciencia, la motivación y demás, sin usted esto no sería posible, **al Dr. Jesús Obrador**, por todo su apoyo y experiencia compartida, **al Dr. Everardo Aceves** por el apoyo brindado, **al Dr. Domingo y el M.C. Abelardo** por su apoyo, esfuerzo, afecto y consejos, a la **Dra. Mónica Osnaya** por su ayuda y recomendaciones, **al M.C. Esteban Ramírez** por su apoyo, su amistad y sus consejos, **al Director Jesús Arreola** por el apoyo brindado en momentos complicados y a todos los integrantes del Comité Académico: ¡Gracias por impulsar el desarrollo de mi formación profesional!

A **Enrique** por todo el apoyo brindado y disponibilidad durante el proceso de titulación.

Al **licenciado Francisco Góngora** por su completo e incondicional apoyo para la realización del experimento, por sus motivaciones, consejos y amistad, a los **ingenieros Rusell Escalante Rodríguez y Manuel Novelo Martínez** por sus conocimientos compartidos y el apoyo brindado.

¡Siempre agradecida!

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>Dedicatoria</b> .....	3
<b>Agradecimientos</b> .....	4
<b>Lista de figuras</b> .....	8
<b>Lista de Cuadros</b> .....	9
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	13
2.1. Origen e importancia del Chile habanero .....	13
2.2. Ruta del origen del chile .....	14
2.3. Producción e impacto social y económico del Chile .....	15
2.4. Chile habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) .....	17
2.5. Principales propiedades del cultivo del chile habanero .....	17
2.6. Usos principales del Chile .....	18
2.7. Importancia Socioeconómica del Chile habanero .....	20
2.8. Producción del Chile en México .....	21
2.9. Clasificación taxonómica y características botánicas del chile habanero .....	22
2.10. Material Vegetal .....	23
2.11. Importancia del tipo de suelo en el cultivo del chile .....	24
2.12. Tipos de suelo en la Península de Yucatán .....	26
2.13. Fertilidad del suelo .....	28
2.14. Riego y fertilización del cultivo de chile .....	30
2.15. Nutrición en el cultivo de Chile .....	30
2.16. Macro y micronutrientes .....	32
2.17. Función de los macronutrientes en el cultivo de chile .....	35
2.18. Dinámica del fósforo en los suelos de la península de Yucatán .....	36
2.19. Tipos de fertilizantes .....	41
2.20. Metodologías para recomendar dosis de fertilización .....	42
2.21. Determinación de dosis de fertilización con el modelo conceptual .....	43
<b>3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	49
Objetivo general .....	49
Objetivos particulares .....	49



Hipótesis.....	50
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>51</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>53</b>
4.1 Ubicación Geográfica.....	54
4.2 Clima.....	55
4.3 Material vegetal .....	55
4.4 Establecimiento del cultivo .....	55
4.5 Diseño experimental, tratamientos y unidades experimentales .....	56
4.6 Labores culturales.....	57
a. Selección del terreno.....	57
b. Preparación del suelo.....	57
c. Densidad de plantación.....	58
d. Plantación o trasplante.....	58
e. Variedades.....	58
f. Riego.....	58
g. Fertilización.....	58
h. Control de la maleza.....	62
i. Control de plagas y enfermedades.....	62
4.7 Fase de producción.....	62
4.7.1. Cosecha.....	62
4.8 Variables de respuesta.....	63
4.8.1. Rendimiento y calidad de los frutos.....	63
4.8.2. Concentración en nutrientes en suelo y planta.....	64
4.9 Análisis estadístico.....	66
<b>5. RESULTADOS y DISCUSIÓN.....</b>	<b>67</b>
5.1 Análisis fisicoquímico del suelo previo a la realización del trabajo experimental ..	67
5.1.2 Agua de riego .....	70
5.2 Variables de rendimiento.....	71
5.2.1. Número y peso de frutos por planta.....	71
5.2.2. Ancho y largo de frutos.....	74
5.2.3. Rendimiento final .....	76
5.3.- Análisis químico final en suelo y planta.....	77
5.3.- Aplicación del modelo conceptual.....	81
5.3.1.- Suministro de nutrientes .....	82

5.3.2.- Demanda de nutrientes por el cultivo .....	84
5.3.3.- Cálculo de la dosis de fertilización.....	87
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>89</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>90</b>

## **Lista de figuras**

Figura 1. Ejido de Castamay, Campeche.....	54
Figura 2. Rancho San Nicolás del Sur. Parcela experimental.....	54
Figura 3. Resultados del análisis fisicoquímico de la muestra de suelo.....	68
Figura 4. Número total de frutos por planta.....	72
Figura 5. Peso total de frutos por planta.....	73
Figura 6. Peso promedio de frutos por planta.....	73
Figura 7. Ancho promedio de frutos por planta.....	74
Figura 8. Longitud promedio de frutos por planta.....	75

## Lista de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la planta de chile habanero .....	22
Cuadro 2. Elementos esenciales, características y principales síntomas de deficiencia en las plantas.....	33
Cuadro 3. Fertilizantes y dosis empleadas por el productor (basados en el Paquete tecnológico del INIFAP). .....	60
Cuadro 4. Periodos de tiempo correspondientes a cada etapa fenológica y número de fertilizantes aplicadas al cultivo.....	60
Cuadro 5. Dosis de fertilización empleadas para cada etapa fenológica y para los tres tratamientos evaluados, establecidas con base en el manejo dado por el productor. ....	61
Cuadro 6. Días de corte en el cultivo de chile habanero. ....	64
Cuadro 7. Resultados del análisis químico del agua de riego.....	71
Cuadro 8. Resultado de los nutrientes en hojas de plantas seleccionadas de acuerdo con la dosis utilizada.....	78
Cuadro 9. Resultado de los nutrientes en raíz de plantas seleccionadas de acuerdo con la dosis utilizada. ....	80
Cuadro 10. Resultado de los nutrientes en tallo de plantas seleccionadas de acuerdo con la dosis utilizada.....	80
Cuadro 11. Resultado de los nutrientes en frutos de plantas seleccionadas de acuerdo con la dosis utilizada.....	81
Cuadro 12. Suministro de elementos por el suelo para la muestra inicial ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).....	83
Cuadro 13. Suministro de elementos por el suelo por tratamiento. Muestras tomadas después del trabajo experimental ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).....	83
Cuadro 14. Demanda de nutrientes en los diferentes componentes de las plantas, por tratamiento evaluado ( $\text{g planta}^{-1}$ ).....	86
Cuadro 15. Demanda promedio de macronutrientes por tratamiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). ....	86
Cuadro 16. Dosis de fertilización para el cultivo de chile habanero ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). ....	88

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es la base de una fuente considerable de ingresos económicos para los productores hortícolas de la Península de Yucatán, México, debido a la gran demanda regional que tiene este fruto, y a las divisas que genera su exportación. Dicha demanda se debe a su alto valor cultural, gastronómico y económico, por sus características de vida en anaquel y pungencia, el chile habanero se considera de calidad superior a los cultivados en el resto del mundo.

Actualmente el 40% de la producción nacional de esta hortaliza se obtiene en la Península de Yucatán, región que cuenta con la denominación de origen para su producción. En 2013, en Campeche se produjeron un total de 506.38 toneladas con un valor de \$6,675,100.00 de pesos. En ese mismo año, ocupó el tercer lugar en superficie sembrada con 62.25 hectáreas, superado por Tabasco y Yucatán, con 259.75 y 172.71 hectáreas, respectivamente (SAGARPA, 2015). Las superficies cultivadas se han ido extendiendo, debido principalmente al aumento de la demanda del producto, tanto en el mercado nacional como en el internacional (Gutiérrez, 2016).

En el mercado nacional el 80% de la producción de chile habanero se comercializa como fruto fresco y el 20% restante se dirige a la elaboración de salsas, pastas y deshidratados. En el mercado internacional se exporta principalmente a Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, Italia y Alemania (FIRCO, 2017).

Nuestro país sobresale en la generación de variedades de chiles, ya que alrededor del 90% del chile que se consume a nivel mundial es de origen mexicano. Otros países productores son China, Indonesia, Turquía, España, Estados Unidos y Nigeria (FIRCO, 2017).

El Chile habanero, es una planta herbácea o arbusto ramificado, que alcanza una altura de hasta 2.5 m. Los frutos inmaduros del chile habanero son de color verde, pero su

color varía en la madurez dependiendo del cultivar y pueden ser amarillos, rojos, naranjas o cafés.

Los orígenes del chile habanero, se encuentran en la zona que comprende desde el sur de Brasil hasta el norte de Argentina, pasando por el este de Bolivia y el oeste de Paraguay (Ruiz-Lau, 2011).

En México el cultivo de chile habanero se ha ido extendiendo, entre los estados productores actuales se encuentran: Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Colima, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas (SIAP, 2010).

El chile habanero, para su cultivo, demanda una cantidad de agua relativamente alta (550 a 700 milímetros por ciclo), sobre todo durante las etapas de floración, fructificación y llenado de fruto. Se desarrolla mejor en regiones con temperatura promedio superior a 24 grados centígrados, poca variación entre las temperaturas diurnas y nocturnas, y tensiones de humedad en el suelo de entre -10 y -40 kPa (Gutiérrez, 2016). No tolera temperaturas menores a 15 grados centígrados, las cuales se pueden presentar ocasionalmente, durante pocas horas, en los meses de enero y febrero en la península de Yucatán. (Soria *et al*, 2002).

Para el completo y adecuado crecimiento de la planta, es necesario aplicar ciertas cantidades de fertilizantes al suelo que permitirán obtener frutos de buena calidad, las plantas difieren en sus requerimientos nutricionales, por lo tanto, cada especie tiene diferente demanda de un determinado elemento para completar su normal desarrollo (Soria *et al*, 2002; Avilés *et al*, 2010).

La inversión en la aplicación de fertilizantes representa una parte importante de los costos de producción. Una fertilización lo más cercana a las necesidades reales de las plantas, contribuirá, por una parte, a que éstas no se vean restringidas en su crecimiento por limitación de nutrimentos, y, por otra, a que la inversión en estos

productos sea sólo la necesaria para obtener un rendimiento adecuado. Otra ventaja que se presenta, es que la dosis adecuada de fertilizantes asegura la sostenibilidad del recurso productivo como es el suelo, sin provocar efectos no deseados en el medio ambiente como la erosión o escasez de nutrientes en el mismo (Bernier, 1979), o su contaminación por aplicaciones excesivas de agroquímicos.

Sin embargo, algunos de los nutrientes aplicados con los fertilizantes al interactuar con otros elementos se vuelven insolubles o no asimilables para las plantas, como el fósforo al entrar en reacción con el Calcio y el aluminio (Munera, G. 2014). Es importante analizar esta situación debido a que la Península de Yucatán presenta suelos con altos contenidos de calcio, que al entrar en contacto forma compuestos no asimilables con el fósforo soluble aplicado a través de los fertilizantes (Sharpley, 2000; Hedley and Mc Laughlin, 2005, Rivera-Hernández *et al*, 2010), formando fosfatos de calcio precipitados que no pueden ser absorbidos por las plantas (Mc Beath *et al.*, 2006), ocasionando deficiencias del elemento (Colomb *et al.*, 2000).

Recientemente se ha iniciado el empleo de enfoques conceptuales para definir la dosis de fertilización en los cultivos, con el objetivo de optimizar el uso de fertilizantes en la agricultura. Se busca establecer cantidades eficientes de fertilización que permitan aplicar únicamente la cantidad que pueda ser aprovechada por las plantas, a fin de maximizar su uso y minimizar su lixiviación (causante de la contaminación de acuíferos). En el presente trabajo empleamos el modelo conceptual simplificado (Rodríguez, 1993), cuyo uso ha permitido establecer recomendaciones de fertilización en diferentes cultivos. Dicho modelo señala que la cantidad de fertilizante a agregar está en función de la demanda del nutrimento por el cultivo, del suministro de éste por el suelo y de la eficiencia de la fertilización.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen e importancia del Chile habanero

En México el cultivo de chile, desde los puntos de vista cultural, agronómico, nutricional y económico es uno de los más importantes. Además, es el octavo cultivo con mayor valor generado en la agricultura nacional, alcanzando alrededor de 13 mil millones de pesos anualmente, con un volumen de producción promedio de 2.2 millones de toneladas, del cual se exportan cerca de 900 mil toneladas de chiles frescos, secos y en preparaciones.

A escala internacional, México es el segundo país productor de chiles: alrededor del 90% que se consume a nivel mundial es de origen mexicano, dedicándole más de 140 mil hectáreas al cultivo de este fruto. Las principales variedades que se cultivan son: jalapeño, serrano, poblano, morrón y habanero. (SAGARPA, 2015).

Una de las especies con mayor importancia por su origen y su alta capacidad de domesticación es *Capsicum annuum* L.; de la cual se han originado una gran variedad de formas, colores y tamaños del fruto. Además, debido a su alto valor cultural, las poblaciones silvestres existentes de esta especie necesitan ser estudiadas y por consiguiente preservadas (Aguirre *et al.*, 2017)

Linneo (1753) en su monumental obra *Species Plantarum*, describió por primera vez el género *Capsicum*; publicó que el nombre asignado deriva del griego Kopto, que significa “picar” dado que es su principal característica (Salazar y Silva, 2004; citado por Waizel-Bucay *et al.*, 2011).

En el valle de México, los chiles se sembraban principalmente en chinampas, una aportación de México a la agricultura del mundo. El chile es un buen ejemplo del proceso de adaptación de las plantas a las necesidades humanas: lo que se conoce como domesticación. De acuerdo con lo que señala Long (2010) al pasar por dicho



proceso, una planta sufre una serie de transformaciones genéticas durante las cuales el hombre modifica los rasgos de la misma, según el resultado que busca, en este caso el mejoramiento del fruto. Mediante el proceso de selección, voluntario o espontáneo, empieza a cambiar el color, la forma, el tamaño y el sabor del fruto. Todos los tipos de *Capsicum chinense* se auto polinizan, aunque también pueden ser polinizados por abejas y otros insectos (Spicegarden, 2002).

El cultivo de las distintas variedades de chile se adapta a diversos climas y tipos de suelo, en altitudes que van desde cero el nivel del mar hasta los 2500 msnm. Además de ser un alimento nutritivo, también es una fuente de colorantes naturales y compuestos secundarios, todos ellos utilizados en la elaboración de productos alimenticios, cosméticos y farmacéuticos. Su consumo en diferentes presentaciones es igualmente diverso: el fresco generalmente se usa como verdura o condimento; mientras que el seco principalmente se destina a la industria alimentaria y farmacéutica (Aguirre y Muñoz 2015).

## **2.2. Ruta del origen del chile**

El género *Capsicum* tuvo su centro de origen en la cuenca Amazónica y después irradió ampliamente a Mesoamérica, donde la domesticación fue dando origen a una gran cantidad de variedades. Diversos estudios han definido como centro de origen del género *Capsicum* a una gran área ubicada entre el sur de Brasil y el este de Bolivia, el oeste de Paraguay y el norte de Argentina (Ruiz *et al.*, 2011). En esta región se observa la mayor distribución de especies silvestres en el mundo (Santos Dzul, 2014).

La especie *C. chinense*, como todas las del género *Capsicum*, es originaria de América. Sin embargo, el taxónomo Nikolaus von Jacquin que acuñó erróneamente el nombre de la especie, colectó plantas en el caribe (Canul *et al.*, 2012). Long (2010), afirma que entre los años 1754 y 1759 el holandés Nikolaus von Jacquin hizo una expedición al caribe con el fin de recolectar plantas para el emperador Francis I y presentó una descripción del *C. chinense* en su libro *Hortus botanicus vindobonensis*,

publicado en 1776. Fue von Jacquin quien le dio la nomenclatura taxonómica confusa de “*chinense* o *sinense*” a la especie. Asimismo, escribió que había “tomado el nombre de la planta de su sitio de origen” (Santos Dzul, 2014). Sin embargo, von Jacquin nunca estuvo en China, mientras que su estancia y recolección de plantas en el Caribe está bien documentada. La nomenclatura “*chinense*” ha resultado un enigma en la literatura botánica, ya que no hay una explicación viable de esta calificación. La ruta más viable por la que el chile habanero llegó a México ya domesticado, parece ser por medio de grupos de inmigrantes que pasaron por el delta del Orinoco en Venezuela, y de allí a las islas del Caribe, a través de las islas de Trinidad y Tobago, localizadas cerca de la costa de América del Sur. Después de su llegada al Caribe, las semillas pudieron haber sido dispersadas entre las islas a través del comercio y la migración de los indios circuncaribeños, proceso que generó distintos tipos locales, adaptados al ambiente de cada isla, entre otras características (Santos Dzul, 2014).

Ruiz, *et al.*, (2011) menciona que probablemente el *C. chinense* era originario de América del Sur, de donde fue introducido a Cuba, aunque en la isla no se siembra ni se consume. De ahí se cree que fue traído a la Península de Yucatán.

### **2.3. Producción e impacto social y económico del Chile**

Alrededor del mundo, el Chile *Capsicum spp.* representa uno de los cultivos de hortalizas más importantes (Ortiz *et al.*, 2010). El género *Capsicum* está formado por alrededor de 30 especies, dentro de las cuales destacan *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. pubescens.*, *C. chinense* Jacq. Y *C. baccatum* L., como las especies cultivadas de mayor importancia (Bosland y Votava, 2012).

México posee una gran cantidad de recursos fitogenéticos de *Capsicum*. Cuenta con una amplia variabilidad genética de la especie *annuum*, y en menor grado de *frutescens*, *pubescens* y *chinense* (Latournerie *et al.*, 2002). En particular, en la Península de Yucatán existe una gran diversificación de chiles criollos de las especies de *C. annuum* y *C. Chinense* (Terán y Rasmussen, 1998).

La producción nacional de chiles, lo conforman de un 70 a 80 % los chiles ancho, jalapeño, serrano, mirasol (guajillo) y dulce o pimiento; otros tipos comunes de chile en México, son el pasilla, de árbol, piquín, **habanero**, manzano, morita, mulato, poblano, entre otros (Pozo *et al.*, 1991).

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria Y Pesquera (SIAP, 2010), los estados productores de chile habanero en México son: Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Colima, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas.

El cultivo de Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) en la Península de Yucatán, ocupa de los primeros lugares en importancia de los cultivos hortícolas, y se ha convertido en un producto representativo que identifica a la región (DeWitt y Bosland, 1993).

En el sureste de México el chile habanero es un cultivo tradicional, siendo Yucatán el principal productor seguido por los estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo (Aceves *et al.* 2008). La superficie sembrada anualmente es de alrededor de 800 ha, con un rendimiento de alrededor de 25 t/ha<sup>-1</sup> la cual está en función del manejo y las condiciones del cultivo (Trujillo y Pérez, 2004).

La Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2015, mediante su Dirección General de Productividad y Desarrollo Tecnológico señala que “México es líder en exportación de chile, con un comercio de 845 mil toneladas de este producto, lo que generó divisas por alrededor de 560 millones de dólares en 2014”, también “aseguró que estos resultados son muestra del compromiso del Gobierno Federal por impulsar un sector productivo y competitivo, así como de la puesta en marcha de una auténtica transformación del campo.

## **2.4. Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)**

De acuerdo al Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), 2017, el chile habanero, es una planta herbácea o arbusto ramificado, que alcanzan un tamaño de hasta 2.5 m de alto. Los ejemplares inmaduros del fruto del cultivo, son de color verde, pero su color final varía en la madurez. Los colores más comunes son anaranjados en estado semimaduros y rojo al madurar, aunque también existen plantas que producen chiles maduros de color anaranjado, amarillo, café e inclusive blanco o rosa.

Las características de calidad del fruto que se produce en la Península de Yucatán como son el sabor, aroma, pungencia y color, lo distinguen de los frutos producidos en otras regiones del país (Trujillo y Pérez, 2004). Además, se ha convertido en un símbolo y ejemplo en pungencia para el resto de los cultivares, debido a su alto contenido de capsaicinoides (Zewdie y Bosland, 2000; Cázares *et al.*, 2005).

A nivel nacional el 80% de la producción de chile habanero se comercializa como fruto fresco y el 20% restante se destina a la elaboración de salsas, pastas y deshidratados. Se exporta principalmente a Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, Italia y Alemania (FIRCO, 2017). Tan solo para el 2008, las autoridades del estado de Yucatán firmaron un convenio para consolidar la compraventa de 1,500 toneladas de chile habanero originario de aquella entidad, con propósitos de exportación a los mercados de Japón y Estados Unidos. Para uso industrial: el polvo de chile habanero es utilizado como mezcla con el plástico que recubre los cables de fibra óptica, de esta manera, se evita que las ratas dañen las líneas de transmisión de datos, debido a su bajo costo en comparación con la fabricación de cables con materiales más gruesos. (Dinero en Imagen, 2016).

## **2.5. Principales propiedades del cultivo del chile habanero**

El cultivo de chile se adapta a diferentes tipos de suelo, pero se desarrolla mejor en suelos franco arenosos, franco limosos o franco arcillosos, con alto contenido de

materia orgánica, con profundidades de 30 a 60 centímetros. Para favorecer su desarrollo es recomendable un pH superior a 5.5, debido a que el pH es determinante para la asimilación de nutrientes (SIAP, 2010).

