



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO SUPERMAGRO EN LA
NUTRICIÓN DEL CHILE HABANERO**

TESIS

Que presenta:

ANA CAROLINA UITZ CHIN

Como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERA EN AGRONOMÍA

Director de tesis:

M.C. GASPAR MARTÍN PEREYDA PÉREZ

Conkal, Yucatán, México

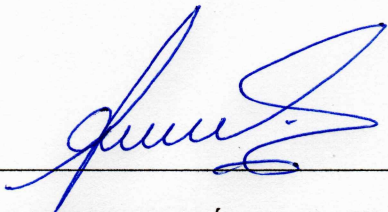
Diciembre, 2024



TecNM

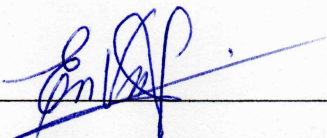
La presente Tesis fue realizada por Ana Carolina Uitz Chin, de la carrera Ingeniería en agronomía, con especialidad en Innovación Agrícola Sustentable y con un número de control 19800027, con el título Biofertilizante líquido Supermagro en la nutrición del chile habanero, la cual fue dirigida y revisada por el jurado que fue asignado en su oportunidad, y cuyos integrantes firman su consentimiento para que este trabajo sea presentado como requisito parcial para la Titulación de acuerdo al proceso de Titulación Integral y al Manual de Lineamientos Académicos-Administrativos del Tecnológico Nacional de México.

DIRECTOR:



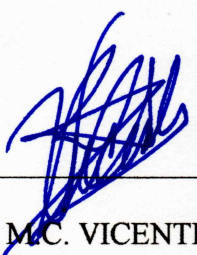
M.C. GASPAR MARTÍN PEREYDA PÉREZ

ASESOR:



DR. EDUARDO VILLANUEVA COUOH

REVISOR:



M.C. VICENTE REYES OREGEL

Conkal, Yuc., Diciembre 2024

DEDICATORIAS

A mi mamá Margarita Chin Montejo que estuvo durante todo este proceso académico, me apoyó incondicionalmente con mucho amor y siempre orgullosa de mí. Te amo doña mamá.

A mi hermana Diana Uitz que la quiero muchísimo, siempre estuvo para mí y con lo poco o mucho que tenía.

A mi hermano Rodrigo y mis sobrinos, porque con sus ocurrencias me animaban sin que ellos se den cuenta.

A mi familia, porque estando lejos o cerca me apoyaron en todo momento sin dudarlo.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Conkal por brindarme la oportunidad de ser parte de la comunidad estudiantil que obtuvo los conocimientos para mi formación profesional.

Al M.C. Gaspar Martín Pereyda Pérez por todos sus consejos, enseñanzas y apoyo para poder realizar este trabajo.

Al Dr. Eduardo Villanueva Couoh por todo el apoyo, conocimientos y alentarme a mejorar en este camino de aprendizaje.

Al Lic. Federico May Cuitun por haberme compartido sus aprendizajes y conocimientos en campo.

A mis amigos por todos los ánimos, su apoyo y sobre todo su paciencia durante este proceso.

Al buen M.C. Aldo Chan, por su gran paciencia, ayuda y apoyo. Porque las desveladas ya dio fruto.

A la Ing. Erika Bermudes Cetina por su gran apoyo durante toda la carrera, por ser una gran amiga y por aconsejarme para que pueda llegar a presentar este trabajo.

A mis todos mis maestros en el instituto por todo el conocimiento adquirido en el aula y en campo he logrado este gran trabajo.

RESUMEN

El biofertilizante líquido Supermagro es una alternativa para la nutrición de plantas cultivables como una estrategia de producción orgánica y disminuir el uso excesivo de fertilizantes sintéticos. Es por esto que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del biofertilizante líquido Supermagro en la nutrición del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). El cultivo se estableció bajo un experimento de bloques completos al azar con cuatro repeticiones donde el factor de variación fueron cuatro tratamientos (T₁ Testigo, T₂ Tratamiento de fertilización, T₃ Supermagro 2.5 % y T₄ Supermagro 5 %). Las variables evaluadas en las plantas fueron características agronómicas y fisiológica (crecimiento vegetativo, biomasa fresca, biomasa seca, características de fruto, componentes de rendimiento y unidades SPAD). Los resultados mostraron datos significativos ($p < 0.05$) entre tratamientos, la fertilización establecida promovió un mayor crecimiento vegetal evidenciando un incremento relevante en la altura, la biomasa, volumen radicular y las unidades SPAD en comparación a las plantas con Supermagro. Por otro lado, el tratamiento Supermagro mostró un impacto positivo únicamente en el diámetro de los frutos en comparación al tratamiento de fertilización. En conclusión, aunque el efecto del Supermagro fue beneficioso en aspectos del fruto, el tratamiento de fertilización fue superior en la mayoría de las variables evaluadas mostrando así, ser el adecuado para maximizar el crecimiento de la planta y el rendimiento del chile habanero.

ABSTRACT

The liquid biofertilizer Supermagro is an alternative for plant nutrition in cultivated plants as an organic production strategy and to reduce excessive use of synthetic fertilizers. This is why the objective of this work was to evaluate the effect of the liquid biofertilizer Supermagro on the nutrition of habanero chili (*Capsicum chinense* Jacq.). The crop was established under a randomized complete block experiment with four replications, where the variation factor was four treatments (T₁ Control, T₂ Fertilization treatment, T₃ Supermagro 2.5%, and T₄ Supermagro 5%). The variables evaluated in the plants were agronomic and physiological characteristics (vegetative growth, fresh biomass, dry biomass, fruit characteristics, yield components, and SPAD units). The results showed significant data ($p < 0.05$) between treatments, the established fertilization promoted greater plant growth, evidencing a relevant increase in height, biomass, root volume, and SPAD units compared to plants with Supermagro. On the other hand, the Supermagro treatment showed a positive impact only on fruit diameter compared to the fertilization treatment. In conclusion, although Supermagro's effect was beneficial in aspects of the fruit, the fertilization treatment was superior in most of the evaluated variables, thus showing that it is suitable for maximizing plant growth and habanero chili yield.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
I INTRODUCCIÓN	10
II OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivo específico	11
III HIPÓTESIS	12
IV FUNDAMENTO TEORÍCO	13
4.1 Origen y distribución del chile habanero	13
4.2 El chile habanero y su llegada a la Península de Yucatán	13
4.3 Importancia del chile habanero	14
4.4 Clasificación taxonómica del chile habanero	15
4.5 Descripción del chile habanero	16
4.6 Nutrición	17
4.7 Principales plagas y enfermedades del chile habanero	18
4.8 Biofertilizantes	18
4.9 Biol	18

4.10 Supermagro	19
4.11 Importancia del Supermagro en los cultivos	20
V DESARROLLO DEL PROYECTO	21
5.1 Localización	21
5.2 Material vegetativo	21
5.3 Preparación de sustrato	21
5.4 Preparación del Supermagro	23
5.5 Trasplante	27
5.6 Manejo agronómico del cultivo	27
5.7 Variables de estudio	28
5.8 Condiciones ambientales	30
5.9 Tratamientos y diseño experimental	30
VI RESULTADOS	31
VII DISCUSIÓN	39
VIII CONCLUSIONES	42
IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis físico-químico del sustrato para el cultivo de chile habanero.	22
Tabla 2. Resultados del análisis químico del agua para el riego del cultivo de chile habanero.	22
Tabla 3. Materiales para la elaboración del fertilizante líquido supermagro.	23
Tabla 4. Cronograma de preparación del supermagro.	25
Tabla 5. Análisis químico del Supermagro.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento vegetativo de las plantas de chile habanero.	32
Figura 2. Biomasa fresca de las plantas de chile habanero.	33
Figura 3. Biomasa seca de las plantas de chile habanero.	34
Figura 4. Características de fruto de las plantas de chile habanero.	36
Figura 5. Componentes del rendimiento de las plantas de chile habanero.	37
Figura 6. Unidades SPAD de las plantas de chile habanero.	38

I INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es originario de Sudamérica, perteneciente a la familia de las solanáceas y al género *Capsicum*. En el estado de Yucatán es el cultivo que ocupa el segundo lugar después del tomate, siendo éste de gran importancia económica para los productores (Ruiz *et al.*, 2011). La producción de chile habanero es destinada a la comercialización de fruto fresco y sólo una pequeña parte como materia prima para salsas picantes (Tun, 2001).

El uso de fertilizantes en México da comienzo a mediados del siglo XX y su uso se ha expandido notoriamente, debido a los costos y a una amplia disposición a nivel nacional (Aguirre *et al.*, 2009). Poco a poco los fertilizantes sintetizados comienzan a tener impactos ambientales desfavorables, ocasionado por las prácticas agrícolas y que se presenta en el suelo, agua, aire y la diversidad, pero notoriamente en la salud humana, como también en animales e incluso las plantas en las áreas donde se aplicaron éstos (Balmford *et al.*, 2018).

Los agricultores cuando llevan a cabo el empleo de bioles en su cultivo presentan una situación de desinformación de los productos que aplican, debido a que se desconocen las dosis y frecuencias de la aplicación más apropiadas para el cultivo de alguna hortaliza (Pombaza *et al.*, 2016). En México el uso del Supermagro es incipiente y se requiere realizar evaluaciones de su efectividad como fertilizante orgánico (Roa, 2016).

Con este trabajo se pretende disminuir el uso de fertilizantes químicos y reducir costos y contaminación al medio ambiente. Por tal motivo, se busca una alternativa para la producción de chile habanero en esta región haciendo uso del biofertilizante líquido Supermagro en la nutrición. De tal forma que se considere el contenido biol, macronutrientes y micronutrientes, en el requerimiento del cultivo.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el efecto del biofertilizante líquido Supermagro en la nutrición chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

2.2 Específicos

Evaluar el crecimiento vegetativo del chile habanero como efecto de la aplicación del biofertilizante líquido Supermagro.

Evaluar las características morfológicas del fruto del chile habanero como efecto de la aplicación del biofertilizante líquido Supermagro.

Evaluar los componentes de rendimiento del chile habanero como efecto de la aplicación del biofertilizante líquido Supermagro.

Determinar las Unidades SPAD en las plantas de chile habanero como efecto de la aplicación del biofertilizante líquido Supermagro.

.

III HIPÓTESIS

La aplicación al suelo del biofertilizante líquido Supermagro en el chile habanero es capaz de cubrir los requerimientos nutrimentales de este cultivo.

IV FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1 Origen y distribución del chile habanero

El género *Capsicum* es originario de la región Brasileño Boliviana sur y luego fue distribuido a otras regiones de Sudamérica y Centroamérica (Ruiz *et al.*, 2011). Santos I. (2014) menciona que en varios estudios indican que el origen del género *Capsicum* se encuentra en una gran extensión del sur de Brasil y el este de Bolivia, el oeste de Paraguay y el norte de Argentina.

La distribución del *Capsicum* se da a partir de una distribución natural, como una planta silvestre, donde probablemente por medio del tracto digestivo de las aves que son atraídas por su color arriban a tierras bajas de la cuenca Amazónica en el Brasil y por medio de los primeros humanos en las Américas por el puente de Behring (Trujillo *et al.*, 2005; Long, 2004).

Flores y Sánchez (2020) mencionan que hay descripciones de historiadores y botánicos donde la domesticación y dispersión del habanero se da a través de inmigrantes pasando por delta del Orinoco en Venezuela y de ahí a la isla del Caribe, por medio de las islas de Trinidad y Tobago cerca de la costa de América del sur debido al comercio y migración de los caribeños.

4.2 El chile habanero y su llegada a la Península de Yucatán

Por medio de datos históricos Heiser (1964), describe que el chile habanero llegó a la Península de Yucatán, a través de trabajadores negros de la construcción de ferrocarril en el siglo XIX que se trasladaban de Jamaica a Costa Rica. Por otro lado, Ruiz *et al.*, (2011) menciona que el chile habanero es introducido a Cuba, lugar donde no es consumido y menos sembrado. Por lo tanto, se lleva a la península de Yucatán. Por ese motivo el *C. chinense* Jacq., es uno de los chiles que no cuenta con nombre maya, en comparación de los otros (Long, 2004). En este sentido la

llegada del chile habanero a la Península de Yucatán fue hasta después de la conquista (Flores y Sánchez, 2020).

Por lo que en las comunidades mayas no se identificaba al chile habanero en la Península con nombre maya en comparación a los demás chiles como es el caso del chile *maax ik*, *x catik*, *yaax ik* y otros (Long, 2009).