El chile habanero, para su cultivo, demanda una cantidad de agua relativamente alta (550 a 700 milímetros por ciclo), sobre todo durante las etapas de floración, fructificación y llenado de fruto. Se desarrolla mejor en regiones con temperatura promedio superior a 24°C, poca variación entre las temperaturas diurnas y nocturnas, y una tensión de humedad en el suelo entre -40 y -10 kPa (Gutiérrez *et al.*, 2018). No tolera temperaturas menores a 15°C, las cuales se pueden presentar ocasionalmente, durante pocas horas, en la península de Yucatán, en los meses de enero y febrero (Ruiz *et al.*, 2011).

Lo que estimula el gusto por el chile habanero es la *capsaicina*, químico cien veces más picante que la pimienta y que estimula la liberación de neurotransmisores e incentiva los puntos receptores de dolor de la lengua y el paladar. El cerebro responde con endorfinas que incrementan el metabolismo liberando más saliva y sudor. El nivel de picante puede variar de una planta a otra, debido a las condiciones medioambientales y del suelo en que se encuentra la planta (SIAP, 2010).

## **2.6. Usos principales del Chile**

Los usos del chile son diversos, sin embargo, los más importantes alrededor del mundo son para su uso gastronómico y el uso farmacéutico. De acuerdo con sus propiedades, son utilizados como condimento, colorante u hortaliza; en forma natural o industrializado, en salsas, enlatados, seco, en polvo o en conservas.

Los pueblos árabes lo emplean como afrodisíaco y antidisentérico. A principio del Siglo XX se recomendó el chile como un remedio eficaz contra las hemorroides y en África se usa para combatir las infecciones intestinales, así como para eliminar parásitos

digestivos, controlar la diarrea, como astringente y cicatrizante (Aguirre-Hernández y Muñoz-Ocotero, 2015).

Los chiles rojos, especialmente los tipos picantes y secos, tienen componentes como la vitamina A, mientras que los dulces y frescos suministran suficiente vitamina C para cubrir los requerimientos diarios, que son de entre 80 y 150 mg (Long-Solís, 1986; Reddy *et al.*, 2014).

La genética y la biotecnología han permitido desarrollar variedades mejoradas que, desde el punto de vista comercial, tienen ciertas ventajas: las plantas fructifican a una edad más temprana que las variedades criollas, dan rendimientos más altos por hectárea porque las plantas son más densas y resistentes a las enfermedades causadas por hongos o virus, y los productos generalmente tienen características más uniformes en cuanto a tamaño, color, etc., lo que resulta muy atractivo para el mercado. Sin embargo, hay que considerar que la disminución o el desplazamiento de los cultivos de plantas criollas por las mejoradas implican poner en riesgo la existencia del germoplasma mexicano de la especie, de una o muchas variedades cuando ya no se cultivan, por lo que es muy importante generar un vasto conocimiento sobre la diversidad genética tanto de las variedades silvestres como de las que se cultivan de manera tradicional y de las que se generan a partir del mejoramiento genético, para el manejo y aprovechamiento adecuado del cultivo del chile (Aguirre y Muñoz, 2015).

Dentro de los sistemas de producción de alta tecnología, el empleo de genotipos mejorados resulta indispensable para asegurar mayor producción y calidad del 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).

Desde hace algunos años, los capsaicinoides son empleados por sus propiedades médicas y farmacológicas. La capsaicina, el principal capsaicinoide, estimula la membrana mucosa del estómago, incrementando la secreción salival y la peristalsis (contracciones del intestino que hacen avanzar el alimento), lo que estimula el apetito. Además, los chiles picantes intensifican la secreción nasal y lagrimal, así como la de los jugos gástricos. La capsaicina tiene un efecto antiinflamatorio y contra-irritante. Existen productos farmacéuticos hechos a base de extracto de chile habanero que sirven para aliviar dolores musculares. También se usa en ungüentos, lociones y cremas para tratar externamente problemas de dolor crónico relacionado con artritis, gota, neuralgias y cicatrices quirúrgicas. Del chile habanero se extraen *oleorresinas*, cuya aplicación, además de la industria alimentaria, se extiende a la industria química para la elaboración de pinturas y barnices, gases lacrimógenos, etcétera (Ruiz *et al.*, 2011).

## **2.7. Importancia Socioeconómica del Chile habanero**

El cultivo de Chile habanero, es una fuente importante de generación de empleos en el campo debido a que se puede producir durante todo el año (Secretaría de Economía, 2012). El chile habanero se encuentra distribuido en toda la Península de Yucatán, donde se observan diferentes formas, colores y tamaños del fruto y sistemas de cultivo (Ruiz-Lau *et al.*, 2011).

La importancia de este cultivo reside en el hecho que, al ser intensivo, requiere una elevada cantidad de mano de obra, de 120 a 200 jornales por hectárea cosechada, aproximadamente (Arroyo, 2012).

Existe un gran potencial en la industria de los picantes, ya que la variabilidad que representa este tipo de chiles abre la puerta al mercado nacional e internacional para su exportación. La exportación del chile habanero, se ha incrementado principalmente por la variabilidad de sus usos. El crecimiento de la industria demanda alrededor de

500 toneladas anuales para la elaboración de las diferentes presentaciones y usos (SAGARPA, 2015).

El cultivo del chile habanero en el estado de Campeche, produce actualmente 2500 toneladas, con un valor estimado en más de siete millones de pesos (Armentía, 2018), por lo anterior, representa una alternativa de producción, así como una fuente de entrada de divisas además de generar fuentes de trabajo en diversas comunidades de los municipios productores entre los que destacan Hopelchén, Hecelchakán, Campeche y Calakmul, principalmente.

## **2.8. Producción del Chile en México**

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2014., menciona que, entre los cultivos hortícolas, el chile es el más importante a nivel nacional. México es el país con la mayor variedad genética de *Capsicum*, que se produce en los 32 estados de la República; sin embargo, los principales estados productores son Chihuahua, Sinaloa, Guanajuato, Zacatecas y Sonora. Las variedades que más se cultivan son: jalapeño, serrano, poblano, pimiento morrón y habanero.

En el país existen alrededor de 150 000 hectáreas sembradas con una producción de más de dos millones de toneladas anuales de chile seco y verde. Esto representa un valor comercial de aproximadamente 13 224 millones de pesos. México se ubica como el principal exportador de chile verde a escala internacional y es el segundo productor mundial (Meneses *et al.*, 20118).

El país se divide en seis zonas productoras de chile, las cuales difieren entre sí por los tipos de chiles que se siembran. En la zona del Golfo (Veracruz y Tamaulipas) se obtienen sobre todo jalapeños y serranos; en el sureste (Yucatán y Tabasco) hay jalapeños, costeños y habaneros; en la zona del Bajío (Guanajuato, Jalisco y Michoacán) se cultivan anchos, mulatos y pasilla; en la mesa central (Puebla e Hidalgo) se especializan en poblanos, miahuatecos y carricillos; en el norte (Chihuahua y Zacatecas) producen jalapeños, mirasol y anchos; y en la zona del Pacífico Norte (Baja



California, Sinaloa y Sonora) tienen bell, Anaheim, jalapeños y caribes (Aguirre y Muñoz, 2015).

La riqueza genética del chile en México se debe en gran parte a la diversidad de climas y suelos, pero también a las prácticas tradicionales del cultivo que llevan a cabo los pequeños productores, quienes utilizan las semillas de los frutos seleccionados de las plantas nativas (Meneses *et al.*, 2018).

## 2.9. Clasificación taxonómica y características botánicas del chile habanero

La Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2009), presenta la clasificación del chile habanero describiendo al reino y especie al que pertenece (cuadro 1).

**Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la planta de chile habanero**

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Orden</b>	<i>Solanales</i>
<b>Familia</b>	<i>Solanaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Capsicum L., 1753</i>
<b>Especie</b>	<i>chinense Jacq., 776</i>

Es una planta de ciclo anual, que puede alcanzar hasta 12 meses de vida, dependiendo del manejo agronómico. Su tallo es grueso, erecto y robusto, con un crecimiento semideterminado. Las hojas son simples, lisas, alternas y de forma lanceolada, de tamaño variable, lo mismo que su color, el cual puede presentar diferentes tonos de verde, dependiendo de la variedad. Tiene una raíz principal de tipo pivotante, que profundiza de 0.40 a 1.20 metros, con un sistema radicular bien desarrollado, cuyo tamaño depende de la edad de la planta, las características del suelo y las prácticas de manejo que le proporcionen (González *et al.*, 2011).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2015), señala que la floración inicia cuando la planta empieza a ramificarse. Las flores se presentan solitarias o en grupos de dos o más en cada una de las axilas, y son blancas. Su tamaño varía entre 1.5 y 2.5 centímetros de diámetro de la corola. El número de sépalos y pétalos es variable, de cinco a siete, aún dentro de la misma especie, lo mismo que la longitud del pedúnculo floral.

Los frutos del *Capsicum chinense* Jacq. generalmente tienen diferentes formas dependiendo de las variedades. Las plantas de la especie *C. Chinense* producen de 2 a 6 frutos por axila, los frutos son verdes en el estado inmaduro, pero usualmente maduran en color rojo, anaranjado, amarillo, café o inclusive blanco e incluso en el municipio de Palizada, Campeche, existen chiles habaneros llamados rosita, por su parecido a las rosas. Todos los frutos de *C. chinense* tienen el mismo olor característico, independientemente del color de maduración (Canul *et al.*, 2012).

El fruto es una baya poco carnosa y hueca; tiene entre tres y cuatro lóbulos, las semillas se alojan en la placenta y son lisas y pequeñas, con testa de color café claro a oscuro, y su periodo de germinación varía entre 8 y 115 días. Los frutos son de un tamaño entre 2 y 6 centímetros. Su sabor siempre es picante, aunque el grado de picor depende del cultivar (Ruiz *et al.*, 2011).

## **2.10 Material Vegetal**

En el presente trabajo se utilizó el habanero híbrido Rey Pakal, cuyas principales características son las siguientes: una planta vigorosa que provee cosechas prolongadas y con alto rendimiento. El fruto uniforme madura a los 130 días y es de tamaño grande, midiendo en promedio 5 centímetros. El fruto maduro es de color rojo medio oscuro, aromático y muy picante, con unidad Scoville de 200,000.

Rey Pakal tiene la capacidad de alcanzar su madurez con mínimas unidades de calor, lo que la hace muy adaptable. Resistencia observada a la virosis, específicamente a: CMV (*Cucumber Mosaic Virus*).

## **2.11 Importancia del tipo de suelo en el cultivo del chile**

Los trabajos y estudios en la agricultura y manejo de recursos naturales se han orientado en desarrollar, buscar, interpretar y aplicar métodos de análisis de suelo, planta y agua, para tender a obtener sistemas agrícolas sustentables, manejar eficientemente los recursos naturales y conservar el ambiente (Bautista y Palacio 2005).

El suelo es una unidad dinámica, se encuentra en constante cambio con el tiempo y el espacio, contiene material mineral y orgánico no consolidado que ha sido sujeto a los factores formadores (clima, roca, organismos, relieve y tiempo). En el suelo se desarrollan diversos procesos físicos, químicos y biológicos, responsables de su morfología, características y funciones. La formación de un suelo es un proceso largo que dura de cientos a miles de años, por lo que este recurso natural debe considerarse como no renovable (Arnold, 1990; SSSA, 1997).

De acuerdo con la FAO (1996), el suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo.

El suelo puede ser un indicador de las causas de las diferencias en el tipo y distribución de la vegetación en un ecosistema dado, debido a que sus características físicas y químicas como pH, materia orgánica, salinidad, disponibilidad de nutrientes, textura, profundidad, compactación y origen mineral, determinando la distribución natural de la vegetación (Bautista y Palacio, 2005)

Bautista *et al.*, (2011), señalan que las principales funciones del suelo son las siguientes: a) los suelos constituyen el medio natural en donde se desarrolla la vegetación y los cultivos agrícolas; b) en ellos se descomponen los residuos orgánicos y se reciclan los nutrimentos; c) son reguladores de la calidad del agua y del aire, pues funcionan como un reactor: filtrando, amortiguando y transformando compuestos, entre ellos, los contaminantes; d) representan el hábitat de muchos organismos; e) son el medio de sostén de la estructura socioeconómica, habitación, desarrollo industrial, sistemas de transporte, recreación, etc; f) son fuente de materiales como arcilla, arena, grava y minerales; y g) son parte de la herencia cultural por cuanto albergan importantes tesoros arqueológicos y paleontológicos, fundamentales para conocer la historia de la tierra y la humanidad.

Los suelos contienen todos los elementos esenciales que la planta de cualquier cultivo requiere para su desarrollo y reproducción; sin embargo, en la mayoría de los casos, no en las cantidades suficientes para obtener rendimientos altos y de buena calidad, por lo que es indispensable agregar los nutrimentos por medio de fertilizantes. Un suelo infértil produce menos, tiene menos cobertura vegetal y está más expuesto a la erosión. El uso adecuado del fertilizante requiere conocer sus características, su efecto en las plantas y el suelo, las formas de aplicación y cómo se deriva y se prepara una dosis de fertilización con base en los fertilizantes disponibles (SAGARPA, 2010).

Al ignorar su existencia y funciones, el suelo no es considerado en los planes agropecuarios, forestales y en los relacionados con el cuidado del ambiente, o si lo es, se le asigna un bajo nivel de importancia. Debido a lo anterior, existen sitios que tienen problemas de baja producción de alimentos y exceso de materia orgánica acumulada

(excrementos humanos y de granjas avícolas, porcinas y ranchos ganaderos, residuos pesqueros, aguas residuales de alta carga orgánica), con los consecuentes problemas de contaminación del ambiente, salud humana, deterioro del hábitat, degradación de sitios de recreo como playas, cenotes, entre otros, destacando por su importancia la contaminación del agua subterránea de la cual se abastece la población humana (Bautista, 2011).

Tal como lo cita la FAO (1989), tener en cuenta el nivel de fertilidad de un suelo es fundamental ya que son escasas las tierras con niveles de fertilidad natural adecuadas que permiten obtener rendimientos moderados durante largos periodos de tiempo.

## **2.12 Tipos de suelo en la Península de Yucatán**

Para el sistema de clasificación de suelos se adoptó la clasificación propuesta por la FAO/UNESCO en 1968, y que fue modificada por la comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) (actualmente Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI) y que es utilizada en la caracterización y cartografía de los suelos (Bautista, 2005).

Un rasgo distintivo de la fisiografía de la Península de Yucatán, es su extrema variación microtopográfica. La península de Yucatán se ubica en la porción oriental de la República Mexicana, comprende un área de 139 811 km<sup>2</sup> e incluye los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo (Cabrera-Cano y Flores, 1993). Bordeada por las aguas de dos mares del Océano Atlántico: el Golfo de México por el occidente y norte, y el mar de las Antillas o Caribe por el oriente, representa el extremo oriental del territorio mexicano, a manera de un apéndice. Comprende además el territorio de Belice y el norte de Guatemala (Lugo, 1999).

La Península de Yucatán se caracteriza por tener una gran diversidad de suelos en extensiones pequeñas de terrenos (Duch, 1988). Este es un hecho que tiende a ser ignorado, debido al escaso conocimiento de los suelos en todos los niveles y a la poca

información sobre el uso y manejo de los mismos. Para conocer las particularidades de los suelos es necesario caracterizarlos y clasificarlos correctamente para así poder utilizar la información que se tiene en la planeación y manejo del recurso. No es posible impactar en la agricultura si no se caracterizan y designan precisa e inequívocamente los suelos (Porta, 1999).

De acuerdo con Bautista (2005), el estado de Yucatán cuenta con las siguientes unidades de suelos:

- **Cambisol (B)**. Son suelos jóvenes y pocos desarrollados pueden presentar ligera acumulación de arcilla,  $\text{CaCO}_3$ , Fe, Mn, etc. Estos suelos son altamente susceptibles a la erosión.
- **Cambisol gléyico (Bg)**. Presentan alguna capa saturada periódicamente con agua.
- **Cambisol cálcico (Bk)**. Se caracterizan por ser calcáreos en todas sus capas, o por tener acumulación de caliche suelto en alguna profundidad, pero con una capa superficial de color claro, o pobre en materia orgánica.
- **Cambisol crómico (Bc)**. Tienen color rojizo o pardo oscuro.
- **Castañozem (K)**. Presentan una capa superior de color pardo o rojo oscuro, rica en materia orgánica y nutrimentos; y acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo.
- **Castañozem Haplico (Kh)**. Se caracterizan por tener acumulación de caliche suelto en pequeñas manchas blancas dispersas o en una capa de color claro de menos de 15 cm de espesor.
- **Feozem (H)**. Tiene una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrimentos.
- **Gleysol (G)**. Suelos que se inundan en alguna época del año se caracterizan por presentar colores grises, azulosos o verdosos que al secarse y exponerse al aire pueden presentar manchas rojas.
- **Gleysol mólico (Gm)**. Tiene una capa superficial oscura, fértil, suave y rica en materia orgánica.

- **Litosol (L).** Suelos con una profundidad menor a los 10 cm.
- **Luvisol (L).** Suelos que tienen un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo, son levemente ácidos y altamente fértiles, son de color rojo o pardo rojizo. Suelos que tienen un horizonte árgico, tienen capacidad de intercambio catiónico igual o mayor a 24 cmol kg<sup>-1</sup> de arcilla en todo su espesor.
- **Luvisol crómico (Lc).** Presenta colores rojo o amarillento en el subsuelo y son de fertilidad moderada.
- **Luvisol cálcico (Lc).** Son suelos ricos en cal, que puede presentarse en el subsuelo en forma de polvo o caliche y son de fertilidad moderada a alta.
- **Nitosol (N).** Suelos muy profundos (más de 150 cm), enriquecidos con arcilla y son de color rojo.
- **Nitosol, éútrico (Ne).** Son suelos ligeramente ácidos.
- **Regosol (R).** Suelos que no presentan diferenciación clara entre los horizontes.
- **Rendzina (E).** Suelos someros (menos de 50 cm de profundidad), con una capa superficial abundante en humus y muy fértil (horizonte mólico) que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal (más de 40%) y generalmente son arcillosos.
- **Solonchak (Z)** Suelos que presentan un alto contenido de sales en alguna parte o en todo el perfil.
- **Vertisol (V).** Son suelos arcillosos que se agrietan cuando pierden agua. Se presentan en climas templados donde hay una marcada época de secas y lluvias.

El área de estudio en el cual se llevó a cabo el experimento, tiene un suelo tipo Luvisol, es un suelo de color rojo, con alto contenido de carbonatos.

### 2.13. Fertilidad del suelo

De acuerdo con Buckman y Brady (1991) y Marscher (1995), las principales propiedades físicas y químicas que el agricultor debe conocer para tener una mejor comprensión de la fertilidad del suelo y de la respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes son: la textura y los contenidos de arena, limo y arcilla, el humus, la

estructura, los macronutrientes (N, P, K Ca, Mg Y S), micronutrientes (Cl, B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo y Ni), y la reacción del suelo o pH.

De acuerdo con Ranger y Turpault (1999), la fertilidad del suelo es un concepto que incluye los componentes químicos, físicos y biológicos del suelo y desde el punto de vista agrícola un suelo fértil debe:

- Facilitar el crecimiento de las raíces
- Retener y proporcionar agua
- Retener, proporcionar y reciclar los nutrientes
- Facilitar el intercambio gaseoso y
- Estimular la actividad biológica del suelo

Comerford (1999), define la fertilidad del suelo como: estatus del sistema suelo-planta para proporcionar los nutrimentos esenciales al crecimiento de las plantas a través de mecanismos de:

- Liberación de nutrientes de la fase sólida del suelo a la fase soluble
- El movimiento de estos nutrientes a través de la solución del suelo hacia las raíces de las plantas y,
- La absorción de agua y nutrientes por las raíces.

El movimiento de los nutrientes en solución hacia la superficie de la raíz para que puedan ser absorbidos por ésta, se da por flujo de masa o difusión. El flujo de masa es producido por el flujo de transpiración de la planta. Al moverse el agua hacia la raíz, ésta arrastra consigo los nutrimentos; si el abastecimiento por flujo de masa es equivalente o superior a la demanda de las plantas, entonces todo el abastecimiento de nutrimentos estará dado por flujo de masa. Si el suministro por flujo de masa es menor que la demanda de agua, la concentración de la solución en la superficie de la raíz es reducida a la solución global del suelo estableciéndose un gradiente de difusión. Para el flujo de masa y difusión, la magnitud de flujo del nutriente es proporcional al contenido de agua del suelo.



## **2.14. Riego y fertilización del cultivo de chile**

El chile es un cultivo susceptible al estrés hídrico debido a su gran área foliar y su elevada apertura estomatal. Los estomas son los primeros afectados, y el cierre estomatal puede afectar la fotosíntesis. El estrés hídrico reduce significativamente la materia seca de hoja y tallo, además afecta negativamente la producción del fruto e incrementa su número con una mala calidad. La diferencia en el crecimiento de la planta también tiene efecto negativo sobre la duración del área foliar a lo largo del ciclo del cultivo y, como consecuencia, reduce la radiación absorbida por el dosel en alrededor del 20% (Delfine *et al.*, 1999).

El riego localizado reduce el volumen de suelo húmedo y el área de concentración de nutrientes (hasta un 40%), pero no afecta el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, es necesario conocer el requerimiento nutrimental de los mismo, ya que de lo contrario el efecto puede ser negativo. El tipo de suelo y el establecimiento determinan la forma de riego y fertilización adecuada (Dominguez, 1993). El abastecimiento de agua es un factor importante en el sistema suelo- planta que permite el desarrollo adecuado (Bar-Yosef, 1999), por lo que se requiere conocer la demanda hídrica, las características hidráulicas del suelo y la demanda evaporativa del ambiente. Esta información es más importante cuando se cultiva con riego por goteo (Clark, 1992).