4.3 Importancia del chile habanero

El chile habanero es de gran importancia económica, debido a su demanda en el mercado nacional e internacional por su gama comestible, como es el fruto fresco y los industrializados; además como una fuente de colorante natural, al igual por su contenido de compuestos fitoquímicos benéficos como los capsaicinoides que son metabolitos presentes en el género *Capsicum* que le dan picor y que pueden ser utilizados en la salud pública (Navarro *et al.*, 2006).

Tun (2001), se refiere al chile habanero como un cultivo de importancia para los productores del estado de Yucatán, dando lugar una superficie de producción en la parte norte del estado y obteniendo más del 90 % del volumen de producción estatal. La mayor parte de la producción es destinada a la comercialización de fruto fresco y sólo una pequeña parte como materia prima para la elaboración de salsas picantes.

Principalmente la producción de chile habanero se da en la Península de Yucatán, cosechando alrededor de 1,500 t anuales. De igual manera, en Belice y en algunas islas del Caribe se cosecha, pero en menor proporción (Ochoa, 2001).

El cultivo del chile habanero según Ruiz *et al.*, (2009) representa una actividad de importancia económica y cultural por la gran demanda de personal que se necesita, por lo cual, se genera empleos e ingresos.

México se encuentra en el segundo lugar de producción mundial con 1, 853, 610 toneladas y el tercero en superficie cosechada con 140, 693 ha; produciendo con una mediana a baja tecnología que se encuentran distribuidas en el país dando como resultado un rendimiento de 13.7 t ha⁻¹ (Rincón *et al.*, 2004; CONAPROCH, 2007).

4.4 Clasificación taxonómica del chile habanero

Reino:	Plantae
Subreino:	<i>Tracheobionta</i> (Plantas Vasculares)
Superdivisión:	<i>Spermathphyta</i> (Planta con semillas)
División:	Magnoliophyta (Planta con flores)
Clase:	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Subclase:	Asteridae
Orden:	Salonales
Familia:	Solanaceae
Género:	<i>Capsicum</i>
Especie:	<i>chinense</i>

4.5 Descripción del chile habanero

La planta de chile habanero posee una raíz principal tipo pivotante, el cual llega a profundizar de 0.40 a 1.20 m, con raíces secundarias extendidas en el suelo. Su tallo es erecto, de un color verde con o sin coloración violeta de los nudos. Alcanza una altura que va de los 0.3 a 1.2 m. Carece de pubescencia, en ocasiones puede estar cubierto por tricomas (Alpizar *et al.*, 2003).

Las hojas son simples, alternadas y con una forma lanceolada. Pueden ser glabras o pubescentes; el grado de pubescencia depende de la variedad (Tun, 2001). Presenta una coloración verde oscuro brillante, dependiendo el manejo puede alcanzar hasta 15 cm de largo por 10 de ancho (González *et al.*, 2010).

Las flores son de color blanco, el tamaño puede ser entre 1.5 y 2.5 cm de diámetro de la corola, puede presentarse racimos de hasta 6 flores y dando lugar en promedio 6 frutos por axila (Tun, 2001). Las flores son hermafroditas, regulares y están compuestas por 5 sépalos, 5 pétalos y 5 estambres (Waizel *et al.*, 2011). Los pedicelos por lo general son declinantes, pero también pueden ser erectos. El cáliz no presenta dientes, es glabro, pero presenta un borde dentado marcado entre la base y el pedúnculo. La corola es de un color amarillo verdoso y blanco verdoso con anteras azules comúnmente (Cano, 1998).

El fruto es de forma esférica o alargada, con pericarpio liso o arrugados (Cano, 1998). Los frutos varían en forma y tamaño según la variedad. Son huecos y tiene de 3 a 4 lóculos; las semillas se encuentran en la placenta blancuzcas y secas, las membranas de lóculos por lo general no se prolongan hasta el centro. El color de maduración puede ser amarillo, rojo, naranja o café y con un sabor muy picante y aromático, pero la intensidad de la pungencia depende de la variedad (Ruiz *et al.*, 2011; Tun, 2001).

Las semillas son lisas, ovaladas y pequeñas (2.5 a 3.5 mm); presenta una testa de color café claro a café oscuro y su periodo de germinación es entre 8 a 15 días. La presencia de capsaicina se encuentra con mayor concentración en la placenta de las semillas (Tun, 2001).

4.6 Nutrición

Steiner (1984) menciona que la nutrición es fundamental para un buen desarrollo de la planta. De tal forma que, se genere altos rendimientos. Pero para obtener esos resultados es necesario contar con análisis del área a trabajar porque es de suma importancia, debido a que se puede determinar la dosis o cantidad de nutrientes que se requiere en el cultivo.

La demanda nutrimental del cultivo (D_n) es la cantidad de nutrimentos que el cultivo requiere para producir. Por lo tanto, saber la demanda nutrimental del cultivo según la etapa fenológica en la que se encuentre, tomando en cuenta el aporte del suelo o sustrato utilizado (Nieves *et al.*, 2015).

El chile habanero presenta cuatro etapas fenológicas: 1) Etapa vegetativa (50 días después de trasplante); 2) Etapa de floración (75 DDT); 3) Etapa de fructificación (100 DDT) y 4) Etapa de producción (120 DDT) (Noh *et al.*, 2010).

Soria *et al.* (2002) recomiendan para el ciclo de cultivo de chile habanero el requerimiento de 125 kg de N, 100 kg de P y 150 kg de K para alcanzar rendimientos promedio por hectárea de 18 t en suelos pedregosos o rojos ($0.9 \text{ kg planta}^{-1}$). En comparación, Prado (2006) menciona que el requerimiento para chile habanero en todo el ciclo de producción es 250 kg de N, 100 kg de P, 300 kg de K, 200 kg de Ca y 100 kg de Mg.

4.7 Principales plagas y enfermedades del chile habanero

Soria *et al.*, (2002) mencionan que la virosis del chile es transmitida principalmente por la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) es la principal enfermedad a nivel nacional. Otros de los vectores identificados causantes de la virosis son: *Trialeurodes abutilonea* y *Trialeurodes vaporaririum*. Otra enfermedad de importancia en el cultivo es la marchitez del chile (*Phytophthora capsici*).

Entre las plagas de importancia agronómica en chile habanero se encuentran la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn), barrenillo fruto (*Anthonomus eugenii*), pulgón verde (*Myzus persicae*), minador de la hoja (*Liomyza* spp.) (Soria *et al.*, 2002).