## **2.15. Nutrición en el cultivo de Chile**

Aunque se debería dar gran importancia al manejo del cultivo de chile en México, debido a lo que representa económicamente para los productores y la economía del país en general, son insuficientes los trabajos de investigación sobre el manejo de la fertilización y los niveles óptimos de nutrientes requeridos para su correcto desarrollo y la manifestación de altos rendimientos.

En tal contexto, en la mayoría de los sistemas de producción agrícola, el uso de fertilizantes muestra una baja eficiencia de recuperación o reaprovechamiento, la cual

no ha sido cuantificada debidamente, pero que representa un fuerte impacto en la rentabilidad y en el deterioro ambiental a través de la contaminación del agua, la erosión e intoxicación del suelo (Syers, 2008). La nutrición de los cultivos debe realizarse oportunamente, de tal forma que se les proporcione los nutrimentos en las cantidades adecuadas (dosis) y en el momento oportuno (frecuencia), en función de su necesidad fisiológica (fenología). Sólo así se obtendrá el rendimiento potencial, ya que éste depende del manejo controlado y las condiciones ambientales. Asimismo, es indispensable conocer las fuentes de nutrientes más adecuadas para las condiciones específicas de cada tipo de suelo en el que se establecerá el cultivo, para obtener la mayor eficiencia de los mismos. Respecto a lo anterior, el conocimiento adecuado para la correcta dosificación de los cultivos, sólo se podrá obtener mediante la realización de ensayos de nutrición vegetal controlados (Tun, 2003).

La buena fertilidad que pueda tener el suelo de forma natural, no garantiza la producción óptima que se desea establecer, pues los nutrimentos pueden estar en forma no asimilable debido a diversas causas, provocando deficiencias en el rendimiento de los cultivos. El inadecuado suministro de nutrientes es una limitante en el rendimiento del chile, los cuales debido a que crecen de manera vertiginosa y producen intensivamente, requieren de altas cantidades de nutrientes en periodos cortos de tiempo (Tun, 2000). La interacción entre los macro y micronutrientes provoca alteraciones subcelulares que se manifiestan en cambios en las tasas de división y expansión celular, en el uso y transporte de carbohidratos y ácidos orgánicos, en la fotosíntesis, la respiración, etc.; la influencia neta de estos cambios se refleja en el rendimiento, la calidad, la fisiología y la bioquímica postcosecha. La práctica actual de decidir sobre la dosis de fertilización, muchas veces se basa únicamente en amplias experiencias locales, lo cual es útil para obtener buenos rendimientos, sin embargo, no es efectiva ni económica, y frecuentemente ocasiona contaminación de acuíferos por el exceso de fertilizantes aplicados (Arellano y Gutiérrez, 2003).

La fertilización debe hacerse considerando fundamentalmente la demanda nutrimental de la planta, de tal manera que cumpla su función, es decir, cubrir el requerimiento

nutrimental en cantidad y en oportunidad, para favorecer la expresión del rendimiento y garantizar que la mayor parte del fertilizante aplicado sea aprovechado por el cultivo (Castro *et al.*, 2003). Los requerimientos de nutrición de las hortalizas varían considerablemente entre especies y puede ser difícil mantener rendimientos altos en el mismo suelo. Las prácticas de mejoramiento de la fertilidad del suelo tales como el abono orgánico y la rotación de cultivos, conjuntamente con la dosificación adecuada, parecen necesarias para mejorar los resultados en la producción comercial de chile habanero (Coffey, 1983).

## **2.16. Macro y micronutrientes**

Los elementos con funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas se clasifican, según su concentración y conforme a sus requerimientos para el adecuado crecimiento y reproducción, en dos grupos: macronutrientes y micronutrientes (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 2001; Epstein y Bloom, 2004).

Los criterios de esencialidad de los elementos fueron establecidos por Arnon y Stout (1939) y Arnon (1950, 1951) después de haber llevado a cabo estudios detallados sobre la nutrición mineral en diferentes cultivos. Estos criterios, establecen lo siguiente:

1. En la ausencia del elemento esencial la planta no puede completar su ciclo de vida.
2. La acción de un elemento esencial es específico y ningún otro elemento lo puede sustituir completamente.
3. El elemento esencial debe ser constituyente de un metabolito o ser funcional de una enzima específica necesaria.

En el cuadro 2 se muestran los elementos esenciales para la nutrición de las plantas, incluyendo el uso al que se destinan y los principales síntomas de deficiencia.

**Cuadro 2. Elementos esenciales, características y principales síntomas de deficiencia en las plantas.**

Grupo	Elemento	Movilidad en suelo	Forma aprovechable	Uso	Síntoma de deficiencia
Macronutrientes Elementos mayores/ primarios	Carbono (C)	Móvil	CO <sub>2</sub>	Estructural	
	Hidrógeno (H)	Móvil	H <sub>2</sub> O	Estructural	
	Oxígeno (O)	Móvil	H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub>	Estructural	
	Nitrógeno (N)	Móvil	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , urea, aminoácidos	Estructural	Clorosis en las hojas viejas
	Fósforo (P)	No móvil	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Estructural	Hojas con margen color púrpura
	Potasio (K)	No móvil	K <sup>+</sup>	Funcional	Hojas con márgenes cloróticos
Elementos Secundarios	Calcio (Ca)	No móvil	Ca <sup>++</sup>	Estructural	Achaparramiento y raíces cortas
	Magnesio (Mn)	Móvil	Mg <sup>++</sup>	Estructural	Hojas con clorosis intervenal
	Azufre (S)	Móvil	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Estructural	Hojas jóvenes cloróticas y

					poco desarrolladas
Micronutrientos Elementos menores/ oligoelementos	Fierro (Fe)	No móvil	Fe <sup>++</sup>	Funcional	Hojas con clorosis intervenal
	Manganeso (Mn)	No móvil	Mn <sup>++</sup>	Funcional	Clorosis intervenal
	Zinc (Zn)	Móvil	Zn <sup>++</sup>	Funcional	Hojas jóvenes con clorosis intervenal
	Cobre (Cu)	No móvil	Cu <sup>++</sup>	Funcional	Hojas jóvenes amarillas y poco desarrolladas
	Molibdeno (Mo)	No móvil	MoO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Funcional	Hojas con clorosis y apacharramiento
	Boro (B)	Móvil	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , HBO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , B(OH) <sub>3</sub>	Funcional	Poco crecimiento apical y puntas cloróticas
	Cloro (Cl)	Móvil	Cl <sup>-</sup>	Funcional	Hojas marchitas cloróticas y raíz corta
	Níquel (Ni)	No móvil	Ni <sup>++</sup>	Funcional	

Para que un elemento pueda ser absorbido por la planta, el nutrimento, generalmente debe estar en forma iónica hidratada. Por ejemplo, el azufre debe estar en forma iónica como sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) o el Nitrógeno como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^+$ ).

## **2.17. Función de los macronutrientes en el cultivo de chile**

El nitrógeno (N) es un componente de enzimas y proteínas, e interviene en los procesos metabólicos de la planta. Forma parte de los compuestos orgánicos como la clorofila, aminoácidos, alcaloides y hormonas, y es el nutrimento requerido en mayor cantidad (Archer, 1988; Marshner, 1995). La demanda de N es muy alta en las primeras fases de desarrollo del pimiento, reduciéndose a partir del primer corte; para evitar un efecto negativo sobre la maduración se debe controlar en esta etapa, pues un exceso retrasa la maduración (Domínguez, 1993).

El fósforo forma parte de proteínas vegetales, fosfolípidos, fosfatos de azúcares, ácidos nucleicos, ATP y NADP, los cuales almacenan y liberan la energía química requerida para el metabolismo de los tejidos que crecen con mayor rapidez (meristemos), frutos en maduración, raíces y semillas (Mengel y Kirkby, 1981).

Si la planta no absorbe el suficiente fósforo (P), no se podrá desarrollar de manera adecuada, debido a que el P juega un papel vital en todos los procesos que requieren transferencia de energía en la planta. Los fosfatos de alta energía, que son parte de la estructura química de la adenosina difosfato (ADF) y de la adenosina trifosfato (ATF), son la fuente de energía que impulsan una multitud de reacciones químicas dentro de la planta. La transferencia de los fosfatos de alta energía del ADF y ATF a otras moléculas (proceso denominado fosforilación), desencadena una gran cantidad de procesos esenciales para la planta (Armstrong, 1991). Por ello, el adecuado suplemento de P es esencial para el desarrollo de nuevas células y para la transferencia del código genético de una célula a otra, a medida que se desarrollan (Múnera Vélez, 2014).

La transformación de los fosfatos de un compuesto a otro, está controlada principalmente por el pH. A medida que los suelos se tornan ácidos, las actividades del hierro y el aluminio aumentan y los fosfatos de Calcio relativamente solubles, se convierten en compuestos de hierro y aluminio menos solubles (Armstrong, 1991).

La principal función del potasio (K) es la de regular procesos celulares, incluyendo la síntesis de proteínas y existen más de 50 enzimas que dependen o son estimuladas por el K (Marshner, 1995). El K interviene en el metabolismo glucídico y proteínico, equilibrio hídrico, apertura y cierre de estomas, mantiene la turgencia celular, absorción y reducción del nitrato, división celular, acumulación y translocación de carbohidratos. Su deficiencia puede provocar manchas cloróticas que luego se vuelven necróticas, al intensificarse la carencia ocurre la disminución del crecimiento. Las plantas que presentan esta deficiencia son sensibles a enfermedades provocadas por microorganismos (Jones *et al.*, 1991).

El potasio juega un papel vital en el crecimiento y metabolismo de la planta, aunque no es un constituyente de algún componente vegetal. Por lo general, se reconoce que la deficiencia de K suprime el crecimiento de la planta y disturba muchos aspectos del metabolismo de la hoja tales como la concentración de carbohidratos, así como las tasas fotosintéticas y de translocación (Baghour *et al.*, 2001).

## **2.18. Dinámica del fósforo en los suelos de la península de Yucatán**

El fósforo del suelo (P) es un recurso indispensable para la producción de cultivos y alimentos y proviene de dos fuentes: el suministro de P del suelo que existe debido a los procesos biogeoquímicos de formación del suelo y el P antropogénico (fertilizante y estiércol) que se agrega al suelo durante los procesos agrícolas. Hoy en día debido a la necesidad de producir altos rendimientos para alimentar a la alta población mundial, la mayoría de los sistemas agrícolas del mundo no se pueden mantener solo el suministro de P del suelo y dependen en gran medida del P antropogénico, en particular del aportado por el fertilizante (Magnone *et al.*, 2017).

La forma en la cual el fósforo (P) se transforma a través del tiempo de intemperización de un suelo, ha sido descrita a través de un modelo por Walker y Syers (1976). Este modelo, muestra que en los suelos que se encuentran en los inicios de su desarrollo, prácticamente todo el P se encuentra en las formas minerales primarias del suelo. Estas fracciones disminuyen a través del tiempo de intemperización, debido a la disolución de los minerales primarios fosforados y los fosfatos liberados son absorbidos y posteriormente reciclado por las plantas y los microorganismos, formándose así la fracción de P orgánico (Crews *et al.*, 1995). El P orgánico aumentaría con la edad geológica del suelo hasta un máximo, para luego disminuir lentamente (Mengel y Kirkby, 1982). El P disuelto desde los minerales primarios, además, puede ser adsorbido por las arcillas o precipitarse con algunos cationes que son liberados durante la intemperización del suelo (Tiessen *et al.*, 1984). Este P inorgánico (P no ocluido) se mantiene en forma lábil por un periodo de tiempo, pudiendo ser liberado a la solución y extraído por las plantas o microorganismos. El P adsorbido que no es extraído por los organismos finalmente puede ser ocluido por Hierro (Fe) y Aluminio (Al), o por las arcillas reactivas de los suelos a través de una difusión intrapartículas (Barrow, 1983; Johnston, 2000). De esta manera, la oclusión del P inorgánico aumenta con la evolución de los suelos, debido a la disolución de ciertos minerales secundarios que liberan óxidos de Fe y Al, los cuales tienen una alta afinidad por los fosfatos. Debido a este fenómeno el P no ocluido llega hasta un máximo y luego disminuye, para aumentar así con el tiempo de evolución el P ocluido (Crews *et al.*, 1995). Por ello, un mayor conocimiento de todas las fracciones e interrelaciones del fósforo inorgánico y fósforo orgánico existentes en el suelo, es fundamental para entender la dinámica del fósforo, así como también su rol durante la génesis de los suelos.

El fósforo (P) en los suelos proviene de compuestos fosforados presentes en los minerales primarios siendo los principales, apatita, fluorapatita (fosfatos de Calcio), strengita (fosfatos de hierro), variscita (fosfatos de Aluminio) y otros compuestos. El P constituye entre un 0,005 y 0,15% de los compuestos sólidos de la superficie de los



suelos, no habiendo una relación directa entre fósforo total (suma del P orgánico y P inorgánico) y fósforo disponible (Havlin y Beaton, 1998; Pinochet *et al.*, 2001).

El fósforo (P) es un elemento esencial para la vida, siendo fundamental en el metabolismo de los organismos. Además, participa en innumerables rutas metabólicas, y es un componente de las moléculas esenciales de la célula tales como los fosfolípidos, ARN, ADN y del principal cofactor nucleotídico (ATP), requerido para la transferencia de energía y catálisis celular (White y Metcalf, 2007).

En particular, las plantas y los microorganismos edáficos obtienen este elemento de la solución del suelo, principalmente de las formas inorgánicas más disponibles (ortofosfato  $\text{PO}_4^{3-}$ ), pero debido a su alta reactividad química y su demanda, su disponibilidad se reduce rápidamente. Cuando el ortofosfato no está disponible, es necesario adquirir el P de otras formas químicas, entre las cuales, las formas orgánicas son la principal fuente alternativa. Los microorganismos pueden adquirirlo de formas orgánicas lábiles, como los ésteres de fosfato que son fácilmente hidrolizables, los cuales contienen P en su mayor estado de oxidación, +5 (Kononova y Nesmeyanova, 2002).

Estos ésteres se caracterizan por tener uniones entre carbono-oxígeno- fósforo (C-O-P), los cuales son fáciles de romper. Así mismo, se sabe que algunas bacterias y hongos tienen la capacidad de utilizar como fuente de P algunos compuestos organofosforados con menor estado de valencia, +3 (White y Metcalf, 2007), principalmente los fosfonatos, los cuales se caracterizan por tener un enlace directo carbono-fósforo (C-P), pero se requiere de mayor energía para romper este enlace y, por lo tanto, dejar disponible al P.

La principal fuente inicial del fósforo son los minerales primarios, principalmente la apatita. El intemperismo de estos minerales suministra iones fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) a la solución del suelo (Cross y Schlesinger, 1995; Whalen y Sampedro, 2010) y

posteriormente, las bacterias, hongos y plantas incorporan estos iones fosfato en su biomasa, iniciando con esto la ruta biológica del P (Cross y Schlesinger, 1995).

Walker y Syers (1976) propusieron un modelo que aún en la actualidad es ampliamente aceptado sobre la evolución del P en el suelo durante la pedogénesis. Dicho modelo, sugiere que la disponibilidad y la oclusión de este nutriente depende de la edad del suelo. Por lo tanto, propone que los diferentes estadios del suelo cambiarán la proporción de las diferentes formas químicas del P.

Este modelo sugiere que para suelos jóvenes poco intemperizados, la proporción de P en minerales primarios (apatita) será alta en comparación con suelos viejos muy intemperizados, donde dominarán las fracciones de P orgánico (Po) y P inorgánico ocluido (Poc), reduciendo así su disponibilidad.

Generalmente, la concentración de iones fosfato en la solución del suelo es muy baja debido a su alta reactividad química. Estos iones pueden tener diferentes destinos y, por lo tanto, formar parte de diferentes fracciones en el suelo:

- a) Ser rápidamente asimilados por la biota, formando parte de la fracción de Po, una vez que retorna la materia orgánica al suelo,
- b) Pueden reaccionar rápidamente quedando adsorbidos en la superficie de partículas órgano-minerales a través de fuerzas electrostáticas, la cual representa la fracción de P adsorbido (Pad) o
- c) Precipitarse en minerales secundarios, como aluminio, hierro y calcio (Al, Fe y Ca), lo que representaría al Poc.

Los residuos orgánicos de las plantas, animales y biomasa microbiana muerta contienen compuestos de fósforo orgánico que pueden ser hidrolizados y mineralizados por acción de enzimas (fosfomono-fosfodi- y fosfotri-esterasas) de origen microbiano y vegetal. Este proceso es conocido como mineralización bioquímica, cuyo producto es la liberación de iones fosfato a la solución del suelo.

El fósforo en el suelo puede encontrarse en diferentes formas químicas, cada una de las cuales juega un papel diferente y fundamental en el reciclado del P, influyendo además en la dinámica de otros nutrientes, como el C y el N (Cross y Schlesinger, 2001; Buckingham *et al.*, 2010; Selmants y Hart, 2010). El grado de estabilización del P depende de la complejidad de la molécula o el elemento de unión. De esta manera, los compuestos de fósforo inorgánico casi siempre se encuentran unidos a diferentes formas de Al, Fe y Ca, dependiendo del pH del suelo (Buckingham *et al.*, 2010).

Ciertos microorganismos pueden sintetizar ácidos orgánicos con lo que se acidifica el suelo y se pueden liberar iones fosfato de las superficies de intercambio, aumentando la concentración de los iones en la solución del suelo y, por lo tanto, su disponibilidad (Coyne, 1999).

Una alta concentración de iones fosfato en la solución del suelo, está relacionada con una alta disponibilidad de fósforo para la biota. Sin embargo, es forma química del P es rápidamente ocluida por las partículas del suelo, lo cual limita su disponibilidad (Giardina *et al.*, 2000; Tiessen *et al.*, 1983)

El fósforo es un elemento esencial para las plantas debido a que permite el adecuado crecimiento radical y por lo tanto el desarrollo de la planta, y de manera natural se encuentra en bajas concentraciones en los suelos no disturbados. Cuando el suelo se incorpora a la producción agrícola, es necesario adicionar fósforo con el uso de fertilizantes (Brady and Weil, 2002). El fósforo es el segundo elemento en importancia después del nitrógeno (Schachtman *et al.*, 1998). Para 2003 la productividad de alrededor del 30% de la superficie cultivada a nivel mundial estaba limitada por la falta de este elemento en el suelo (Vance *et al.*, 2003).

Grant *et al.* (2001) señalan que el fósforo es vital para el metabolismo de las plantas, puesto que juega un papel muy importante en la transmisión de energía dentro de las células, en su respiración y en el proceso fotosintético, es un componente estructural de los ácidos nucleicos y de los cromosomas, así como de muchas enzimas,

fosfoproteínas y grasas. Tisdale *et al.*, (1999) señalan que es de primordial importancia puesto que interviene en la producción de energía en el proceso de fosforilación. Por ello, las deficiencias de fósforo en los cultivos al inicio de su ciclo vegetativo pueden resultar en un desarrollo deficiente del que las plantas no se recuperan, aún si es suministrado posteriormente hasta alcanzar niveles adecuados (Grant *et al.*, 2001).

Por otra parte, en la Península de Yucatán los contenidos de Calcio (Ca) son altos, y como consecuencia su pH va de neutro a alcalino. Por lo tanto, la disponibilidad de fósforo (P) para los cultivos está limitada debido a la baja solubilidad del mineral en este intervalo de pH (Johnson *et al.*, 2003). Adicionalmente, el poco P que se encuentra en forma soluble en el suelo, interactúa con el Calcio para formar fosfatos de calcio de muy baja solubilidad, que no pueden ser absorbidos por las plantas, lo que reduce aún más su disponibilidad del nutriente para los cultivos (Afif *et al.*, 1993; Hedley and McLaughlin, 2005; Wang *et al.*, 2005; Mc Beath *et al.*, 2006; Sánchez, 2007), causando deficiencia de este elemento.

Por lo anterior, uno de los objetivos del presente trabajo consistió en evaluar diferentes dosis de fertilización con fósforo, para estudiar la respuesta de las plantas de chile habanero y establecer, con base en el método conceptual simplificado, recomendaciones de fertilización fosforada para el cultivo en los suelos calizos de Campeche, para contribuir a establecer una agricultura sustentable.

## **2.19. Tipos de fertilizantes**

Los fertilizantes se aplican para subsanar las deficiencias de nutrimentos primarios, secundarios y con menor frecuencia para micronutrimentos. Las deficiencias se pueden diagnosticar visualmente; sin embargo, se deben confirmar con el análisis químico de la planta, ya que otros problemas se pueden confundir con carencias nutrimentales, además requieren ciertas cantidades de nutrimentos según sus propias necesidades. Esto indica que un suelo puede ser fértil para un cultivo, pero infértil para otro (SAGARPA, 2007).

Los nutrimentos contenidos en los fertilizantes se expresan como porcentaje de: nitrógeno (N), pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), óxido de potasio ( $K_2O$ ), Ca, Mg y S en forma elemental, aunque algunas veces el calcio y magnesio se expresan como óxidos (CaO, MgO). El carbono es constituyente de todos los compuestos orgánicos presentes en la estructura de la planta hasta llegar al nivel de la célula. A nivel radical es importante como componente del anión  $HCO_3^-$  (bicarbonato), en el proceso del intercambio en la nutrición de las plantas. El uso de valores de referencia para clasificar un suelo como rico, mediano o pobre es un error frecuente ya que no considera a la especie de cultivo, cuya eficiencia para absorber el P del suelo depende de la concentración del elemento en el suelo y de la capacidad de absorción radical (Etchevers, 1999).

## **2.20. Metodologías para recomendar dosis de fertilización**

Las metodologías que se han utilizado para generar recomendaciones de fertilización han sido ligadas al desarrollo de los conocimientos del suelo, clima, estadísticas y conceptualización de la relación suelo-planta (Etchevers *et al.*, 1991), invirtiendo en este proceso más de 80 años de investigación agrícola en:

- La extrapolación de recomendaciones
- Recomendación media regional
- Análisis químicos de suelo y plantas
- Recomendación específica por agrosistema
- Funciones generalizadas de producción
- Modelo conceptual
- El sistema integrado para recomendar dosis de fertilización (SIRDF)

Actualmente, la generación de metodologías para recomendar dosis de fertilización ha llamado la atención de especialistas en fertilidad de suelos y economistas, dada la necesidad de utilizar de forma más eficiente los fertilizantes, al incremento de su precio, al mejoramiento de la calidad de los alimentos, y por la necesidad de conservar el

medio ambiente (Salgado *et al.*, 2001). El incremento de la población aumentará la demanda de servicios de los ecosistemas, incluido el suelo, lo que aumentará la demanda de fertilizante fosfatado. Esto es motivo de preocupación dado que el fertilizante con P se extrae de los recursos geológicos y, por lo tanto, es un recurso finito por lo que el uso eficiente de P en los sistemas agrícolas es de suma importancia para enfrentar el desafío de alimentar a la creciente población mundial (Van Vuuren *et al.*, 2010).

## **2.21. Determinación de dosis de fertilización con el modelo conceptual**

Rodríguez (1993) propone la utilización del modelo conceptual simplificado para estimar dosis de fertilización razonada, debido a que resulta sencilla, ya que es capaz de describir el esquema nutrimental de los cultivos en su totalidad con un mínimo de postulados.

Con este modelo se determinan las dosis de fertilización cuyas bases se encuentran en el balance entre la demanda del nutriente por el cultivo (DEM) y el suministro que hace este del suelo (SUM) por lo que, si la demanda es mayor que el suministro se producirá un déficit del nutriente que será necesario cubrir con fertilización. Cuando la demanda es menor que el suministro se aplicará una dosis de mantenimiento para mantener la fertilidad del suelo y los rendimientos con base a criterios agronómicos y experiencia regional. En dichos términos, la dosis de fertilización (DF) está definida por la diferencia entre la demanda y el suministro, así como por la eficiencia de aprovechamiento del fertilizante por el cultivo (EF); ya que sólo una parte del nutriente aplicado es aprovechado y al final se tiene un modelo para calcular la dosis de fertilización de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$DF = (DEM - SUM) / EF \quad (1)$$

Donde:

DF = Dosis de fertilización del nutriente ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

DEM = Demanda del nutriente por el cultivo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

SUM = Suministro del nutriente por el suelo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

EF = Eficiencia de aprovechamiento del fertilizante por el cultivo (adimensional).

La cuantificación de los términos que intervienen en la ecuación (1) se describe a continuación:

- Demanda (DEM). La demanda del cultivo es equivalente a la extracción del nutrimento, lo que corresponde a su concentración en las diferentes partes de la planta por la producción de cada una de ellas. En la práctica, esta demanda es expresada para un nivel de rendimiento esperado, con base en la producción esperada de materia seca (M.S.). Esta se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{DEM (kg/ha)} = \text{M.S. (\% nutriente planta/100)} \quad (2)$$

Donde:

M.S. = Producción de materia seca esperada en el cultivo ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )

%nutriente planta = Porcentaje del nutriente en la materia seca del cultivo.

Para estimar la demanda de nitrógeno, fósforo y potasio la materia seca incluye el total de la biomasa aérea (para Chile hojas + tallos + frutos).

- Suministro (SUM). El suministro del suelo depende de diversos factores que intervienen en la dinámica de los nutrientes; ya sean del suelo, del clima y del manejo. El suministro corresponde a la cantidad de nutrientes que el cultivo puede extraer del suelo y su estimación se realiza mediante el análisis químico del suelo calibrado con base a dicha extracción. En el suministro del suelo se deben considerar los aportes de los residuos del cultivo que quedan después de la cosecha, por lo tanto, debe de

estimarse la cantidad, contenido nutrimental y tasa de mineralización. Las fórmulas para el cálculo del suministro en el caso del nitrógeno son:

$$\text{SUM}_N = (R_N * 0.04 + \text{NDS}) \quad (3)$$

Donde:

$\text{SUM}_N$  = Suministro de nitrógeno por el suelo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

$R_N$  = Suministro derivado del residuo del cultivo anterior ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

NDS: Nitrógeno derivado del suelo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Para el cálculo del suministro de nitrógeno se considera que únicamente el 4% del nitrógeno aportado por residuos del cultivo anterior se incorpora al suelo y el resto se pierde en el campo.

De manera similar, las ecuaciones para el cálculo del suministro de los macronutrientes fósforo (P) y potasio (K) son:

$$\text{SUM}_P = (P \text{ suelo (ppm)} * E_c) + (\text{M.S.R.}) (\%P \text{ vegetal}/100) \quad (4)$$

$$\text{SUM}_K = (K \text{ suelo (ppm)} * CK) + (\text{M.S.R.}) (\%K \text{ vegetal}/100) \quad (5)$$

Donde:

$\text{SUM}_P$  = Suministro de fósforo por el suelo que el cultivo aprovecha ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

P suelo = Fósforo presente en el suelo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

$E_c$  = Índice de eficiencia del cultivo (adimensional)

M.S.R. = Materia seca residual proveniente de la biomasa aérea de cultivos anteriores ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

%P vegetal = Porcentaje de fósforo en la biomasa aérea de cultivos anteriores.

K suelo = Potasio presente en el suelo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

CK = Eficiencia de absorción de potasio (adimensional)

%K vegetal = Porcentaje de potasio en la biomasa aérea de cultivos anteriores.



El índice de eficiencia del cultivo ( $E_c$ ) se refiere a la cantidad de fósforo, en kilogramos, que el cultivo absorbe por cada parte por millón (ppm) de P-Olsen en el suelo.

La eficiencia de absorción de potasio ( $E_K$ ) indica las ppm de K intercambiable que el cultivo absorbe según el tipo de suelo.

Para calcular el suministro del fósforo y potasio, la materia seca residual (M.S.R.) incluye el 9% de la biomasa aérea más la materia seca (M.S.) de hojas de cultivos anteriores, por considerar que estos nutrientes se incorporan al suelo.

- Eficiencia ( $E_f$ ). Es la cantidad de nutriente del fertilizante que es aprovechado por la planta y depende de factores como: tipo de cultivo, fuente de fertilizante, época y forma de aplicación. En el caso del N la eficiencia se estima entre 50 a 60% (García, 1984), para el caso del fósforo es de 0.20-0.40, para suelos, Vertisol, Fluvisol, Lluvisol, Cambisol y Leptosol) y para el caso del potasio la eficiencia se estima en 0.60, 0.50 y 0.40 ppm para suelos arenosos, franco y arcillosos, respectivamente; bajo cultivo de gramíneas (Rodríguez, 1993).

La eficiencia de aprovechamiento del fertilizante es un valor que engloba diferentes aspectos como: propiedades del nutriente, características del suelo, características de la fuente fertilizante, método y época de aplicación y condiciones climáticas.

Los factores que determinan la eficiencia de aprovechamiento del nitrógeno son:

- Lixiviación. Ocurre cuando el nitrógeno se aplica como  $NO_3$ , cuando se aplica sin fraccionar, en suelos de textura gruesa, zonas de alta precipitación y en suelos sin cobertura vegetal.
- Volatilización. Ocurre cuando se aplican fertilizantes amoniacales o urea superficialmente, en suelos con pH alcalino o neutro, en regiones cálidas, o si se aplica en mezclas con otros fertilizantes de reacción básica.
- Denitrificación. Ocurre cuando el nitrógeno está presente como  $NO_3$ , en suelos con mala aireación, en presencia de microorganismos anaeróbicos.

- Fijación. Ocurre cuando el nitrógeno está presente como  $\text{NH}_4$ , cuando se aplican fuertes dosis amoniacales en suelos ricos en arcillas 2:1.
- Inmovilización. Ocurre cuando se aplican residuos con alta relación C/N en suelos muy pobres en N.

Los factores que determinan la eficiencia de aprovechamiento del fósforo son:

- Fijación. Ocurre cuando el fósforo se aplica al voleo o localizado, en suelos con pH alcalino, porque el P reacciona con el Ca y en suelos con pH ácido porque el P reacciona con el Fe y Al.
- Inmovilización. Ocurre cuando se aplican residuos orgánicos en alta relación C/N, cuando se favorece la actividad microbiana, en suelos muy pobres en P disponible.

Los factores que determinan la eficiencia de aprovechamiento del potasio son:

- Lixiviación. Se presenta cuando se aplican dosis altas de potasio, en suelos con textura gruesa, en suelos muy permeables, en zonas de alta precipitación pluvial. También se presenta cuando se aplican altas dosis de fertilizantes amoniacales que compiten por el potasio por las posiciones de fijación (Bertsch, 1998).
- Fijación. Ocurre en suelos ricos en arcillas 2:1.
- Difusión intra-partícula: el K queda ocluido entre el espacio que deja la unión de las arcillas.

Para asegurar que la dosificación generada con el método conceptual produzcan los rendimientos esperados, es conveniente establecer parcelas de validación a nivel comercial y a partir de estas calcular las dosis de fertilización para el siguiente ciclo.

Existen muchas cosas por hacer para determinar las dosis adecuadas por etapa fenológica para los diferentes cultivos, considerando el suministro de nutrientes del suelo y el agua y la eficiencia de aprovechamiento de los fertilizantes, para no aplicar más nutrimentos de los que requiere la planta, ya que todo exceso influye en un

aumento en los costos de cultivo y en la contaminación del suelo y manto freático, principalmente por nitratos. Debido a los riesgos que representan para la salud humana, los nitratos deben ser monitoreados para valorar la cantidad que se lixivia en los cultivos, y que eventualmente puede llegar hasta los acuíferos de los que se extrae agua para consumo humano.

### **3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **Objetivo general**

Aplicar un modelo simplificado para la estimación de dosis de fertilización fosforada en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) en Campeche.

#### **Objetivos particulares**

- Definir si la dosis de fertilización fosforada aplicada por el productor participante es la correcta.
- Estimar una dosis de fertilización fosforada para el cultivo de chile habanero, a través del método simplificado, tomando en consideración el tipo de suelo.
- Determinar la cantidad de P absorbido por la planta.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general**

La aplicación del modelo conceptual simplificado permite determinar la dosis óptima de fertilización fosforada para mejorar el rendimiento y la calidad de los frutos en el chile habanero.

### **Hipótesis particulares**

- La dosis de fertilización fosforada aplicada por el productor participante es la adecuada.
- La aplicación del método conceptual simplificado permite estimar la dosis de fertilización fosforada adecuada para el cultivo en un suelo determinado.

## JUSTIFICACIÓN

El fósforo (P) se encuentra naturalmente en bajas concentraciones en suelos no perturbados, es poco móvil, y poco soluble debido a que forma compuestos insolubles con aluminio y hierro en suelos ácidos y con calcio en suelos alcalinos (Brady y Weil, 2002).

En suelos calcáreos como los de la Península de Yucatán, el P aplicado en los fertilizantes interactúa con el Ca formando fosfatos de calcio de baja solubilidad, reduciendo su disponibilidad para las plantas (Afif *et al.*, 1993, Hedley y McLaughlin, 2005, Mc Beath *et al.*, 2006, Sánchez, 2007). Estos suelos inhiben la eficiencia de la fertilización con fósforo, debido a la rápida reacción de fijación entre el fósforo aplicado y los altos contenidos de calcio en el suelo (Sharpley 2000, Hedley y McLaughlin, 2005). La deficiencia de P tiene efectos negativos sobre los componentes del rendimiento y la calidad de los frutos, y afecta las características morfológicas y fisiológicas de las raíces, reduciendo su número total y por lo tanto la capacidad de absorción de agua y nutrientes.

Actualmente, son escasos los estudios para recomendar dosis racionales de fertilización fosfórica en el cultivo de chile habanero, empleando métodos basados en el análisis químico del suelo, en la demanda del nutriente por la planta, de acuerdo con el rendimiento esperado, así como en la eficiencia de la fertilización con fósforo.

Es necesario generar conocimiento para aumentar la eficacia de las técnicas para su producción, optimizar la fertilización para disminuir los costos y reducir el efecto negativo sobre el ambiente, y al mismo tiempo se propicie una óptima calidad y cantidad de los productos. Esto se lograría a través del desarrollo de técnicas cuantitativas de diagnóstico que permitan relacionar la demanda nutrimental del cultivo con la oferta nutrimental del suelo. Las prácticas de encalado de los suelos ácidos y de aplicación de azufre o yeso en suelos alcalinos, aumenta la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, incluido en fósforo.

El alto costo de investigación sobre fertilización, es una de las causas por que aún no se cuenta con recomendaciones que cubran las necesidades nutrimentales de este cultivo, y se utilizan dosis de fertilización obtenidas mediante ensayos tradicionales que no permiten tener resultados extrapolables y confiables.

De esta manera, se trabaja para generar recomendaciones de fertilización, considerando la producción de un cultivo como un sistema y explicando la respuesta mediante un modelo, el cual establece que la cantidad de nutrientes que debe aplicarse es igual a la diferencia entre la demanda del cultivo y la cantidad que puede aportar el suelo, todo esto ajustado por la eficiencia con la cual se recupera el nutrimento del suelo (Castro *et al.*, 2003).

#### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se desarrolló durante la temporada de lluvias, de septiembre de 2017 a marzo de 2018, en una parcela del Rancho “San Nicolás”, en el ejido de Castamay en el municipio y estado de Campeche, en colaboración con el Sistema Producto Chile, quien fue el enlace inicial entre el Colegio de Postgraduados Campus Campeche y el productor participante.

Para la experimentación, se diseñaron tres dosis diferentes de fertilización fosforada la dosis alta, dosis normal y dosis baja. La dosis alta y baja surgen de la dosis normal, la cual es una dosis usada por el productor, la cual está basada en el paquete tecnológico brindado por el INIFAP y a partir del cual los productores generan sus dosis de fertilización.

Para el trabajo, se midieron durante las cosechas la longitud y diámetro de los frutos en cuestión. Posteriormente para la obtención de la dosis de fertilización fosforada, fue necesario hacer un análisis destructivo de plantas previamente seleccionadas. Analizando de esta manera el contenido total de fósforo en las plantas y el muestreo inicial y final del suelo, para poder así, aplicar el método conceptual simplificado y obtener unas dosis de fertilización fosforada con base al resultado obtenido.

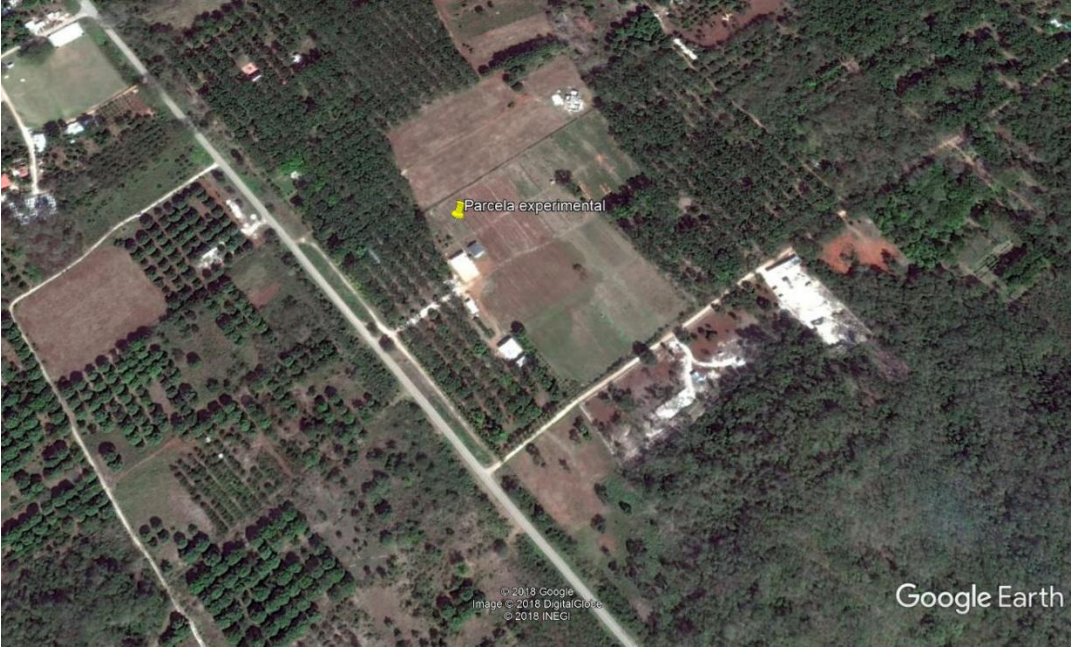


**4.1 Ubicación Geográfica**

El Rancho San Nicolás se encuentra ubicado en las coordenadas 19°49'54.51" de latitud Norte, y 90°25'30.60" de longitud Oeste (Figuras 1 y 2).



**Figura 1. Ejido de Castamay, Campeche.**



**Figura 2. Rancho San Nicolás del Sur. Parcela experimental.**

## **4.2 Clima**

El clima predominante en el municipio de Campeche, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973), es AW0, cálido subhúmedo, con lluvias en verano. Este clima es propio de la región norte, este y oeste del municipio. La temperatura es normalmente estable y elevada, siendo los meses más calurosos mayo y junio, y los más frescos diciembre y enero. La temperatura media anual es de 26.8 °C; el promedio más alto es de 29.6 °C en mayo y el más bajo de 23.2 °C, en enero. La precipitación pluvial promedio en la región va de 1,003.0 a 1,099.9 mm al año. La temporada de lluvias está comprendida entre los meses de junio a noviembre, durante la cual se presentan precipitaciones de magnitud e intensidad elevada, en ocasiones con la incidencia de huracanes. Durante los meses de febrero a abril se presenta la temporada de “secas” con el menor registro de precipitación pluvial y con temperaturas más altas (Gutiérrez, 2016).

## **4.3 Material vegetal**

Se utilizó el híbrido conocido como Rey Pakal, caracterizado por desarrollar una planta vigorosa que provee cosechas prolongadas y con alto rendimiento. El fruto que produce generalmente es uniforme en tamaño, madura a los 130 días y es de color rojo medio oscuro, aromático y muy picante, con alrededor de 200,000 unidades Scoville de picor. Rey Pakal® tiene la capacidad de alcanzar su madurez con mínimas unidades calor, lo que lo hace muy adaptable. Además, tiene una resistencia observada a la virosis: CMV (VoloAgri Terms & Conditions, 2018).

## **4.4 Establecimiento del cultivo**

El chile habanero se puede establecer en cualquier época del año, dependiendo de las condiciones ambientales (naturales o inducidas) en el sitio de siembra. Sin embargo, los productores en el estado ahora buscan mayores ingresos con el cultivo, por lo que

buscan que la cosecha sea durante la época de escasez del producto para vender a un mejor precio.

El experimento se desarrolló en los meses de septiembre de 2017 a marzo de 2018. Iniciando con el trasplante de las plántulas de chile habanero el día 4 de septiembre del 2017.

Para el establecimiento del cultivo se requirió que el suelo estuviera bien suelto, mullido y nivelado. A continuación, se describen cada una de las actividades realizadas durante el establecimiento y seguimiento agronómico:

#### 4.5 Diseño experimental, tratamientos y unidades experimentales

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar para probar las diferentes dosis de fertilización con el fin de cumplir con el objetivo del trabajo. El modelo del diseño experimental es:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \Sigma_{ij} \quad (1)$$

Donde:

$y_{ij}$  = Observación en la unidad experimental  $j$ -ésima bajo el tratamiento  $i$ -ésimo.

$\mu$  = Media general antes de la aplicación de los tratamientos.

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento  $i$ -ésimo.

$\Sigma_{ij}$  = Error experimental asociado a la unidad experimental  $j$ -ésima bajo el tratamiento  $i$ -ésimo.

El análisis estadístico del modelo permite establecer si el efecto de los tratamientos  $\tau_i$  resulta en un aumento o una disminución significativa de la variable  $y_{ij}$ .

Tratamientos evaluados:

$T_1$  = Mitad de la dosis de fertilización fosforada empleada por el productor.

$T_2$  = Dosis de fertilización fosforada empleada por el productor.

$T_3$  = 150% de la dosis de fertilización fosforada respecto de la empleada por el productor.

Se utilizaron tres surcos de aproximadamente 25 m de largo como unidades experimentales, en las que fueron asignados de manera aleatoria irrestricta cada tratamiento, con tres repeticiones. Dentro de cada unidad experimental, en el surco central (para eliminar el “efecto de orilla”), se marcaron cuatro plantas en las que se cuantificaron las variables respuesta del experimento. En total se realizaron mediciones en cuatro plantas por repetición: dado que se evaluaron tres tratamientos con tres repeticiones. Cabe señalar que las mediciones se llevaron a cabo en un total de 36 plantas.