4.8 Biofertilizantes

La interpretación del término biofertilizante es muy amplia, representando desde microorganismos, abonos verdes y estiércoles, hasta extractos de plantas. De manera sintetizada, se puede decir que son productos que contienen microorganismos, que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y le ayudan a su nutrición y protección (Vessey, 2003).

4.9 Biol

En este contexto los agricultores hacen uso de bioles caseros o biofertilizantes elaborados mediante fermentación anaeróbica de residuos animales, vegetales y minerales (Chávez *et al.*, 2011).

Restrepo (2001), indica que el Biol es un biofertilizante, fuente de fitoreguladores preparado a base de estiércol muy fresco, disuelto en agua y enriquecido con leche, melaza y ceniza

puesto a fermentar por varios días, obteniendo un producto de la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos.

Martín (2003), menciona que la función del biol en el interior de las plantas es, activar el fortalecimiento del equilibrio nutricional como un mecanismo de defensa, a través de los ácidos orgánicos, las hormonas de crecimiento, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas, coenzimas carbohidratos, azúcares complejas de relaciones biológicas, químicas, físicas y energéticas que se establece entre las plantas y la vida del suelo.

4.10 Supermagro

Es un biofertilizante líquido que se encuentra enriquecido con sales minerales a base de una fermentación anaeróbica. Dentro de la composición de los materiales para producirla podemos encontrar el estiércol fresco de ganado, melaza o piloncillo, ceniza vegetal, agua y suero de leche; y todo se mezcla en un tambor que cuente con tapa hermética. Además, se puede considerar añadir micronutrientes, materia vegetal, entre otros.

El Supermagro es un biofertilizante líquido, obtenido mediante una fermentación anaeróbica (sin presencia de oxígeno); actúa como nutriente vegetal y puede utilizarse en todas las etapas fenológicas de los cultivos. El producto se compone de estiércol fresco de vaca, melaza o piloncillo, suero de leche o leche bronca, ceniza vegetal y agua natural; pueden añadirse: levaduras, material vegetal verde, harina de roca o minerales como Zn, Mg, Cb, B, Cu, Ca, Mn, Na y Fe. De acuerdo con la disponibilidad, puede elaborarse una formulación más completa nutrimentalmente, sin embargo, también puede implementarse una formulación base (SADER e INIFAP, 2022).

Se elabora por la descomposición y/o fermentación aeróbica de diversos materiales orgánicos (animal y/o vegetal) y minerales. De esta fermentación resulta un residuo líquido y otro sólido. El residuo líquido es usado como abono foliar y preventivo natural de plagas y enfermedades, y la parte sólida se usa incorporándolo al suelo directamente (Aliaga, 2007).

4.11 Importancia del Supermagro en los cultivos

En México, la producción actual de biofertilizantes es llevado a cabo por instituciones de educación e investigación como el INIFAP y otras instituciones de educación e investigación, con el apoyo del gobierno federal y/o por gobiernos estatales. A pesar de este desarrollo, la distribución y aplicación a gran escala ha tenido serias dificultades, principalmente por problemas de promoción y distribución (Grageda *et al.*, 2012).

El uso del abono líquido Supermagro tiene impacto en el aspecto financiero, por el hecho de obtener un gran ahorro en la fertilización. Además, es considerado como un biofertilizante repelente, de tal manera que en los cultivos se evita la presencia de plagas y enfermedades. También, aporta una gran cantidad de microorganismos al suelo y por lo tanto ayuda a recuperar la capa microbiana manteniendo un equilibrio con las plantas. Asimismo, el supermagro presenta una gran relevancia por el uso en diferentes cultivos como es el caso de la lechuga, en dónde aumenta el diámetro polar, longitud radicular, longitud ecuatorial, peso y rendimiento (Cunache, 2023), en la fresa presenta un buen rendimiento y altura de la planta (Ferrer *et al.*, 2020), en frijol blanco presenta respuesta en altura de la planta y número de hojas por planta (Azevedo, 2011), entre otros cultivos.

V MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Sitio de estudio y material vegetal

El proyecto se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, específicamente en el área “Producción de plantas ornamentales tropicales”. Dicho Tecnológico se encuentra ubicado en Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345 (21°07'28.92" N y 89°26'17.88" W) durante los meses de febrero a junio del 2024. El experimento se estableció en un invernadero tipo túnel de 480 m² aproximadamente con una cubierta de plástico lechoso al 25 % sombra y paredes con malla antiáfidos. La temperatura media registrada de entre los meses febrero a junio en el sitio de estudio fue de 31.54 °C y la humedad relativa de 60.09 %.

5.2 Material vegetativo

El material vegetativo empleado fueron plántulas de chile habanero var. Izamal con una altura mínima de 12 cm con diez hojas verdaderas que fueron adquiridas del vivero Cutz ubicado en el municipio de Suma de Hidalgo, Yucatán.

5.3 Preparación de sustrato

El sustrato que se utilizó está compuesto por dos materiales: 70 % bagazo de henequén y 30 % suelo. El sustrato mencionado se colocó en bolsas negras de vivero de un tamaño de 8" x 10". El sustrato cuenta con análisis físico-químico (Tabla 1).

Se realizó el análisis de calidad de agua de riego los valores se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Análisis físico-químico del sustrato para el cultivo de chile habanero.

Parámetro	Unidad	Método	Muestra
pH	En agua (1:2) Unidades de pH	Potenciométrico	7.57
C. E	(1:5) mS cm ⁻¹	Conductimétrico	4.34
N total	%	Kjeldahl	1.26
P intercambiable	mg kg ⁻¹	Olsen	395.80
K intercambiable	mg kg ⁻¹	Acetato de amonio	846.85
C.I.C.	meq 100 g ⁻¹	Acetato de amonio	29.67
Densidad aparente	g cm ⁻³	Volumen definido	0.4845
Densidad real	g cm ⁻³	Picnómetro	1.9955
Porosidad	%	Cálculo	75.72

Tabla 2. Características del análisis químico del agua para el riego del cultivo de chile habanero.