#### **4.6 Labores culturales**

##### **a. Selección del terreno.**

El sitio de establecimiento cuenta con pozo para riego, bodega para los materiales, insumos y herramientas del lugar, un vivero para el crecimiento y manejo de las plantas, y todo el material necesario para el correcto establecimiento del cultivo.

##### **b. Preparación del suelo.**

Se limpió el terreno por medio de un chapeo, se dio un barbecho y dos pasos de rastra, se niveló, seguidamente se realizó el bordeo, y una vez formado, se procedió a instalar el sistema de riego. Se hicieron bordos de 25 cm de altura, con separación de 1.5 metros, para facilitar el drenaje, puesto que el trabajo se inició durante la temporada de lluvias. Posteriormente se trazaron los surcos con una separación de 1.5 m.

Una vez formados los surcos, se procedió a instalar el sistema de riego, el cual consistió en poner cintilla sobre todo el lomo del surco conectadas a una manguera Lay Flat por la cual pasaron las soluciones nutritivas y el agua de riego.

Cuando el cultivo se encontraba en desarrollo, la germinación de la maleza ocurrió dentro de los 5 a 10 días, y fue necesario realizar varios chapeos para remover el suelo y eliminarla en los surcos.

#### **c. Densidad de plantación.**

La distancia que se usó para el trasplante fue de 40 cm entre las plantas, y de 1.5 metros entre surcos, con una densidad de siembra de aproximadamente 16,670 plantas por hectárea.

#### **d. Plantación o trasplante.**

El trasplante se realizó el 4 de septiembre del año 2017, directamente en los surcos, cuando todo el sistema de riego ya se encontraba colocado. Las plántulas de chile tenían alrededor de 15 cm de altura.

#### **e. Variedades.**

De acuerdo con la Agenda Técnica Agrícola de Campeche (2015), los principales híbridos y variedades de chile habanero que más se han establecido en el estado son: Jaguar, Habanero, Ku Kul Kan, Chichen Itzá y Rey Pakal, con este último fue con el que se trabajó durante el experimento, por ser el más productivo, según informe del productor participante.

#### **f. Riego.**

Antes del trasplante, se aplicó un riego pesado, procurando que la humedad se distribuyera en el perfil del suelo hasta una profundidad de entre 25 y 35 centímetros, con un ancho aproximado de 30 centímetros.

#### **g. Fertilización.**

Para realizar una aplicación precisa de las diferentes dosis de fertilización correspondientes a cada tratamiento (t1, t2 y t3), los fertilizantes fueron suministrados a las plantas de forma manual a través del aspersor de mochila, lo que se hizo directamente al tronco en todos los surcos de las tres repeticiones de cada tratamiento. Ello permitió que las cantidades de cada fertilizante correspondiente a cada tratamiento fuesen las correctas para cada planta.

Adicional a los fertilizantes utilizados para el experimento, a través del fertirriego se aplicaron otros nutrientes no fosforados que se conocen como de compensación como los micronutrientes, calcio, magnesio entre otros, considerados por el productor como necesarios para la plantación, tomando como base el paquete tecnológico elaborado por el INIFAP para el cultivo (Avilés, *et al.* 2010).

La fertilización se llevó a cabo cada segundo día, es decir, lunes, miércoles y viernes de cada semana desde septiembre de 2017 a febrero de 2018.

La dosis de fertilización manejada por el productor cambió de acuerdo con la etapa fenológica en la que se encontraba la planta: la primera dosis se aplicó durante el crecimiento y desarrollo de la planta (trasplante a inicio de floración), la segunda durante la inducción de la floración y amarre de fruto, la tercera durante la producción del fruto y la cuarta para la finalización del cultivo. El manejo de la fertilización usada por el productor se incluye en el cuadro 3 y en el cuadro 4 se muestran los períodos de tiempo correspondientes a cada etapa fenológica y el número de fertilizaciones aplicadas al cultivo:

**Cuadro 3. Fertilizantes y dosis empleadas por el productor (basados en el Paquete tecnológico del INIFAP).**

Programa General de Nutrición								
Chile Habanero								
Etapa	1.- Trasplante a Floración				2.- Amarre a Cosecha			
Fertilizante	18,500 P/H		22,000 P/H		18,500 P/H		22,000 P/H	
	Cantidad	Promedio	Cantidad	Promedio	Cantidad	Promedio	Cantidad	Promedio
Ácido nítrico al 60%	5.0 L	0.27	6.0 L	0.27	5.0 L	0.27	6.0 L	0.27
Ácido fosfórico al 85%	1.25 L	0.07	1.5 L	0.07	1.25 L	0.07	1.5 L	0.07
Acido sulfúrico al 98%	1.5 L	0.08	1.8 L	0.08	1.5 L	0.08	1.8 L	0.08
Nitrato de potasio (NKS, 12-00-46)	4.7 K	0.26	5.6 K	0.25	4.7 K	0.26	5.6 K	0.25
Nitrato de magnesio (MAGNESIO 15,5-16%)	690 G	0.04	825 G	0.04	690 G	0.04	825 G	0.04
Nitrato de amonio (Inicial 15-30-15)	5.17 K	0.29	6.15 K	0.28	4.35 K	0.24	7.0 K	0.32
Fosfato monoamónico (MAP, 12-61-00)	2.1 K	0.12	2.5 K	0.11	1.0 K	0.06	1.25 K	0.06
Micronutrientes	90 G/ML	0.01	110 G/ML	0.01	185 G/ML	0.01	220 G/ML	0.01
Sulfato de potasio (Ultrasol K, 13,5-0-45, S)	0	0.00	0	0.00	2.4 K	0.13	2.9 K	0.13
Ácido bórico al 3%	0	0.00	0	0.00	90 G	0.01	90 G	0.00
<b>Riego cada 2 días</b>	<b>54 a 72 M3</b>		<b>66 a 88 M3</b>		<b>54 a 72 M3</b>		<b>66 a 88 M3</b>	
<b>Formulación por cada 100 litros de agua, de 1 a 3 veces por semana</b>								
<b>Riego cada 2 días de 3 a 4 litros de agua por planta</b>								

Notas: P/H = Plantas por hectárea.

**Cuadro 4. Periodos de tiempo correspondientes a cada etapa fenológica y número de fertilizantes aplicadas al cultivo.**

Etapas fenológicas		Período	Número de fertilizaciones
Primera	Trasplante a inicio de floración	4/sep a 20/oct	14
Segunda	Floración y amarre de frutos	21/oct a 5/nov	5
Tercera	Fructificación	6/nov a 25/enero	20
Cuarta	Finalización	26/enero a 9/febrero	4

Con base en las cantidades de fertilizantes que se muestran en el cuadro 3, se calcularon las cantidades de cada uno de ellos por planta y por hectárea, considerando

la densidad de siembra establecida por el productor (16,670). Para la aplicación de los tratamientos con contenido diferenciado de fósforo se utilizaron los fertilizantes MAP (12-61-0), NKS (12-0-46), K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0-0-52), urea (46-0-0), nitrato de magnesio (11-0-0) y HM (10-55-10), calculándose las cantidades de cada uno de ellos a aplicar para cada uno de los tres tratamientos evaluados y para cada etapa fenológica del cultivo. Las fórmulas de fertilización para cada etapa fenológica y para los tratamientos evaluados se incluyen en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Dosis de fertilización empleadas para cada etapa fenológica y para los tres tratamientos evaluados, establecidas con base en el manejo dado por el productor.**

Etapas fenológicas	Fórmula del productor (Kg ha <sup>-1</sup> )			Dosis baja en fósforo (Kg ha <sup>-1</sup> )			Dosis alta en fósforo (Kg ha <sup>-1</sup> )		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Primera	21.91	55.80	42.00	21.91	27.90	42.00	21.91	83.70	42.00
Segunda	3.66	3.15	15.97	3.66	1.58	15.97	3.66	4.73	15.97
Tercera	14.43	12.35	63.15	14.43	6.18	63.15	14.43	18.53	63.15
Cuarta	8.00	40.70	34.68	8.00	20.35	34.68	8.00	61.05	34.68
<b>TOTAL</b>	<b>48.00</b>	<b>112.00</b>	<b>155.80</b>	<b>48.00</b>	<b>56.00</b>	<b>155.80</b>	<b>48.00</b>	<b>168.00</b>	<b>155.80</b>

El manejo de la fertilización en las diferentes etapas fenológicas tuvo como objetivo satisfacer la demanda de nutrientes dependiendo de la fisiología del cultivo.

Además de los fertilizantes obligatorios como los nitratos, fosfatos y potasio, fue necesario complementar la fertilización adicionando macronutrientes mediante formulaciones comerciales mixtas que contenían hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y Cobre (Cu); quelatos con EDDHA. Para los que incluyen fósforo (P), las cantidades a aplicar fueron modificadas para cumplir con los tratamientos evaluados.



#### **h. Control de la maleza.**

Antes del establecimiento y el trasplante se hizo una aplicación de herbicida (Glifosato), para eliminar todas las malezas que pudieran competir por espacio, nutrientes, agua y luz con las plantas de chile. Posteriormente una vez establecido el cultivo, las malezas fueron removidas de manera manual cada semana, para no afectar a las plantas.

El retiro de la maleza es indispensable debido a que representan un serio problema para la planta, toda vez que compite por el alimento, además de que éstas son hospederas de plagas y enfermedades.

#### **i. Control de plagas y enfermedades.**

El control de plagas y enfermedades se realizó directamente con productos comerciales como plaguicidas de contacto, sistémicos, y en cierta parte del desarrollo de la planta, se utilizaron hongos entomopatógenos.

Las labores de control se realizaron cuando éstas constituyeron un problema que pudiese representar un daño comercial. Para determinar la necesidad de control, se realizó un monitoreo de su presencia en las plantas de la parcela; las revisiones se hicieron diario al inicio del establecimiento de la plantación, por lo que se instalaron trampas para atrapar insectos dentro y fuera del cultivo, así tener un panorama más amplio de la situación.

Las principales plagas que se presentaron fueron el picudo del chile (*Anthonomus eugenii*) y la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*). Para la prevención y control de plagas y enfermedades se realizaron diversas aplicaciones de fungicidas, insecticidas y bactericidas comerciales.

### **4.7 Fase de producción.**

#### **4.7.1. Cosecha.**

La cosecha se inició el 22 de noviembre de 2017, cuando los frutos alcanzaron un mínimo de 4 cm, buena firmeza al tacto y una coloración verde brillante. Sin embargo, la coloración de los chiles demandada por el mercado puede ser verde brillante,

aunque algunos mercados lo prefieren rojo o naranja, esto dependerá del tipo de chile que se estableció y de la demanda del cliente.

En el caso del híbrido con el que se trabajó, se tiene que evitar el retraso de la cosecha para que la calidad de los frutos permanezca alta, de lo contrario se agrietan y pierden sus atributos, además de que se vuelven susceptibles a ciertas enfermedades. A partir de la primera cosecha, los siguientes cortes se realizaron cada 15 o 20 días dependiendo del estado del fruto. Considerando la demanda del fruto de color rojo, la recolección del fruto depende de su madurez y, por lo tanto, deberá permanecer en la planta hasta adquirirlo.

#### **4.8 Variables de respuesta**

##### **4.8.1. Rendimiento y calidad de los frutos**

Las variables que fueron cuantificadas para evaluar la respuesta del cultivo a los tratamientos aplicados fueron:

- Número de frutos por planta
- Peso de los frutos por planta (kg)
- Longitud de los frutos (cm)
- Diámetro de los frutos (cm)
- Rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ).

Se seleccionaron cuatro plantas por surco de manera aleatoria para evaluar en el experimento el efecto de los tres tratamientos de fertilización. Cada una de las plantas seleccionadas fueron marcadas para su correcta identificación. En total se muestrearon 36 plantas, cuatro por repetición. Las variables a determinar fueron, el número y peso, longitud y diámetro de los frutos por planta.

Para al análisis y toma de los datos, los cuales sirvieron de referencia para el estudio, del total de la cosecha de los chiles se tomó una muestra del 20% de los frutos para la medición de la longitud y el diámetro cada uno de ellos. Sin embargo, el peso que se

tomó en cuenta fue el total de la cosecha, es decir el peso total de los chiles bajados de cada planta seleccionada.

La medición de los chiles se realizó mediante el uso de un vernier, para medir tanto la longitud como el ancho de los frutos. Los valores medidos se pasaron a una base de datos que incluyó todas las variables de respuesta determinadas.

**Cuadro 6. Días de corte en el cultivo de chile habanero.**

Concepto	Numero de cortes						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Fechas</b>	22-nov- 17	06-dic- 17	05-ene- 18	19-ene- 18	02-feb- 18	21-feb- 18	16-mar- 18

Una vez terminados todos los cortes se procedió a estimar el rendimiento para cada repetición de cada tratamiento, con los datos del peso de frutos por planta y el número de plantas por hectárea.

#### **4.8.2. Concentración en nutrientes en suelo y planta**

Además de las variables relacionadas con el rendimiento, se procedió a tomar muestras de suelo finales, y un muestreo destructivo de planta para cada tratamiento, que se realizó el 19 de marzo de 2018.

El muestreo destructivo consistió en elegir una planta del surco central de cada tratamiento la cual fue extraída completamente considerando las raíces.

Posteriormente fueron seccionadas todas las partes de la planta por separado tales como: raíces, hojas, tallos y frutos. Siendo colocados en bolsas de papel y pesadas (peso en húmedo) para obtener los pesos de cada una de las partes de la planta.

Las partes de la planta se llevaron al laboratorio de fisiología vegetal para secarlas en el horno de secado marca BINDER a 70°C, de 4 a 7 días, hasta que se alcanzó el peso constante de las partes de la planta.

Posteriormente, se molieron y trituraron las hojas, tallos, raíces y frutos para dejarlos completamente molidos y en polvo para su posterior análisis químico, a fin de determinar su contenido de nutrientes.

Con base en lo anterior, las variables de respuesta consideradas en este caso fueron:

- a) Macro y micronutrientes, así como contenidos de carbonatos, bicarbonatos, y conductividad eléctrica en el suelo para cada tratamiento
- b) Macronutrientes en hojas, tallo, raíces y fruto para muestras de plantas en cada tratamiento.

Esta información sirvió como base para aplicar el método conceptual simplificado, a fin de determinar la dosis de macronutrientes más adecuada en el cultivo.

#### **4.9 Análisis estadístico**

Se realizó el análisis estadístico empleando el diseño completamente al azar para todas las variables respuesta evaluadas. En los casos en los que se encontraron efectos significativos de los tratamientos se realizó la comparación múltiple de medias utilizando el método de Tukey (Tukey, 1991), con un nivel de significancia  $p = 0.05$ .

## **5. RESULTADOS y DISCUSIÓN**

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto.

### **5.1 Análisis fisicoquímico del suelo previo a la realización del trabajo experimental**

De acuerdo con los resultados obtenidos, el suelo tiene pH de 7.48, moderadamente alcalino, de textura media, libre de sales, alto nivel de materia orgánica. Moderadamente bajo en su contenido de nitrógeno en forma de nitratos, con alto contenido de potasio y de fósforo. Contenido de Calcio y de Magnesio moderadamente alto, y por lo que respecta a la disponibilidad de micronutrientes: Moderadamente bajo en fierro, muy bajo contenido de azufre y alto suministro de cobre.

De acuerdo con lo que señala Valadez 2001, el Chile presenta una resistencia moderada a la acidez, además, menciona que este se puede desarrollar adecuadamente en suelos de pH entre 5.5 a 6.8, sin embargo, en el análisis de suelo realizado al suelo del área experimental presentó un pH de 7.48 y un desarrollo adecuado del cultivo el cual se vio reflejado en el rendimiento, lo que nos indica que este cultivo puede adaptarse a pHs ligeramente superiores.

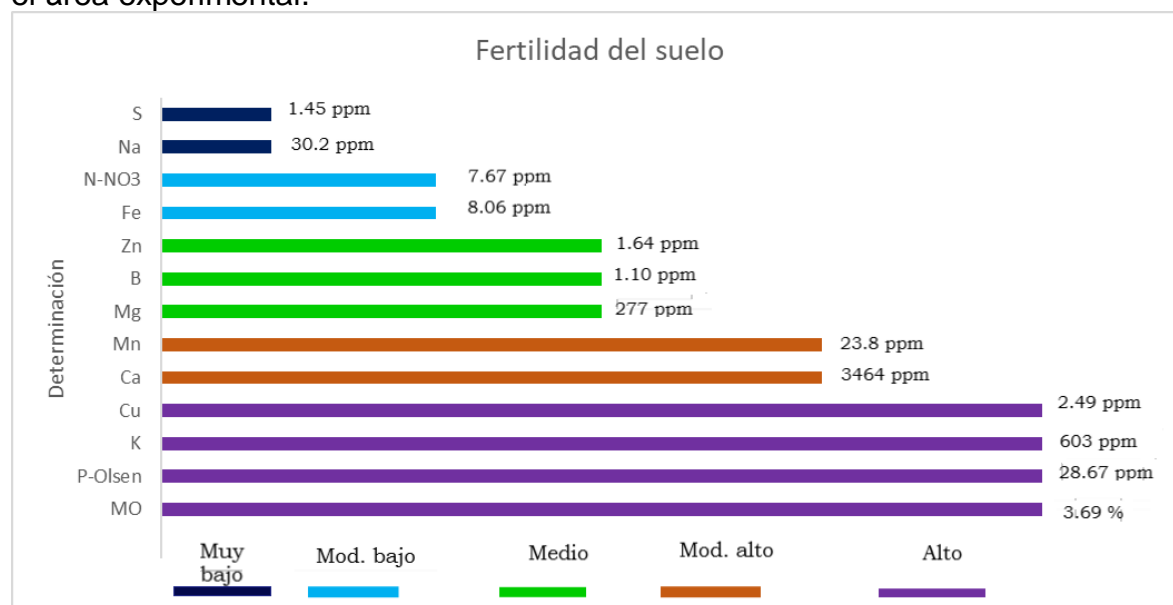
En lo que respecta a la textura del suelo del área experimental el análisis físico-químico realizado nos indica que la textura es Franco – Arcilloso, siendo este un suelo con buenas características agronómicas para el desarrollo de esta especie.

La salinidad de los suelos es un aspecto fundamental en el desarrollo de las plantas considerando que una alta concentración de estas en el suelo generan una alta presión osmótica en los cultivos y como consecuencia un estrés hídrico y un crecimiento deficiente en las plantas afectadas.

En el suelo en estudio, este problema no se presentó en virtud de que el análisis de suelo muestra una conductividad eléctrica de 0.51 ds/m, siendo esta muy baja según su clasificación así mismo, presenta un porcentaje muy bajo de carbonatos totales (1.54%) siendo nulo su efecto sobre las plantas.

En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la muestra compuesta de suelo tomada antes de la realización del trabajo. La muestra analizada se tomó a una profundidad de 30 cm del suelo, en diferentes sitios ubicados al azar siguiendo una trayectoria en zigzag en la parcela del productor participante, ubicada en la localidad de Castamay, Campeche.

**Figura 3. Resultados del análisis fisicoquímico de la muestra de suelo** extraída en el área experimental.



El contenido de fósforo intercambiable en el suelo resultó alto, lo que no deja de ser inesperado considerando que los suelos de la Península de Yucatán son calizos, en los que el fósforo tiende a precipitarse en forma de fosfatos de calcio, sin embargo, dosis altas de P usadas ciclo tras ciclo tienden a acumular P en el suelo. El P del suelo se puede encontrar en forma lábil desde el cual las plantas pueden absorberlo y, en forma no disponible, pero en equilibrio el cual le permite pasar a formas lábiles (Batjes, 2011).

Existe una transferencia entre ambos pools que está controlada en gran medida por procesos geoquímicos. Cuando el fertilizante P se agrega al suelo, se incorpora al P lábil donde los cultivos pueden utilizarlo, aplicaciones elevadas de este nutriente tienden a incrementar el suministro del suelo, reserva importante para los ciclos de cultivos posteriores (Van Der Zee and Riemsdijk, 1988). Al agregar fertilizantes poco solubles (roca fosfórica), se requieren de un proceso de solubilización en el suelo, el P lábil es rápidamente absorbido por la planta durante el ciclo de crecimiento del cultivo y básicamente la adsorción se da solo si el P soluble no es tomado rápidamente por el cultivo (Pinochet, 1995)

Los resultados del trabajo concuerdan con Tun 2008, quien no encontró diferencias significativas entre los resultados obtenidos, con respecto al Nitrógeno (N) y fósforo (P), sin embargo, en el presente trabajo se arrojan niveles más altos de potasio (K) en la parte foliar de las plantas en estudio.

Por lo que, de acuerdo con los resultados, el comportamiento de la concentración nutrimental en las hojas, es una evidencia de que la nutrición del cultivo se mantuvo bajo un régimen adecuado de suficiencia durante todo el ciclo, lo que pudo lograrse obteniendo alta uniformidad a través de la aplicación del método conceptual simplificado.

La concentración nutrimental foliar del cultivo se puede considerar como un parámetro dirigido, debido a que las plantas sólo absorben las cantidades requeridas para su crecimiento y desarrollo normal y que, en este trabajo, el hecho de que no hubiera una diferencia estadística significativa es un claro indicador de que todas tuvieron el suministro nutritivo necesario para realizar sus funciones y que no se obtuvo una mayor acumulación, no se presentaron absorciones excesivas debido a que las fertilizaciones estuvieron bien ejecutadas, además que se aplicaron en suficiente cantidad y frecuencia apropiadas, permitiendo que el cultivo estuviera bajo condiciones óptimas de nutrición debido sobre todo al manejo que se le brindó.