Características generales de Salinidad		
Determinación	Unidades	Resultados
C.E.	dS m ⁻¹	1.32
pH	-	7.13
Rel. Ads. Sodio (RAS)	-	2.06
Rel. Ads Sodio Aj (RASaj)	-	2.75
Dureza (°f)	-	43.85
Cationes		
Determinación	Unidades	
	ml L ⁻¹	ppm
Calcio (Ca)	6.05	121
Magnesio (Mg)	2.75	33.4
Sodio (Na)	4.32	99.4
Potasio (K)	0.58	22.7
Suma de Cationes	13.7	
Aniones		
Determinación	Unidades	
	ml L ⁻¹	ppm
Sulfatos (S-SO ₄)	0.14	4.48
Bicarbonatos (HCO ₃)	6.59	402
Cloruros (Cl)	6.06	212
Carbonatos (CO ₃)	0.00	0.00
Nitratos (N-NO ₃)	0.37	5.18
Suma de aniones	13.2	

5.4 Preparación del Supermagro

Materiales. Se presenta a continuación en la Tabla 3 todo lo requerido para su preparación.

Tabla 3. Materiales para la elaboración del fertilizante líquido Supermagro.

Materiales		
Ingredientes	Cantidades (g)	Otros materiales
Estiércol de vaca	50000	Tambor de 200 L
Ceniza	1400	Palo
Roca fosfórica	2600	Alambre sujetador
Sulfato de zinc	1000	Botella de 1 litro
Cloruro de calcio	2000	Trozo de tul para colar
Sulfato de magnesio	2000	Cubeta de 5 litros
Sulfato de manganeso	300	Agua 60 litros
Cloruro de cobalto	50	Trozo de alambre
Molibdato de sodio	100	Termómetro de cocina
Bórax	750	Palo de madera
Sulfato ferroso	300	
Sulfato de cobre	300	
Ingredientes	Cantidades (L)	
Melaza	14	
Leche	28	

Construcción de biodigestor. Se utilizó 1 tambor de plástico con capacidad de 200 litros, tapa de rosca con arillo metálico cuya finalidad sea permitir un sellado hermético y brindar un bloqueo de aire para lograr un fermentado anaeróbico perfecto.

Instalación de aireador. Se le hizo un agujero de un tamaño de $\frac{1}{2}$ " en la tapa con ayuda de un taladro. Luego se le insertó un conector hembra de $\frac{1}{2}$ " junto con un empaque de caucho para que tenga un mejor sellado en la parte de exterior de la tapa. Seguidamente, se le colocó un empaque y un conector macho en el interior de la tapa. Esto permitió la salida de gases que se produjeron dentro en el interior del tambor. Posteriormente en el conector hembra se insertó una manguera transparente de $\frac{1}{2}$ " de diámetro con un largo 1 metro aproximadamente. Se colocó una botella de 1 litro, éste fue colocado en el extremo de la manguera y se sujetó con un alambre que fue colocado en la boquilla hasta que quede bien asegurado y se enganchó en el arillo metálico.

Preparación de biol

Paso 1. Se recolectó el estiércol fresco de ganado. Se llenó 2 cubetas, lo que fue aproximadamente 50 kilos en total.

Paso 2. En el tambor de 200 litros de capacidad, se le agregó 100 litros de agua, 50 kilos de estiércol fresco de ganado, 100 gramos de ceniza, 2 litros de leche de vaca. Éstos materiales se revolvieron con una madera hasta homogenizar la mezcla.

Paso 3. Se colocó la tapa sobre el tambor y se sujetó debidamente, posteriormente a la botella se le agregó $\frac{3}{4}$ partes de agua dejando un espacio libre, seguidamente se colocó la manguera dentro de la botella. Luego de unos minutos se observó dentro de la botella con agua un burbujeo, esto es un indicador que se ha dado por inicio con la fermentación anaeróbica.

Paso 4. Al 4° día se agregó la primera dosificación de sales minerales. En un recipiente con capacidad de 5 litros, se disolvió mezcla base que está conformada por 100 g de ceniza, 2 litros de leche, 1 litro melaza. A esta mezcla se le incorporó 1 kg de sulfato de zinc y 200 g de roca fosfórica. Éstas sales minerales se presentan en la Tabla 4. Se mezcló bien hasta quedar con una consistencia homogénea, se tomó la temperatura y se cerró el tambor, luego se colocó la manguera en la botella con agua y se deja reposar unos días.

Tabla 4. Cronograma de preparación Supermagro.

Calendario de Paquetes			
Núm. De paquete	Sales Minerales	Cantidades (g)	Días transcurridos
1	A) Sulfato de zinc	1000	4
	B) Roca fosfórica	200	
2	A) Sulfato de zinc	1000	8
	B) Roca fosfórica	200	
3	A) Cloruro de calcio	1000	11
	B) Roca fosfórica	200	
4	A) Sulfato de magnesio	1000	15
	B) Roca fosfórica	200	
5	A) Sulfato de magnesio	1000	18
	B) Roca fosfórica	200	
6	A) Cloruro de calcio	1000	22
	B) Roca fosfórica	200	
7	A) Cloruro de manganeso	300	25
	B) Roca fosfórica	200	
8	A) Cloruro de cobalto	50	29
	B) Roca fosfórica	200	
9	A) Molibdato de sodio	100	32
	B) Roca fosfórica	200	
10	A) Bórax	750	36
	B) Roca fosfórica	200	
11	A) Bórax	750	38
	B) Roca fosfórica	200	
12	A) Sulfato de ferroso	300	43
	B) Roca fosfórica	200	
13	A) Sulfato de cobre	300	45
	B) Roca fosfórica	200	

Paso 5. Se repitió el paso 4 conforme a la Tabla 4 respetando los días transcurridos indicados y se procedió a cerrar muy bien el biodigestor para continuar satisfactoriamente el proceso de fermentación anaeróbica.

Paso 6. Después de incorporar el último paquete 13, se completó el contenido de agua que hace falta en el volumen del tambor hasta alcanzar una capacidad máxima de 180 litros para poder tener un espacio entre el límite del fermentado y la tapa para los gases que se producía en el tiempo de reposo (Tabla 4). Se procedió a cerrar el tambor hasta alcanzar la fecha de finalización del proceso de la elaboración del biol. Luego del reposo, se le realizó un análisis al Supermagro para saber el contenido nutrimental (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis químico del Supermagro.

Análisis químico del Supermagro		
pH	-	4.4
C. E	dS m ⁻¹	42.1
Macronutrientes (%)		
Nitrógeno (N)		0.31
Fósforo (P)		0.02
P ₂ O ₅		0.05
Potasio (K)		0.28
K ₂ O		0.34
Calcio (Ca)		0.60
Magnesio (Mg)		0.20
Azufre (S)		0.24
Sodio (Na)		0.19
Micronutrientes (ppm)		
Hierro (Fe)		24
Manganeso (Mn)		524
Zinc (Zn)		2810
Cobre (Cu)		200
Boro (B)		1129
Níquel (Ni)		NA
Molibdeno (Mo)		NA

5.5 Trasplante

El cultivo se estableció en cuatro camas con una superficie de 12 metros de largo y 1 metro de ancho. Las bolsas con las plantas se colocaron por encima en dos líneas por cama, con un distanciamiento de 30 cm entre línea y 30 cm entre planta. Se trasplantó un total de 160 plantas para todo el experimento. El trasplante se realizó de forma manual.

5.6 Manejo agronómico del cultivo

Riego. Por cada cama se colocó dos líneas de cinta con goteros a cada 20 cm. Las cintas estuvieron conectadas a un sistema de riego por gravedad, cuyo tanque se encontraba a una altura de 2 m. Para el monitoreo de humedad se colocó 4 tensiómetros Irrometer® de 8" distribuidos aleatoriamente.

Fertilización. Se llevó a cabo por las mañanas vía Drench aplicando el requerimiento necesario según la etapa fenológica que se encuentre la planta con respecto a la evapotranspiración que se haya registrado. Las fuentes que se utilizaron para la fertilización química fueron: Nitrato de potasio KNO_3 (12-00-46), Fosfato Monoamónico (MAP) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (12-61-00), Sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (21-00-00). En base a los análisis de suelo y agua se ajustó la Se midió la conductividad eléctrica y el pH antes de cada aplicación.

Poda. A partir de que las plantas emitieron brotes; se rompió el crecimiento apical para inducir el crecimiento de ramas. También se realizó el deshoje y el raleo hasta la primera ramificación.

Tutoreo. Se llevó a cabo un tutoreo tipo holandés. Se realizó con hilo de rafia y cable galvanizado sobre la línea de plantación, se sujetaron las ramificaciones de la planta a los 40 días

después del trasplante cuando se observó que las plantas habían bifurcado a lo que se conoce como primera división Y_0 , posteriormente las siguientes bifurcaciones fueron la Y_1 , Y_2 , Y_3 y así sucesivamente, una vez colocados los hilos sostenidos del cable, se amarraron al tallo principal y se fue guiando a la planta a partir de la Y_0 , hilando la rama de crecimiento Y_1 y así sucesivamente.

Control de maleza. Se realizó de forma manual los días de acuerdo a las condiciones en el proyecto.

Control de plagas y enfermedades. Se realizó un monitoreo diario a las plantas, observando si había alguna sintomatología según la plaga o enfermedad. Se tomó en cuenta una aplicación intercalada para no provocar resistencia, como forma preventiva $1 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de Abamectina Avalanch®, $1 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de extracto de neem NeemAcar® y $5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ de jabón potásico.

Cosecha. Se realizó de forma manual alrededor de los 106 días después de trasplante, colocando los frutos maduros en una bolsa de plástico etiquetado según el bloque, tratamiento y número de planta. Se llevó a cabo un total de 2 cortes por planta.

5.7 Variables de estudio

Crecimiento vegetativo

Altura de la planta (cm). Se realizaron mediciones quincenales, a partir del trasplante con un flexómetro hasta la etapa de cosecha. Colocando la herramienta en la base del sustrato cerca del tallo hasta el ápice de la rama más larga.

Diámetro del tallo (mm). Las mediciones se realizaron cada quince días, iniciando después del trasplante hasta la etapa de cosecha con un vernier digital marca TRUPER ®.

Área foliar (cm²). Se recolectó las plantas seleccionadas y fueron llevadas al laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal en el Instituto Tecnológico de Conkal; se separaron las hojas fueron colocadas en el integrador de área foliar de marca Li-COR Modelo 3100.

Volumen de raíz (cm³): Se utilizó la técnica de desplazamiento en la consiste en colocar la raíz en una probeta con un volumen de terminado y cuantificar el desplazamiento que provoca.

Biomasa fresca (g): Esta variable fue obtenida de distintas partes de las plantas, integrando hojas, tallos y raíces, los cuales fueron procesados para su su pesado en una báscula gramera (Truper® modelo BASE – 5EP).

Biomasa seca (g): Para esta variable primeramente se separó hojas, tallos y raíces para que posteriormente sean sometidos en una estufa industrial a 60 °C hasta alcanzar el peso constante para realizar el pesado de las muestras con una báscula gramera (Truper® modelo BASE – 5EP).

Características de fruto

Peso de fruto (g): Se pesaron frutos al azar por tratamiento en cada bloque, repitiendo esto por el número de cortes.

Diámetro ecuatorial del fruto (mm): Se midió el fruto con un vernier digital en la parte media del fruto, se seleccionó 10 frutos por tratamiento en cada bloque al azar para medirlos.

Diámetro polar del fruto (mm): Se determinó con un vernier digital desde el pedúnculo hasta el ápice del fruto, se seleccionó 10 frutos al azar por tratamiento en cada bloque para medirlos.

Componente de rendimiento:

Frutos totales (pzas): Se midió contando todos los frutos cosechados en cada corte según el tratamiento y el bloque. La unidad de medida que se tomó en cuenta fueron unidades.

Peso total (g): Se midió pesando con una báscula el peso registrado en cada corte correspondiente a los frutos cosechados en cada tratamiento según su bloque.

Unidades SPAD: Se seleccionaron 3 hojas por planta a 3 doseles distintos (medio, alto y bajo) se midió con un SPAD 502 Plus Minolta.

5.8 Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales se registraron con un data logger (HOBO®), las condiciones ambientales que se tomaron en cuenta fueron la luz poner las unidades, temperatura (°C) y humedad relativa (%). El instrumento se colocó en medio del área del, a una altura de 20 cm por arriba de la planta.