De acuerdo con lo que señala Rodríguez, 1998., el aporte de ciertos nutrientes, en este caso de N, P y K, directamente en el suelo es variable, su magnitud dependerá de la cantidad y calidad de los residuos de cosechas históricamente ingresados en el suelo.

Estimando el contenido de P por hectárea (Densidad aparente  $1.1 \text{ t m}^{-3}$ ) los valores del suministro son del orden de los  $94.6 \text{ kg de P ha}^{-1}$  cantidades suficientes para suplir las necesidades que demanda el cultivo de chile habanero, que para un ciclo son de alrededor de los  $18.8 \text{ kg de P ha}^{-1}$  si se considera un rendimiento de  $40 \text{ t ha}^{-1}$  y un requerimiento interno de P de  $0.47 \text{ kg t}^{-1}$  (Macías *et al.*, 2013; Nieves *et al.*, 2015).

### **5.1.2 Agua de riego**

Por otra parte, en el cuadro 7 se muestran los resultados del análisis químico del agua usada para regar el cultivo. De acuerdo con su conductividad eléctrica y su relación de adsorción de sodio, se clasifica, como del tipo C3-S1 (USDA, 2014), con alto contenido de sales solubles, sin embargo, como son aguas duras, las sales  $\text{CaCO}_3$  que no afectan al cultivo y tiene baja posibilidad de sodificar al suelo, con concentraciones muy altas de calcio y moderadamente altas de magnesio y de sodio. El contenido de bicarbonatos es muy alto y el de sulfatos moderadamente bajo. De ello se desprende que las sales contenidas por el agua estuvieron principalmente en forma de bicarbonatos de calcio y de magnesio, poco solubles, lo que se confirmó en la parcela puesto que cuando el agua de riego se secaba se observó la precipitación de este tipo de sales. Un aspecto que se debe hacer notar es que el contenido de cloruros es alto, por la cercanía del pozo a la costa, lo que eventualmente puede constituir un riesgo de toxicidad, principalmente en cultivos sensibles al exceso de cloro (Gutiérrez, 2016).

**Cuadro 7. Resultados del análisis químico del agua de riego.**

Características Generales de Salinidad / Sodicidad										
Determinación	Abreviatura	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Cond. Eléctrica	CE	dS/m	1.95	[Barra amarilla]						
pH	pH	-	7.03	[Barra amarilla]						
Rel. Ade Sodio	RAS	-	1.95	[Barra amarilla]						
Rel. Ade Sodio A)	RASaj	-	3.21	[Barra amarilla]						
Dureza*	°f	-	69.00	[Barra roja]						
Cationes										
Determinación	Abreviatura	meq / L	Unidades ppm	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Calcio	Ca	10.9	218	[Barra roja]						
Magnesio	Mg	2.93	35.2	[Barra naranja]						
Sodio	Na	5.14	118	[Barra naranja]						
Potasio	K	0.21	8.19	[Barra amarilla]						
<b>Suma de Cationes</b>	-	<b>19.2</b>	-							
Aniones										
Determinación	Abreviatura	meq / L	Unidades ppm	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Sulfatos	SO4	2.18	104	[Barra amarilla]						
Bicarbonatos	HCO3	8.48	517	[Barra naranja]						
Cloruros	Cl	9.00	315	[Barra naranja]						
Carbonatos	CO3	0.00	0.00	[Barra negra]						
Nitratos	N-NO3	0.18	2.52	[Barra verde]						
<b>Suma de Aniones</b>	-	<b>19.8</b>	-							
Determinaciones Especiales										
Determinación	Abreviatura	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Boro	B	ppm	0.08	[Barra verde]						
Hierro	Fe	ppm	0.2370	[Barra amarilla]						
Manganeso	Mn	ppm	0.0270	[Barra verde]						
Cobre	Cu	ppm	0.0020	[Barra verde]						
Zinc	Zn	ppm	0.0010	[Barra verde]						
Arsénico	As	ppm	0.0050	[Barra verde]						

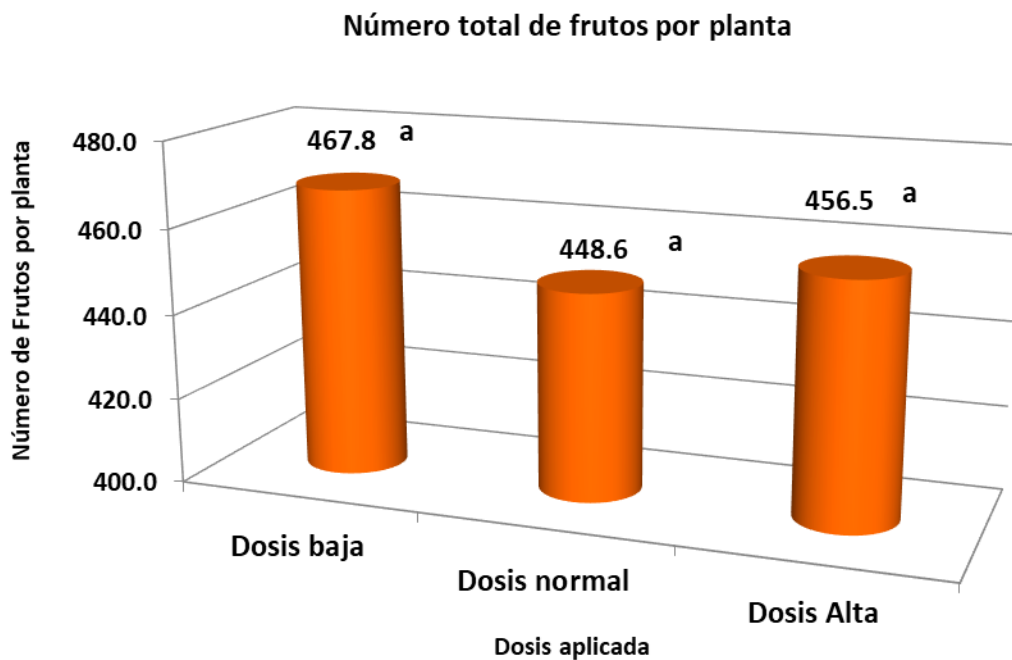
## 5.2 Variables de rendimiento

### 5.2.1. Número y peso de frutos por planta

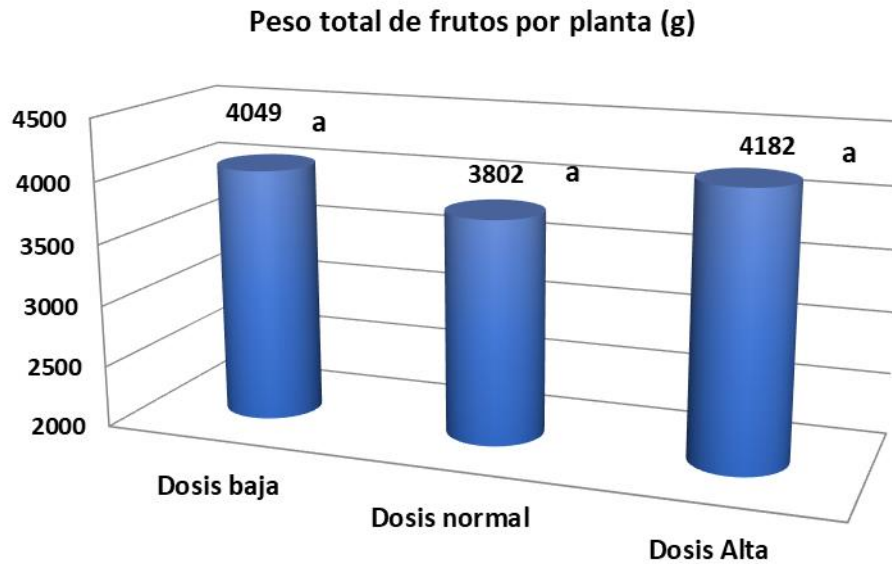
Del análisis estadístico de los datos tomados en las variables de rendimiento, no se encontraron efectos estadísticos significativos como resultado de la aplicación de los 3 tratamientos de fertilización.

En las figuras 4 y 5 se muestran los resultados promedio obtenidos para los tres tratamientos evaluados, en las variables número total de frutos y peso de frutos por planta. El número total de frutos por planta resultó en promedio un poco mayor con el tratamiento correspondiente a la dosis baja de fósforo, pero el peso total de los frutos

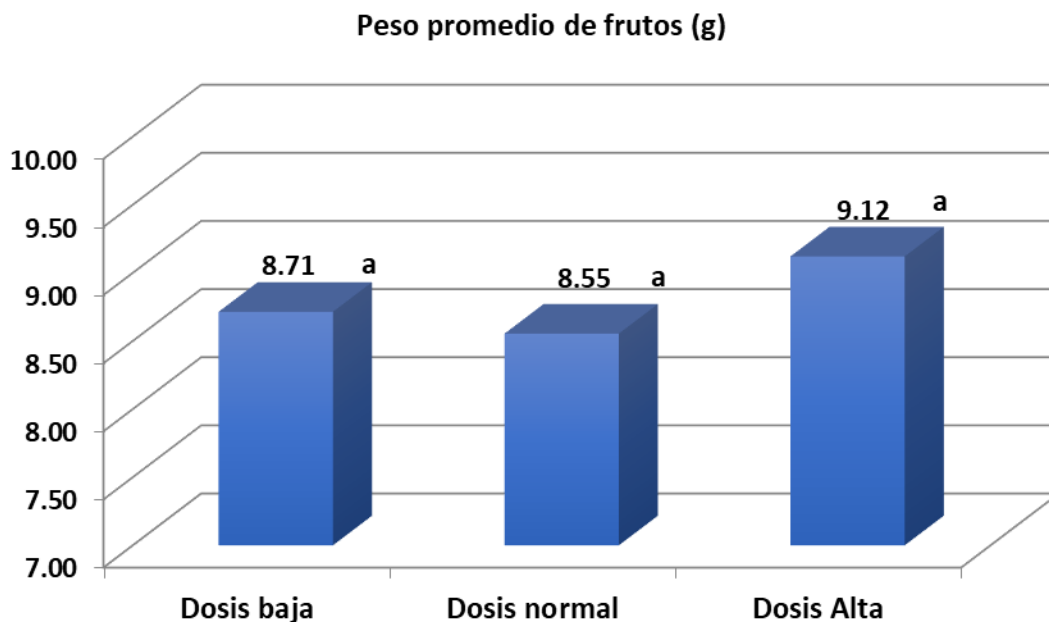
resultó en promedio superior en el tratamiento correspondiente a la dosis alta de fósforo, lo que indica que los frutos fueron en promedio más pesados en este último tratamiento. Este comportamiento se muestra en la figura 6, en la que se muestra la evolución del peso promedio de los frutos de acuerdo con el tratamiento aplicado. No obstante, en ninguna de estas variables la aplicación diferenciada de fósforo originó efectos estadísticos significativos entre tratamientos.



**Figura 3. Número total de frutos por planta** para los tratamientos de fertilización fosforada en evaluación. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p=0.05$ ).



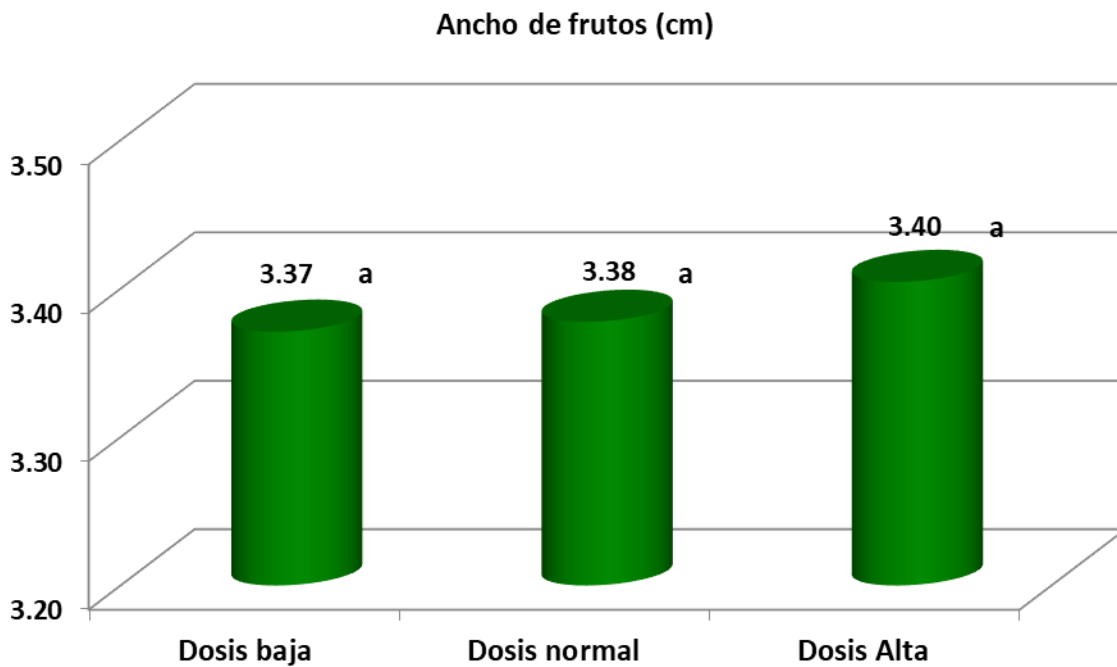
**Figura 4. Peso total de frutos por planta** para los tratamientos de fertilización fosforada en evaluación. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p=0.05$ ).



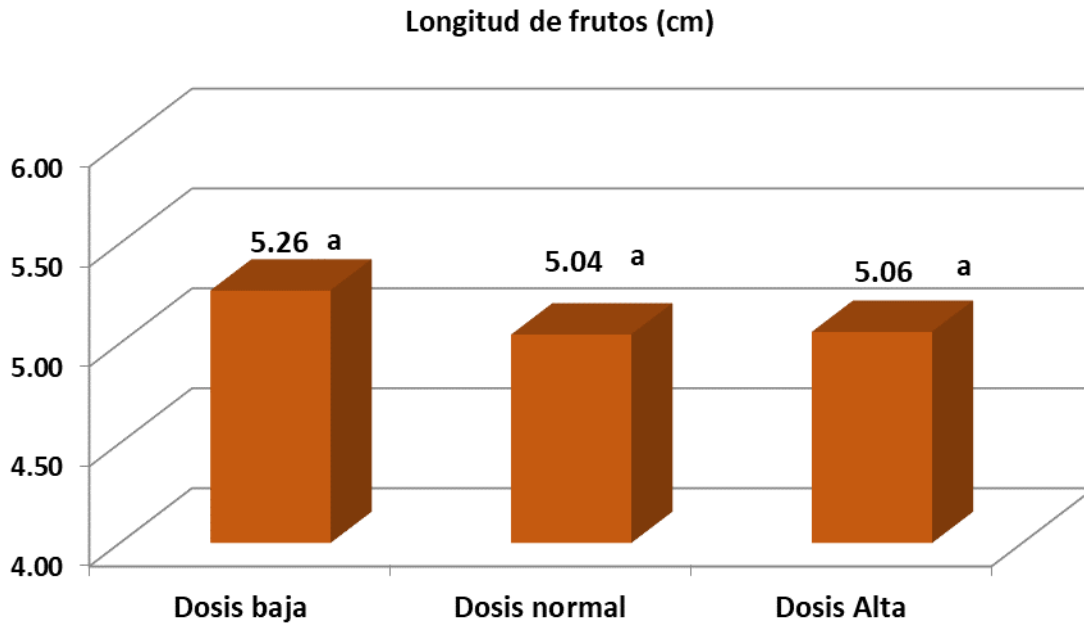
**Figura 5. Peso promedio de frutos por planta (g)** para los tratamientos de fertilización fosforada en evaluación. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p = 0.05$ ).

### 5.2.2. Ancho y largo de frutos

Tampoco en estas variables de respuesta se encontraron efectos estadísticos significativos como resultado de los diferentes tratamientos de fertilización fosforada aplicados en el trabajo experimental. En las figuras 7 y 8, se muestran los valores medios en estas variables, observándose valores ligeramente superiores en el ancho de los frutos con el tratamiento correspondiente a la dosis alta de fósforo. En contraste, valores promedio ligeramente mayores se obtuvieron con la dosis baja de fósforo. No obstante, en ningún caso las diferencias observadas resultaron estadísticamente significativas, por lo que las diferencias entre medias se asocian con los errores experimentales cometidos durante la realización del experimento, y no con el efecto de los tratamientos aplicados.



**Figura 6. Ancho promedio de frutos por planta (cm) para los tratamientos de fertilización fosforada en evaluación. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p=0.05$ ).**



**Figura 7. Longitud promedio de frutos por planta (cm)** para los tratamientos de fertilización fosforada en evaluación. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p = 0.05$ ).

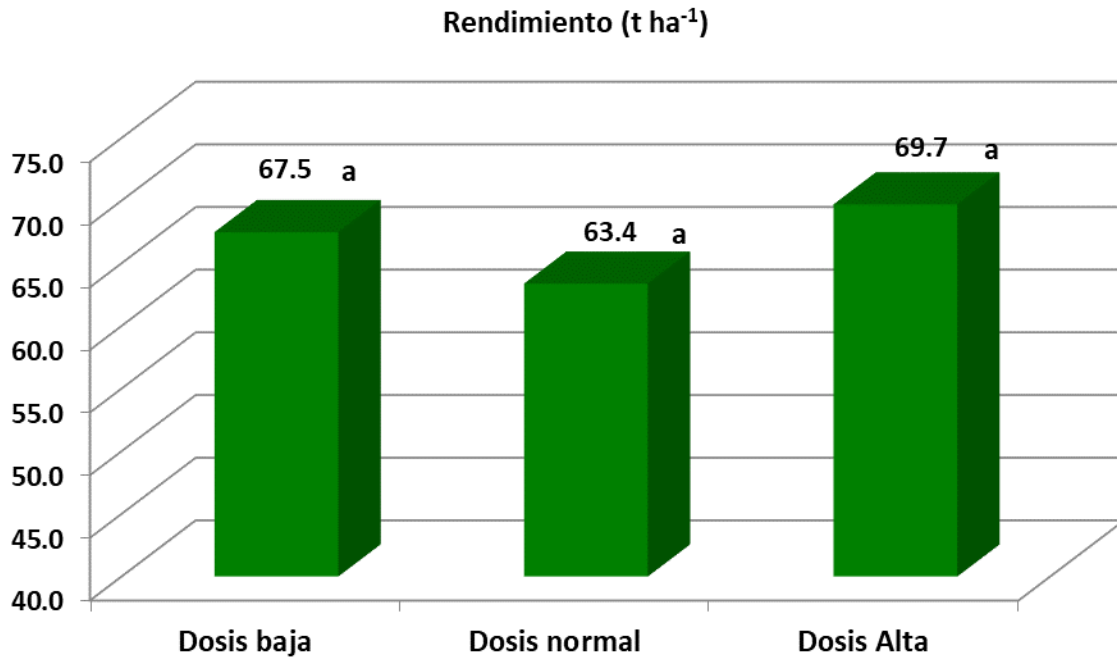
El cuidado durante el desarrollo del chile es muy importante, sin embargo, el cultivo no es climatérico, por lo que el color evoluciona muy poco después de ser cosechados los frutos, por lo que, si la demanda es en color rojo, estos deberán dejarse en la planta hasta alcanzar su color, lo que se pudo corroborar con el presente trabajo, tal como lo señalan Edwards y Sunstrom (1987).

En el presente trabajo se obtuvieron buenos rendimientos y calidad el fruto, como consecuencia de la aplicación de fertilizantes en suficiencia, así como agua de riego, además del control de plagas, enfermedades y arvenses. Aunque no se encontraron en la literatura trabajos similares realizados en chile habanero, el tamaño de fruto y el rendimiento obtenidos fueron mayores a los reportados por Tucuch-Haas *et al.*, (2012), quienes evaluaron diferentes tratamientos de fertilización y diferentes sustratos. En su trabajo en el mejor tratamiento obtuvieron frutos de 3.74 cm de longitud, 2.57 cm de diámetro y un peso de 5.93 g por fruto, mientras que en el presente estudio obtuvimos valores promedio máximos de 5.26 cm de longitud del fruto, 3.4 cm de diámetro y 9.12 g por fruto, valores muy superiores a los encontrados por dichos investigadores. Estos

resultados pueden atribuirse al manejo dado a la plantación, ya que en nuestro caso no existieron restricciones en nutrientes, aunque también podría deberse a que las variedades evaluadas fueron diferentes: en su trabajo Tucuch-Haas *et al.*, (2012) evaluaron chile habanero cv. Criollo Naranja mientras que en el presente trabajo se empleó el híbrido Rey Pakal.