5.9 Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en los cuales se distribuyeron cuatro tratamientos, los cuales fueron: fertilización química (Tf), supermagro 2.5 % (SM 2.5 %), supermagro 5% (SM 5 %) y un respectivo testigo. La fertilización química se obtuvo por medio de la metodología propuesta por Soria *et al* (2002) y con base a los análisis físico-químico tanto del suelo como del agua, la concentración obtenida fue de 200-175-250 (NPK). Por otro lado, las dosis de supermagro fueron obtenidos mediante las recomendaciones de Restrepo (2007) donde indica un rango de dosis 3 a 5 % para cultivos hortícolas. Para el análisis estadístico se implementó un análisis de varianza con comparación de medias Duncan ($p < 0.05$) en el programa estadístico InfoStat 2020 para Windows

VI RESULTADOS

En los resultados obtenidos muestran que la mayoría de las variables no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p < 0.05$), por lo que se procede a rechazar la hipótesis. Sin embargo, en la variable diámetro ecuatorial del fruto y diámetro polar del fruto los tratamientos Supermagro en sus dos dosis (SM 2.5 % y SM 5 %) se mostraron los mayores valores en comparación al tratamiento de fertilización.

Las plantas de chile habanero bajo los tratamientos aplicados, mostraron diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p < 0.05$) en el área foliar y volumen de raíz (Figura 1). En el área foliar se observó que el tratamiento de fertilización registró los mayores valores con un promedio de 1908.70 cm^2 en comparación al testigo (619.91 cm^2) y a los otros tratamientos (SM 2.5 % = 556.45 y SM 5 % = 708.79 cm^2). En el volumen de radicular se observó el mismo efecto teniendo al Tratamiento de fertilización con los mayores valores con un promedio de 342.5 cm^3 en comparación al testigo (270 cm^3) y al resto de los otros tratamientos. En la altura de la planta (cm) y diámetro de tallo (mm) no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p > 0.05$) entre tratamientos.

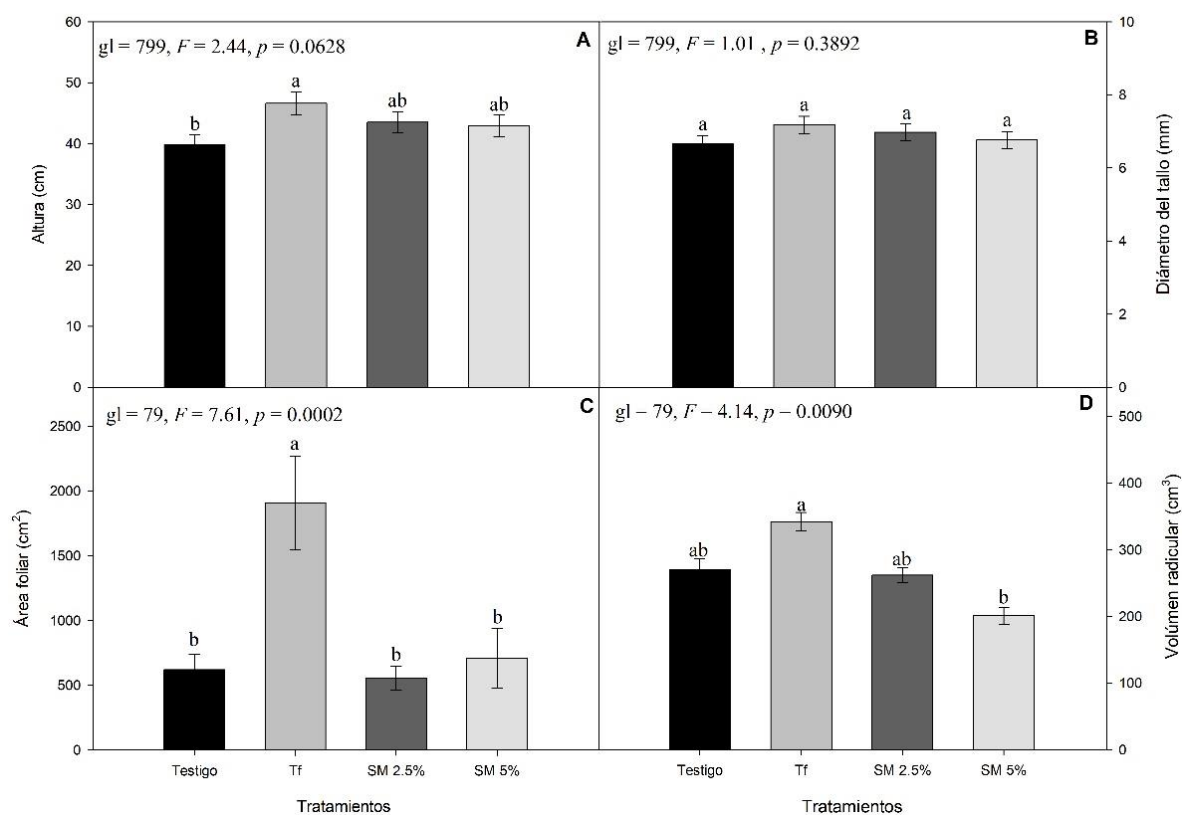


Figura 1. Crecimiento vegetativo de las plantas de chile habanero. **a)** altura de la planta, **b)** diámetro de tallo, **c)** área foliar y **d)** volumen radicular. Literales diferentes en las barras indica diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Duncan, $p < 0.05$). Tratamientos: Testigo: sólo agua, Tf: Tratamiento de fertilización, SM 2.5 %: Supermagro 2.5 %, SM 5 %: Supermagro 5 %.

Los tratamientos aplicados en las plantas de chile habanero presentaron diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p < 0.05$) en el peso fresco de hojas, peso fresco de raíz y peso fresco total (Figura 2). En el peso fresco de hojas, raíz y total (g) detallan que el tratamiento de fertilización es el que tiene mayor peso con promedios de 52.5 (Figura 2a), 27.79 (Figura 2c) y 153.94 g (Figura 2d) respectivamente, en comparación a los otros tratamientos. En el peso fresco de tallos (g) no se presenta diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p > 0.05$) entre los tratamientos.