### **5.2.3. Rendimiento final**

En la figura 8 se muestra la comparación del rendimiento final del cultivo para los tres tratamientos en evaluación. Como los valores del rendimiento se derivan del peso de los frutos por planta, variable en la que no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos, tampoco en el rendimiento final existieron efectos significativos de los tratamientos. Estos resultados no eran los esperados, puesto que en los suelos calizos de la península de Yucatán el fósforo disponible para las plantas tiende a ser fijado debido a las reacciones químicas entre el fósforo y el calcio, que tienden a formar fosfatos de calcio y a reducir la disponibilidad de fósforo para las raíces de las plantas (Hinsinger, 2001). Los resultados encontrados pueden explicarse, más bien, por las altas cantidades de fertilizantes que los productores aplican al cultivo, y que se basan en los paquetes tecnológicos, fundamentalmente en el paquete tecnológico que el INIFAP (Avilés *et al.*, 2010) elaboró para el chile habanero en la península de Yucatán. Es decir, las dosis recomendadas de fertilizantes compensan las posibles deficiencias de fósforo que aparecen debido a reacciones de fijación en el suelo, pero, derivado del trabajo realizado, puede concluirse que son excesivas para el cultivo, y podrían ocasionar contaminación de los mantos freáticos, principalmente por el exceso de nitratos aplicados (Syers *et al.*, 2008).



**Figura 8. Rendimiento promedio (ton ha<sup>-1</sup>) para los tratamientos de fertilización fosforada en evaluación. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $p = 0.05$ ).**

### 5.3.- Análisis químico final en suelo y planta

En el cuadro 8 se muestran los resultados del análisis químico de la muestra compuesta de hojas para cada tratamiento. Dado que no se realizaron análisis químicos de cada repetición, en este caso no fue posible realizar un análisis estadístico de la concentración en nutrientes en las hojas.



**Cuadro 8. Resultado de los nutrientes en hojas de plantas seleccionadas de acuerdo con la dosis utilizada.**

MUESTRA FOLIAR	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	MICROELEMENTOS (mg/kg)				
						Fe	B	Zn	Mn	B
M-5 Chile Habanero. Dosis Alta	2.93	0.414	4.642	3.754	0.496	196.52	204.19	116.00	193.55	64.59
M-6 Chile Habanero. Dosis Normal	3.89	0.433	4.613	3.853	0.522	184.90	167.56	118.70	201.53	61.60
M-7 Chile Habanero. Dosis Baja	2.52	0.467	4.575	3.178	0.476	201.27	192.18	113.58	172.69	57.60

Como puede apreciarse en el cuadro 8, los valores en concentración para el elemento fósforo son muy parecidas, sin embargo, la concentración más elevada se observó en el tratamiento correspondiente a la dosis baja y la más baja en la dosis alta. Este comportamiento no era el esperado, pero, como se señaló previamente, la falta de diferencias en la concentración de fósforo puede atribuirse a la excesiva cantidad de fertilizantes fosfatados aplicados por los productores, lo que compensa las posibles deficiencias del elemento. En el resto de los nutrientes no puede distinguirse una tendencia de acuerdo con el tratamiento de fertilización fosfatada aplicada, lo que era de esperarse, dado que no se aplicaron dosis diferenciadas de ninguno de ellos en la fertilización.

Tun (2008), en un trabajo en Chile no encontró diferencias significativas entre las concentraciones de Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en las hojas. En el presente estudio en el análisis vegetal se encontraron niveles más altos de potasio (K), casi el doble que la concentración de nitrógeno, y casi diez veces a la concentración de fósforo.

Por lo que respecta a las diferencias entre tratamientos en las concentraciones de un mismo elemento, el comportamiento de los valores encontrados en las hojas es una evidencia de que la nutrición del cultivo se mantuvo bajo un régimen adecuado de suficiencia durante todo el ciclo.

La concentración nutrimental foliar del cultivo se puede manejar como un parámetro para establecer criterios de manejo de los fertilizantes a aplicar, debido a que las plantas sólo absorben las cantidades requeridas de los diferentes nutrientes para su crecimiento y desarrollo normal (Cruz-Crespo *et al*, 2014). El hecho de que en este trabajo no se encontraran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos es un claro indicador de que se obtuvo un suministro nutrimental necesario (quizás excesivo) para realizar sus funciones, debido a que las fertilizaciones permitieron que el cultivo estuviera bajo condiciones óptimas de nutrición (Etchevers,1999).

De acuerdo con los resultados, el comportamiento de la concentración nutrimental en las hojas es una evidencia de que la nutrición del cultivo se mantuvo bajo un régimen adecuado de suficiencia durante todo el ciclo. Las plantas sólo absorben las cantidades requeridas de nutrientes para su crecimiento y desarrollo normal y el hecho de que no se encontró una diferencia estadística significativa entre tratamientos en esta variable es un claro indicador de que todas las plantas tuvieron el suministro nutrimental necesario para realizar sus funciones, debido a que las fertilizaciones estuvieron bien manejadas, además que se aplicaron en suficiente cantidad y frecuencia apropiadas, permitiendo que el cultivo estuviera bajo condiciones óptimas de nutrición.

Por otra parte, en los cuadros 9, 10 y 11 se muestran los resultados obtenidos de la concentración en nutrientes en las muestras compuestas de raíz, tallos y frutos, respectivamente, para cada tratamiento. Similarmente al análisis de hojas, no se observa ninguna tendencia creciente o decreciente en ninguno de los componentes (raíz, tallos y frutos), en cuanto a la concentración de los nutrientes de acuerdo con el tratamiento aplicado, con excepción de algunos casos contados (el contenido de humedad y la concentración de zinc en raíz; el contenido de humedad en tallos; el contenido de nitrógeno total, fierro, zinc y boro en frutos), pero esas tendencias no pueden atribuirse claramente a los tratamientos de fertilización, primero porque no fue posible realizar un análisis estadístico de los datos que soporte esa afirmación, y segundo porque las diferencias de concentraciones entre tratamientos fueron muy

pequeñas, por lo que más bien se pueden atribuir a los errores experimentales cometidos durante la realización del trabajo experimental.

**Cuadro 9. Resultado de los nutrientes en raíz de plantas seleccionadas de acuerdo con la dosis utilizada.**

MUESTRA	Humedad (%)	Cenizas (%)	NT (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O	MICROELEMENTOS (mg/kg)				
									Fe	Cu	Zn	Mn	B
M-11 Raíz Chile Habanero. Dosis Alta	7.93	10.46	1.80	0.331	1.310	2.207	0.145	0.235	1992.71	19.31	14.63	209.66	12.65
M-12 Raíz Chile Habanero. Dosis Normal	7.45	9.35	1.68	0.326	1.261	2.201	0.147	0.186	1810.38	18.56	15.00	187.86	14.10
M-13 Raíz Chile Habanero. Dosis Baja	7.30	10.86	1.86	0.338	1.346	2.595	0.154	0.218	2081.37	18.37	15.99	247.58	13.39

**Cuadro 10. Resultado de los nutrientes en tallo de plantas seleccionadas de acuerdo con la dosis utilizada.**

MUESTRA	Humedad	Cenizas	NT (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O	MICROELEMENTOS (mg/kg)				
									Fe	Cu	Zn	Mn	B
M-8 Tallo Chile Habanero. Dosis Alta	8.30	7.34	1.28	0.256	2.242	2.786	0.407	0.173	286.66	39.94	31.74	69.84	18.44
M-9 Tallo Chile Habanero. Dosis Normal	8.39	7.80	1.25	0.216	1.968	2.694	0.421	0.171	245.82	55.06	40.98	103.49	12.80
M-10 Tallo Chile Habanero. Dosis Baja	8.65	7.54	1.48	0.236	2.280	2.683	0.388	0.195	315.30	48.75	39.37	99.54	13.93

**Cuadro 11. Resultado de los nutrientes en frutos de plantas seleccionadas de acuerdo con la dosis utilizada.**

MUESTRA	Humedad (%)	Cenizas (%)	NT (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O	MICROELEMENTOS (mg/kg)				
									Fe	Cu	Zn	Mn	B
M-14 Fruto Chile Habanero. Dosis Alta	16.16	6.24	1.62	0.678	4.374	0.269	0.231	0.280	59.85	17.06	25.05	11.53	12.25
M-15 Fruto Chile Habanero. Dosis Normal	17.97	6.07	1.72	0.638	3.796	0.245	0.218	0.310	69.69	18.94	23.93	11.38	13.34
M-16 Fruto Chile Habanero. Dosis Baja	17.70	6.54	1.83	0.687	3.927	0.266	0.254	0.260	73.00	18.75	22.32	12.40	14.33

Con base en los resultados de los datos de concentración de macronutrientes en los componentes de la planta que se muestran en los cuadros 8,9,10 y 11 se procedió a aplicar el modelo conceptual simplificado para estimar la dosis recomendada de fertilización en el cultivo.

**5.3.- Aplicación del modelo conceptual**

Con la aplicación del modelo conceptual simplificado, la dosis de fertilización (DF) está definida por la diferencia entre la demanda y el suministro, así como por la eficiencia de aprovechamiento del fertilizante por el cultivo (EF); ya que sólo una parte del nutriente aplicado es aprovechado y al final se tiene un modelo para calcular la dosis de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$DF = \frac{(DEM - SUM)}{EF} \tag{1}$$

Donde:

DF = Dosis de fertilización del nutriente (kg ha<sup>-1</sup>).

DEM = Demanda del nutriente por el cultivo (kg ha<sup>-1</sup>).

SUM = Suministro del nutriente por el suelo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

EF = Eficiencia de aprovechamiento del fertilizante por el cultivo (adimensional).

En las siguientes líneas se describe cómo se estimó cada uno de los términos que intervienen en la ecuación 2.

### **5.3.1.- Suministro de nutrientes**

En el cuadro 12 se muestra el suministro por nutrientes por el suelo, elaborado con base en el análisis químico de la muestra compuesta que se tomó previo a la realización del trabajo experimental. El suministro está constituido por la proporción del nutrimento disponible en el suelo que la planta realmente puede eventualmente utilizar. Con relación a los macronutrientes, para el caso del P, la fracción disponible se encuentra constituida por el P en solución, la cual está en equilibrio directo con el P lábil y éste a su vez con el P no lábil (Barrow y Shaw, 1976). En el caso del N la fracción disponible tiene su origen en la mineralización del N orgánico del suelo, que está constituido por los residuos incorporados al mismo y los compuestos estabilizados por la protección física y química de las arcillas (Van *et al.*, 1985). Finalmente, la estimación del suministro de K del suelo se basa en el contenido del K intercambiable ( $K_i$ ) determinado por el análisis del suelo. Además, dependerá de la eficiencia de aprovechamiento del nutriente por el cultivo y de la naturaleza y cantidad de arcillas presentes.

Los valores presentados en el cuadro 12, se utilizaron posteriormente para calcular la dosis de fertilización más adecuada para el cultivo con el uso de la ecuación 2.

**Cuadro 12. Suministro de elementos por el suelo para la muestra inicial (kg ha<sup>-1</sup>)**

<b>Materia orgánica</b>	<b>120,600.00</b>	<b>Mg</b>	<b>1,448.21</b>	<b>Cu</b>	<b>8.75</b>
<b>Nitrógeno total</b>	6,660.00	Na	755.14	Zn	6.23
<b>Nitrógeno inorgánico</b>	133.20	K	2,558.09	Mn	233.28
<b>P</b>	77.51	Fe	23.65	B	2.38
<b>Ca</b>	12,116.88				

Posterior a la realización del trabajo experimental también se realizó un muestreo de suelo de la parcela experimental tomando una muestra compuesta de suelo para el área correspondiente a cada tratamiento, una muestra por tratamiento. En el cuadro 13 se muestran los resultados obtenidos del análisis químico de las tres tomas.

**Cuadro 13. Suministro de elementos por el suelo por tratamiento. Muestras tomadas después del trabajo experimental (kg ha<sup>-1</sup>)**

<b>Elemento</b>	<b>Dosis baja</b>	<b>Dosis normal</b>	<b>Dosis alta</b>
N total	6,876.00	6,948.00	7,344.00
N inorgánico	137.52	138.96	146.88
P	77.04	84.85	91.58
Ca	13,340.88	13,106.88	13,268.88
Mg	1,349.68	1,482.73	1,558.73
Na	766.73	803.99	722.02
K	2,560.90	2,337.66	2,607.23
Fe	17.50	22.50	24.30
Cu	7.92	8.42	8.96
Zn	5.44	6.19	4.79
Mn	164.66	210.64	219.67
B	2.12	1.76	2.27

Como era de esperarse, el suministro de fósforo por el suelo fue mayor en el tratamiento correspondiente a la dosis alta, seguido del tratamiento con la dosis normal y finalmente la cantidad más pequeña correspondió al tratamiento de la dosis baja. Estas diferencias son el resultado de la aplicación diferenciada de fósforo en los fertilizantes aplicados al cultivo. Sin embargo, el suministro que presenta el suelo para todos los casos es elevado, situación que suele suceder en suelos agrícolas donde las dosis estimadas están por encima de las necesidades reales del cultivo (Zhang *et al.*, 2017). Los contenidos muy altos de P en el suelo son una de las principales causas de la eutrofización inducida por P en las aguas superficiales, lo que resulta en una disminución en la provisión de servicios ecosistémicos y, a menudo, con graves consecuencias económicas (Syers *et al.*, 2008). Razón que obliga a los especialistas en fertilización a usar al P fertilizante mucho más eficientemente (Khan *et al.*, 2018).

Ese mismo comportamiento, aunque menos marcado, se observó en el caso del nitrógeno total e inorgánico, magnesio, fierro, cobre y manganeso, aunque esas diferencias no pueden atribuirse a los tratamientos, puesto que el único elemento que se aplicó de manera diferenciada por tratamiento fue el fósforo. En el resto de nutrientes no se observa un comportamiento creciente o decreciente en los tratamientos evaluados.

### **5.3.2.- Demanda de nutrientes por el cultivo**

La demanda de un cultivo, será la cantidad de un determinado nutrimento necesaria para alcanzar cierta productividad. La producción que realmente es importante, es la máxima que se puede alcanzar en un lugar determinado, con técnicas agronómicas accesibles y económicas. La determinación simplificada de la demanda máxima de nutrimentos de un cultivo precisa del conocimiento de las magnitudes de tres parámetros: rendimiento máximo alcanzable, índice de cosecha y requerimiento interno (Rodríguez, 1987).

En este estudio, la demanda de nutrientes se estimó con base en los resultados de los análisis químicos de los componentes de la planta (hojas, tallo, raíces y frutos), y con los datos de peso seco de la materia orgánica de cada componente. Puesto que los datos de pesos secos se determinaron por triplicado para cada tratamiento, la estimación de la demanda de cada componente también se realizó por triplicado. Los resultados promedio obtenidos por tratamiento se muestran en el cuadro 14.

La cantidad total de cada macronutriente en el cuadro 14 se calculó realizando la suma de la demanda de todos los componentes de la planta para cada nutriente. A los datos mostrados en el cuadro 14 se les realizó un análisis de varianza, sin encontrar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para ningún nutriente en ninguno de los componentes, ni para la demanda total de cada nutriente. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en el crecimiento y rendimiento del cultivo, puesto que la falta de diferencias estadísticas entre la demanda de nutrientes entre tratamientos es un indicador de que el cultivo fue abastecido de nutrimentos en los tres tratamientos, como consecuencia de la cantidad excesiva de fertilizantes aplicados al cultivo, incluyendo al fósforo en el que la dosis baja produjo resultados estadísticamente iguales a los encontrados en las dosis normal y alta.

Con base en los datos presentados en el cuadro 14, se calcularon los valores medios de la demanda de macronutrientes que se muestran en el cuadro 15, en el que los valores se expresan en kilogramos del nutriente por hectárea.

Los valores del cuadro 14 se pueden tomar como referencia para el cálculo de la dosis de fertilización en el cultivo de chile habanero.



**Cuadro 14. Demanda de nutrientes en los diferentes componentes de las plantas, por tratamiento evaluado (g planta<sup>-1</sup>)**

Componente	Nutriente	Tratamientos		
		Dosis baja	Dosis normal	Dosis alta
<b>HOJAS</b>	N	1.226	1.426	1.465
	P	0.227	0.159	0.207
	K	2.227	1.691	2.321
<b>TALLOS</b>	N	3.631	3.192	2.825
	P	0.252	0.240	0.246
	K	4.643	4.171	4.106
<b>RAIZ</b>	N	1.128	0.918	0.972
	P	0.089	0.078	0.078
	K	0.678	0.572	0.587
<b>FRUTOS</b>	N	2.126	2.051	2.302
	P	0.348	0.332	0.420
	K	3.830	3.758	5.159
<b>TOTAL</b>	N	8.112	7.588	7.564
	P	0.917	0.809	0.951
	K	11.377	10.192	12.174

**Cuadro 15. Demanda promedio de macronutrientes por tratamiento (kg ha<sup>-1</sup>).**

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
<b>Dosis baja</b>	135.2	15.3	189.6
<b>Dosis Normal</b>	126.5	13.5	169.9
<b>Dosis Alta</b>	126.1	15.9	202.9

Comparando los valores del suministro de nutrientes que aparecen en el cuadro 13, derivados de la aplicación de fertilizantes, con los valores de la demanda que se presentan en el cuadro 15, se observa que en los tres macronutrientes el suministro aportado por la fertilización superó con mucho la demanda del cultivo, incluyendo al fósforo. Cuando los valores de suministro de nutrientes en el suelo supera la demanda, tiende a no observarse respuesta al uso de los fertilizantes (Bruulsema, 2018). Es importante hacer énfasis en la necesidad de establecer dosis adecuadas de fertilizantes, la dependencia y el uso excesivo de los fertilizantes ha generado preocupaciones sobre sus impactos a largo plazo en la salud del suelo, ambos factores tienden a provocar una disminución de la materia orgánica del suelo, un indicador clave del componente químico de la salud del suelo (Ladha *et al.*, 2011).

### **5.3.3.- Cálculo de la dosis de fertilización**

Comparando la demanda de los macronutrientes N, P y K del cultivo (cuadro 15) con el suministro de los mismos por el suelo (cuadro 12), se observa que en los tres casos la demanda es menor que el suministro. Si se aplica directamente la ecuación 2 con esos datos se obtendrían dosis de fertilización negativas lo que es irreal. En estos casos, lo que se recomienda es aportar al suelo con la fertilización la mitad de la cantidad de cada macronutriente que será extraída por el cultivo (demanda), con la finalidad de evitar el empobrecimiento del suelo.

Puesto que no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos en las variables de respuesta evaluadas, en el cálculo de la dosis de fertilización se consideró a la demanda de nutrientes obtenida para el tratamiento correspondiente a la dosis normal de fertilización. Con ese valor, y considerando una eficiencia de aprovechamiento del fertilizante por el cultivo de 0.50, 0.25 y 0.40 para los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, la aplicación de la ecuación 2 permite calcular la dosis de fertilización para el cultivo de chile habanero que se presenta en el cuadro 16.

**Cuadro 16. Dosis de fertilización para el cultivo de chile habanero (kg ha<sup>-1</sup>).**

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
<b>126.47</b>	<b>61.73</b>	<b>212.34</b>

Cabe señalar que la dosis presentada en el cuadro 16 sería válida para el suelo de la parcela en la que se realizó el trabajo experimental. Para determinar la dosis de fertilización a aplicar en otra parcela se requeriría realizar un muestreo y un análisis químico del suelo que permita determinar el suministro de nutrientes por el suelo. Posteriormente se puede aplicar la ecuación 2, con los valores de la demanda por nutriente determinados en el presente trabajo.

## 6. CONCLUSIONES

Como resultado de la realización del presente trabajo se concluye lo siguiente:

- 1) La dosis de fertilización aplicada por el productor, basada en el paquete tecnológico para el cultivo de chile habanero resulta excesiva, puesto que aporta una abundancia de nutrientes al cultivo. Como consecuencia, no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos de fertilización fosforada aplicados. Por ello, se rechaza la primera hipótesis particular del trabajo.
- 2) Se realizó una estimación de la cantidad de fósforo y macronutrientes que son absorbidos por la planta de chile habanero en los diferentes tratamientos de fertilización aplicados, sin encontrar diferencias estadísticas entre ellos, lo que se atribuye al exceso de fertilizantes aplicados al cultivo. Por ello, se puede concluir que las cantidades de fósforo asimilable fueron similares en los tres tratamientos: El exceso de fósforo tendió a precipitarse, y, puesto que la aplicación de fertilizantes fue excesiva, en los tres tratamientos la concentración de fósforo adsorbido en el suelo fue también muy similar.
- 3) Con base en la demanda del cultivo, se estimó la dosis de fertilización fosforada requerida para cubrir sus necesidades nutrimentales, haciendo uso del método conceptual simplificado, que se recomienda aplicar en la parcela en la que se realizó el trabajo experimental.
- 4) En el presente trabajo se determinó la demanda de fósforo y macronutrientes que requiere el cultivo de chile habanero para crecer y desarrollarse con normalidad, sin sufrir ninguna deficiencia. Con base en los valores obtenidos se puede realizar una estimación de la dosis de fertilización a aplicar en el cultivo en cualquier parcela, previo análisis químico del suelo para determinar el suministro de nutrientes del suelo. Por ello, se acepta la segunda hipótesis particular planteada en el trabajo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Aceves N., L. A., J. F. Juárez L., D. J. Palma L., R. López L., B. Rivera H., J. A. Rincón R., R. Morales C., R. Hernández A. y A. Martínez S. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en el estado de Tabasco. Gobierno de Tabasco, Secretaria de Desarrollo Forestal y Pesca, DEIDRUS-TAB, INIFAP, SAGARPA y Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México.

Afif, E., Matar, A., Torrent, J., 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 756–760.

Aguirre-Hernández, E. y Muñoz-Ocotero, V. 2015. Agenda Técnica Agrícola de Campeche Segunda edición. © Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F. El chile como alimento. *Ciencia*, julio-septiembre 16- 23.

Aguirre-Mancilla, CL., Iturriaga de la Fuente G., Ramírez-Pimentel J.G., Covarrubias-Prieto J., Chablé-Moreno F., Raya Pérez J.C. 2017. El chile (*C. annuum* L.), cultivo y producción de semilla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5, 19-31.

Archer, J. 1988. Crop nutrition and fertilizers use. Ed. Farming Press LTD., London, Great Britain. P. 24.

Arellano G., M. y M.A. Gutiérrez C. 2003. Efecto de la nutrición vegetal en el peso y número de frutos de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.). En: Resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. UACH-Depto. De Fitotecnia. Chapingo, Edo, de México. Pág.13.

Armstrong, D.L., 1991. Better crops with plant food. Potash & Phosphate Institute: Atlanta, GA: Eva Aguirre Hernández y Verónica Muñoz Ocotero. 2015. El chile como alimento. Mayo 14, 2018, de *Ciencia* Sitio web: [www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66\\_3/PDF/Chile.pdf](http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Chile.pdf)

Arnold, W., I. Scabolcs y V. O Targulian, 1990. Global Soil Change. International Report of an IIASA-ISSS-UNEP. Task Force Institute for Applied Systems Analysis. Luxembourg. Austria

Arroyo-Vargas L. 2012. Normas preliminares de diagnóstico nutrimental compuesto y correlaciones nutrimentales en pimiento (*Capsicum annuum* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo de México. México. 44 pp.

Avilés, W., Dzib R., Pereyda, G. 2010. Manual para la producción de chile habanero *Capsicum chinense* Jacq. en Yucatán a campo abierto y bajo estructuras de protección. Centro de investigación regional sureste. Campo experimental Mocochá. Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 7. Mérida, Yucatán, México.

Baghour, M., E. Sánchez, J. M. Ruiz, and L. Romero. 2001. Metabolism and efficiency of phosphorus utilization during senescence in pepper plants: response to nitrogenous and potassium fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 24. 1731-1743.

Bautista F. Los suelos, 2011. En: Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. Durán R. y M. Méndez (Eds). pp 14-17. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 pp. Publicado, ISBN: 978-607-7823-05-6.

Bautista, F. y G. Palacio (Eds.) 2005. Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. 282 p.

Batjes NH. 2011. Global distribution of soil phosphorus retention potential. *Wageningen, Plant Res Int (PRI), Wageningen*. 6:42.

Bay-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. *Advances in Agronomy* 65:1-77.

Bernier, R.L. 1979. Muestreo de suelos para análisis químico. *Boletín Técnico N° 28 (17 Re)*. Estación Experimental Remehue. INIA. 12 p.

Bosland, P. W.; Votava, E. J. 2012. Peppers: vegetable and spice capsicums. 2nd (Ed.). Cabi publishing. London UK. 230 p. [http://books.google.com.mx/books?id=5AWTPZeFL8QC&printsec=frontcover&source=gs\\_b\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com.mx/books?id=5AWTPZeFL8QC&printsec=frontcover&source=gs_b_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Brady, C.N., Weil, R.R., 2002. *The Nature and Properties of Soil*, thirteen edition. Upper Saddle River, New Jersey, pp. 592–596.

Bruulsema, T. 2018. Managing nutrients to mitigate soil pollution. *Environmental Pollution*, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.132>

Buckingham, S. E., J. Neff, B. Titiz-Maybach, and R. L. Reynolds. 2010. Chemical and textural controls on phosphorus mobility in drylands of southeastern Utah. *Biogeochemistry* 100: 105-120.

Cabrera-Cano, E. F., J. S. Flores, 1993. Guía de Excursiones Botánicas en México. En: XII Congreso Mexicano de Botánica. Mérida, Yucatán. UADY. pp

Carlos, J.Canul, Ledon Vadilla Novelo, G., López Castillo, H., Franco Caceres, C., , Chan Moguel, L. E., Xool Aké, E. M., Chel Guerrero, L. D. 2012. Plan Rector del Sistema Producto Chile. Recuperado el 3 de junio de 2012. Disponible en:

<http://www.amsda.com.mx/prestatales/Estatales/YUCATAN/prechile.pdf>.  
<http://es.scribd.com/doc/89315182/Pre-Chile>.

Cázares-Sánchez, E., P. Ramírez-Vallejo, F. Castillo-González, R. M. Soto Hernández, M. T. Rodríguez-González y J. L. Chávez-Servia. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39: 627-638.

Clark, A. G. 1992. Drip irrigation management for vegetable production. *Horticultural Technology* 2:32-37.

Colomb, B., Kiniry, J.R., Debaeke, P., 2000. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. *Agron. J.* 92, 428–435.

Coyne, M. S. 1999. *Soil microbiology: an exploratory approach*. Delmar Publishers. Independence, KY, USA.

Cross, A. F. and W. H. Schlesinger. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64: 197-214.

Cross, A. F. and W. H. Schlesinger. 2001. Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochemistry* 52: 155-172.

Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Bugarín-Montoya, R., Pineda-Pineda, J., Flores-Canales, R., Juárez-López, P., & Alejo-Santiago, G. 2014. Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(3), 289-295.

Delfine, S., F. Loreto, M. Centritto, G. Santarelli, and A. Alvino. 1999. Effects of water stress on the yields and photosynthesis of field-grown sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Horticulturae* 537:223-229.

DeWitt, D. and Bosland, P. W. 1997. *Peppers of the world: An identifications guide*. USA. 240 p.

Dinero en Imagen. 2016. No vas a creer el uso del chile habanero en Japón. Obtenido de Dinero en Imagen: <http://www.dineroenimagen.com/2016-01-28/67957>.

Dominguez V., A. 1993. *Fertirrigación*. Ed. Mundi prensa. Madrid, España. 217 p.

Duch, J., 1988. *La conformación territorial del estado de Yucatán: los componentes del medio físico* Universidad Autónoma de Chapingo Centro Regional de la Península de Yucatán. México.

Edwards, R.L. y Sundstrom, F.J. 1987. After ripening and harvesting effects on Tabasco pepper seed germination performance. *Hort Science* 22:473-475.

Etchevers, J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra* 17(3):209-219.

FAO. 1996. Ecología y enseñanza Rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Estudio FAO Montes 131.

Fideicomiso de Riesgo Compartido. 2017. Chile Habanero, con Denominación de Origen. Disponible en: <https://www.gob.mx/firco/articulos/chile-habanero-con-denominacion-de-origen?idiom=es>

Giardina, C. P., R. L. Sanford, Jr., and I. C. Dockersmith. 2000. Changes in soil phosphorus and nitrogen during slash-and-burn clearing of a dry tropical forest. *Soil Sci. Am. J.* 64: 399-405.

González Estrada, T., Casanova Chávez, C., Gutiérrez Pacheco, L., Torres Tapia, L., Contreras Martín, F., y Peraza Sánchez, S. 2011. Uso de la flora y fauna silvestre - CICY. Chiles cultivados en Yucatán. Recuperado el 19 de junio de 2013. Disponible en: <http://www.cicy.mx/sitios/biodiversidad/uso-de-la-flora-y-fauna-silvestre>.

Grant, C.A., Flaten, D.N., Tomasiwicz, D.J., Sheppard, S.C., 2001. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agronômicas* 95, 1–5.

Gutiérrez, C. 2016. Tensión de humedad como indicador del momento de riego y como estrategia de mejora en el manejo del agua en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq. (Tesis de Maestría) Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Campeche, México.

Gutiérrez-Gómez, C., Carrillo-Ávila, E., Landeros-Sánchez, C., Coh Méndez, D., Monsalvo-Espinosa, A., Arreola-Enríquez, J. y Pimentel-López, J. 2018. Soil moisture tension as an alternative for improving sustainable use of irrigation water for habanero chilies (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agricultural Water Management*. Vol 204, pp: 28–37. Issn: 0378-3774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.038>.

Hedley, M.J., McLaughlin, M.J., 2005. Reactions of phosphate fertilizers and byproducts in soils. In: Sims, J.T., Sharpley, A.N. (eds.) *Phosphorus: Agriculture and the environment*. Agron. Monogr. No. 46. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI. Pp: 181–252.

Hinsinger P 2001. Bioavailability of trace elements as related to root-induced chemical changes in the rhizosphere. In *Trace elements in the rhizosphere*. Eds G R Gobran, W W Wenzel and E Lombi. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2014. Disponible en: [www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/.../bvinegi/.../Aepef2012](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/.../bvinegi/.../Aepef2012).



Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2015. Campo Experimental Las Huastecas, Centro de Investigación Regional del Noreste, Tampico, Tamaulipas. 35 p.

IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo (USDA) 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

Johnson, P. G., R. T. Koenig, and K. L. Kopp. 2003. Nitrogen, phosphorus, and potassium responses and requirements in calcareous sand greens. *Agron. J.* 95: 697-702.

Jones, J. B. Jr., B. Wolf, and H. A. Mills. 1991. *Plant analysis handbook*. Micro-Macro Publishing Inc. Athens, Georgia. 212 p.

José de la Cruz Tun Dzul. 2008. Requerimientos nutricionales de chile poblano (*Capsicum annuum* L.) y su relación con el rendimiento y la calidad del fruto. Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo de México. México. 152 p.

Khan, M.S., Ahmad, E., Zaidi, A., Oves, M., 2013. Functional aspect of phosphatesolubilizing bacteria: importance in crop production. *Bact. in Agrobiol.: Crop Produc.*, pp. 237–263.

Kirkby, E.A. and V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. *Proceedings 543*, The International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom

Kononova, S. V. and M. A. Nesmeyanova. 2002. Phosphonates and their degradation by microorganisms. *Biochemistry* 67: 184-195.

Ladha, J. K., Reddy, C. K., T-Padre, A. & van Kessel, C., 2011. Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. *J. Environ. Qual.* 40pp. 1756–1766.

Lathja, K. and W. H. Schlesinger. 1988. The biogeochemistry of phosphorus cycling and phosphorus availability along a desert soil chronosequence. *Ecology* 69: 24-39.

Latournerie-Moreno, L., J. L. Chávez-Servia, M. Pérez-Pérez, G. Castaño-Nájera, S. A. Rodríguez-Herrera, L. M. Arias-Reyes y P. Ramírez-Vallejo. 2002. Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annum* L. y *Capsicum Chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Fitotec. Mex.* 25: 25-33.

Long Towell, J. 2010. *Caminos y Mercados. Los Senderos Prehispánicos del Capsicum*. Recuperado el 19 de junio de 2013, de Universidad Nacional Autónoma de

México. Pp 70- 112. Disponible en: <http://books.google.com.mx/books?ei=F2anU5btF86NyASD4DwAg&hl=es&id=RG15AQAAIAAJ&dq=caminos+y+mercados+de+mexico&focus=searchwithinvolume&q=sendero+s+prehispanicos+de+Capsicum>.

Long-Solis J. Capsicum y Cultura: La historia del Chilli. 1986. Fondo de Cultura Económica (México). 203 p.

Macías Rodríguez, Hilario, Muñoz Villalobos, J. Arcadio, Velásquez Valle, Miguel A., Potisek Talavera, María del Carmen, Villa Castorena, María Magdalena, CHILE HABANERO: DESCRIPCIÓN DE SU CULTIVO EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas [en línea] 2013, XII [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545057001>> ISSN

Magnone D. Bouwman A.F. van der Zeed S. E.A.T.M. Sattarif S. Z. Beusen A.H.W. Niasara V.J. 2017. Efficiency of phosphorus resource use in Africa as defined by soil chemistry and the impact on crop production. Energy Procedia: 123: 97–104

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. Edition. Institute of Plant Nutrition. Academic Press. London, Harcourt Brace & Company, Publisher. New York, USA. 889 p.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. New York: Academic Press. 2:889.

McBeath, T.M., Smernik, R.J., Lombi, E., McLaughlin, M.J., 2006. Hydrolysis of pyrophosphate in a highly calcareous soil: a solid-state phosphorus-31 NMR study. Soil Sci. Soc. Am. J. 70, 856–862.

McGill, W. B. and C. V. Cole. 1981. Comparative aspects of cycling of organic C, N S and P through soil organic matter. Geoderma 26: 267-286.

Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1981. Principles of plant nutrition. 2 nd. Edition. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 573 p.

Múnera Vélez, G. A. 2014. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11059/5248>

Munera, G., & Meza, D. 2012. El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Universidad Tecnológica de Pereira, 1, 52.

Ortiz, R.; Delgado-De La Flor, F.; Alvarado, G.; Crossa, J. 2010. Classifying vegetable genetic resource – A case study with domesticated Capsicum spp. Scientia Horticulturae 126:186-191. doi. 10.1016/j.scienta.2010.07.007.

Pedro Armentía López. Impulsan la comercialización y producción del chile habanero. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2018. Versión digital, Novedades de Campeche, periódico. Disponible en: <https://www.novedadescampeche.com.mx/estado/campeche/impulsan-la-comercializacion-y-produccion-del-chile-habanero/>

Pinochet, Dante, Epple, German y Macdonald, Roberto. Fracciones de fósforo orgánico e inorgánico en un transecto de suelos de origen volcánico y metamórfico. R.C. Suelo Nutr. Veg. [online]. dic. 2001, vol.1, no.2 [citado 10 Abril 2018], p.58-69. Disponible en la [World Wide Web:](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912001000200007&lng=es&nrm=iso) <[http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912001000200007&lng=es&nrm=iso](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912001000200007&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0718-2791.p

Porta, J., M. López-Acevedo, C. Roquero, 1999. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente 2a ed. Ed. Ediciones Mundi-prensa. España.

Pozo, O.; Montes, S. y Redondo, E. 1991. Chile (*Capsicum* spp.). Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. pp. 217-238. Palomino G, Castillo F, González V. A, Livera M. (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C., Chapingo, México.

Ramírez M. M., G. Arcos C., H. Mata V. y E. Vázquez G. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. Folleto Técnico. No. MX-0- 310302-11-03-14-09-28.

Ranger, J y M.P. Tur pault, 1999. Input-out put nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*. 122:139-154.

Reddy, U.K.; Almeida, A.; Abburi, V.L.; Alaparthi, S.B.; Unselt, D.; Hankins, G. 2014. Identification of Gene-Specific Polymorphisms and Association with Capsaicin Pathway Metabolites in *Capsicum annum* L. Collections. *PLoS ONE* 9(1): e86393. doi:10.1371/journal.pone.0086393.

Rivera-Hernández, B., Carrillo-Ávila, E., Obrador-Olán, J.J., Juárez-López, J.F., Aceves-Navarro, L.A. 2010. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. *Agric. Water Manage.* 97, 1365–1374.

Rocío E. Meneses-Lazo., & René Garruña-Hernández., & Luis Latournerie-Moreno., & José L. Andrade-Torres., & Alfonso Pérez-Gutiérrez. 2018. Caracterización fenológica y fisiológica de variedades experimentales de chile habanero con alto potencial agronómico. *Fitotecnia México*, 41, 67-74.

Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos, un método racional. Colección en Agricultura, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 291 p.

Rodríguez M., M.N., G. Alcántar G., A. Aguilar S., J.D. Etchevers B., y J. A. Santizo R. 1998 Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra* 16:135-141.

Ruíz-Lau, N., Medina Lara, F., y Martínez Estévez, M. 2011. El Chile Habanero: su Origen y Usos. Disponible en: [xa.yimg.com/kq/groups/.../Capsicum+chinense-HabaneroYucatan.pdf](http://xa.yimg.com/kq/groups/.../Capsicum+chinense-HabaneroYucatan.pdf). *Ciencia*, 70, 8

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2015. Agenda Técnica Agrícola Campeche, Segunda Ed, 49–62.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 27 de octubre de 2015. Comunicado de prensa Num. 721/15. México, líder mundial en exportación de chile: SAGARPA. Distrito Federal, México

Salgado GS, Bucio LA, Riestra DD, Lagunes-Espinoza LC 2001 caña de azúcar: hacia un manejo sustentable. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-ISPOTAB.

H. Cárdenas, Tabasco. 349 p. Salgado G., S., L. Bucio A., D. Riestra D. y L. C. Lagunes-Espinosa.

Sánchez, C.A. 2007. Phosphorus. In: Broker, A.V., y Pilbeam, D.J., Taylor, Francis (eds.). *Handbook of Plant Nutrition*. Grup. Boca Raton. London, New York. Pp: 51–82.

Santos Dzul, R. 2014. Caracterización de los morfotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Presentes en seis comunidades de Quintana Roo, México. Licenciatura. Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo.

Schachtman, D.P., Reid, R.J., Ayling, S.M., 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Phys.* 116, 447–453.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Uso de Fertilizantes. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Montecillo, Estado de México. 2007.

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.

Selmants, P. C. and S. C. Hart. 2010. Phosphorus and soil development: Does the Walker and Syers model apply to semiarid ecosystems? *Ecology* 91: 474-484.

Sharpley, A., 2000. Phosphorus availability. In: Sumner, M.E. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, New York, pp. D18–D37.

Servicio de Información Agroalimentaria Y Pesquera (SIAP). 2010. Un panorama del cultivo de chile. México D. F. México, consultado en julio de 2016. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/200905-monografía-chile.pdf>.

Servicio de Información Agroalimentaria Y Pesquera (SIAP) 2010. Un panorama del cultivo del chile, 20. Retrieved from <http://infosiap.siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografía-chile.pdf>

Soria, F. M., A. Trejo, J. Tun, R. Saldívar 2002, Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (Capsi - cum chinense Jacq.), Secretaría de Educación Pública/ SEIT/Instituto Tecnológico Agropecuario de Conkal, Yucatán, pp. 1-21

SSSA Sing, J. S. y S.R. Gupta, 1977. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The botanical review*, 43 (4):449-528.

Syers, J.K., A.E. Johnston, and D. Curtin. 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. . Reconciling Changing concepts of Soil Phosphorus Behaviour with Agronomic information. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 18. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Terán S y C H Rasmussen. 1998. Las Plantas de la Milpa entre los Mayas. Fundación Tun Ben Kin. A. C. Yucatán, México. 349 p.

Tiessen, H., J. W. B. Stewart, and J. O. Moir. 1983. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60-90 years of cultivation. *J. Soil Sci.* 34: 815-823.

Tisdale, S.L., Nelson, L., Beaton, J.B., Havlin, J.L., 1999. *Soil Fertility and Fertilizer*, 5th ed. Prentice Hall of India, New Delhi.

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

Tucuch-Haas, C. J., Alcántar-González, G., Ordaz-Chaparro, V. M., Santizo-Rincón, J.A., & Larqué-Saavedra, A. 2012. Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 9-15. Recuperado en 20 de noviembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792012000100009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000100009&lng=es&tlng=es)

Tukey, J.W., 1991. The philosophy of multiple comparison. *Stat. Sci.* 6, 100–116.

Tun D., J.C. 2000. Aplicación de fertilizantes a través del agua de riego, a hortalizas y frutales, mediante sistemas de riego presurizado. Informe Final. C.E. Zona Henequenera. CIR Sureste. INIFAP. SAGAR. Sin publicar. 101 p.

- Tun D., J.C. 2003. Requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio, para melón reticulado (*Cucumis melo* L.). En: Resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. UACH- Depto. De Fitotecnia. 20 al 24 de octubre. Chapingo, Edo de México. Pag. 108.
- Valadez, L.A. 2001. Producción de hortalizas. Solanaceas. 9a Edición. Pp. 186. Limusa. México.
- Van Vuuren DP, Bouwman AF, Beusen AHW. Phosphorus demand for the 1970–2100 period: A scenario analysis of resource depletion. 2010. *Global Environmental Change* 20: 428–439.
- Van Der Zee SEATM and Riemsdijk WH Van. 1988. Model for Long-term Phosphate Reaction Kinetics in Soil. *J Environ Quali*;17:35–41.
- Vance, C.P., Uhde-Stone, C., Allan, D.L., 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157, 423–447.
- Waizel-Bucay , J., y Camacho Morfin, R. 2011. El género *Capsicum* spp.("chile") Una version panorámica. *Revista Aleph Zero*. Pp.1-13.
- Walker, T. W. and J. K. Syers. 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma* 15: 1-19.
- Whalen, J. K. and L. Sampedro. 2010. *Soil ecology and management*. Cambridge University Press. UK
- White, A. K. and W. W. Metcalf. 2007. Microbial metabolism of reduced phosphorus compounds. *Annu Rev Microbiol*. 61: 379-400
- Yuxiang Zhang, Zhigang Zeng, Xuebo Yin, Haiyan Qi, Shuai Chen, Xiaoyuan Wang, Yunchao Shu, Zuxing Chen and S. Li, Petrology and mineralogy of pumice from the Iheya North Knoll, Okinawa Trough: Implications for the differentiation of crystal-poor and volatile-rich melts in the magma chamber, *Geological Journal*, 2018.
- Zaidi, A., Khan, M. S., Ahemad, M., Oves, M., Wani, P. A. 2009. Recent advances in plant growth promotion by phosphate solubilizing microbes. In: Khan, M. S et al. (eds) *Microbial strategies for crop improvement*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 23–50.
- Zewdie, Y. and P. W. Bosland. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annum* L. *Euphytica* 111: 185–190.

Zhang J, Beusen AHW, van Apeldoorn DF, Mogollón JM, Yu C, Bouwman AF. Spatiotemporal dynamics of soil phosphorus and crop uptake in global cropland during the twentieth century. *Biogeosciences Discuss.* 2017. 1–26. doi:10.5194/bg-2016-543.