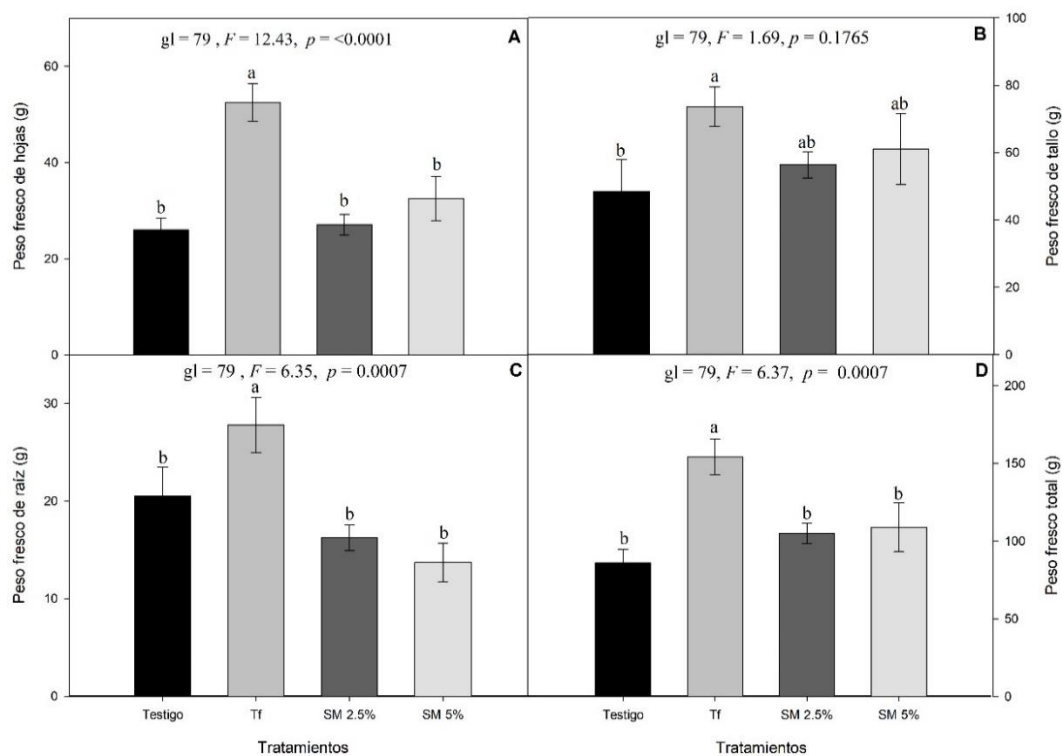


Figura 2. Biomasa fresca de las plantas de chile habanero. **a)** peso fresco de hojas **b)** peso fresco de tallos, **c)** peso fresco de raíz y **d)** peso fresco total. Literales diferentes en las barras indica diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Duncan, $p < 0.05$). Tratamientos: Testigo: sólo agua, Tf: Tratamiento de fertilización, SM 2.5%: Supermagro 2.5 %, SM 5 %: Supermagro 5 %.

Se observó entre los tratamientos diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p < 0.05$) con respecto al peso seco de hojas, peso seco de raíz y peso seco total (Figura 3). En el peso seco de hojas, raíz y total (g) se puede afirmar que el tratamiento de fertilización es el que tiene mayor peso con promedios de 12.45 (Figura 3a), 6.7 (Figura 3c) y 30.66 g (Figura 3d) respectivamente, en comparación a los otros tratamientos. En el peso seco de tallos (g) no se mostró diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p > 0.05$) entre los tratamientos (Figura 3b).

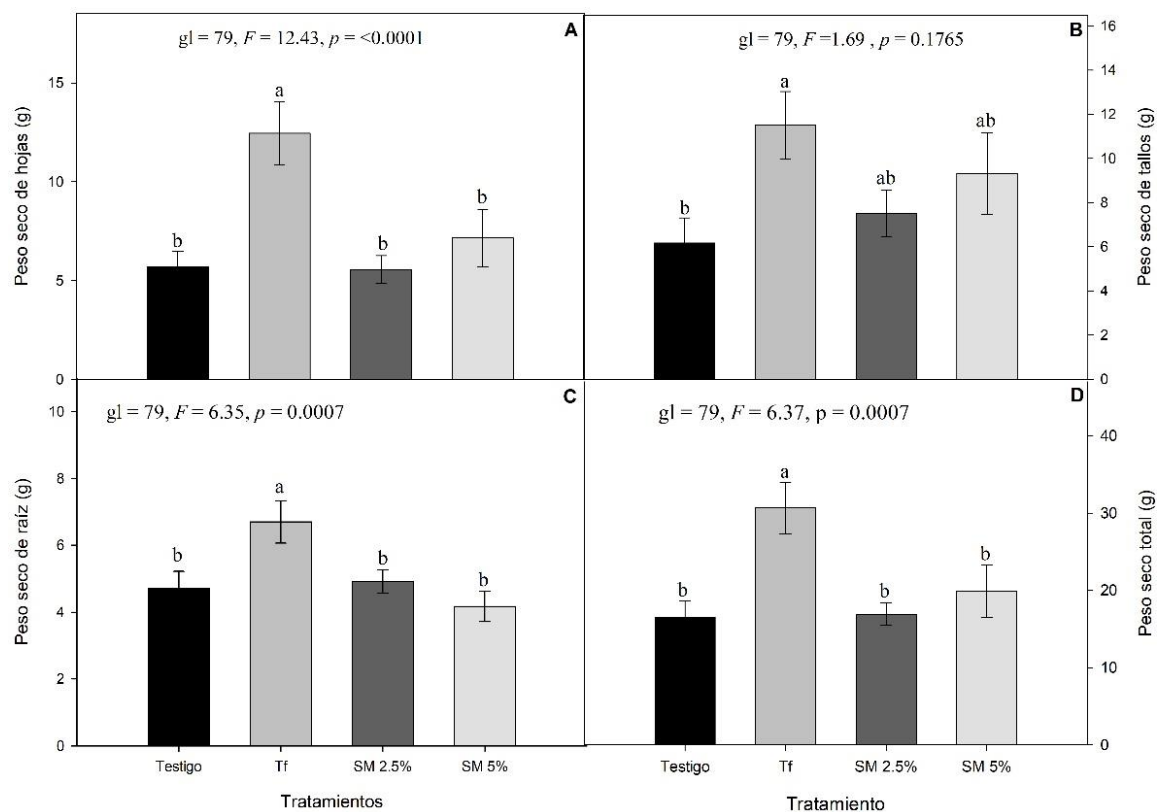


Figura 3. Biomasa seca de las plantas de chile habanero. **a)** peso seco de hojas **b)** peso seco de tallos, **c)** peso seco de raíz y **d)** peso seco total. Literales diferentes en las barras indica diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Duncan, $p < 0.05$). Tratamientos: Testigo: sólo agua, Tf: Tratamiento de fertilización, SM 2.5%: Supermagro 2.5 %, SM 5 %: Supermagro 5 %.

Las características del fruto de las plantas de chile habanero mostraron diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p < 0.05$) entre tratamientos (Figura 4). Se observó que el tratamiento de fertilización mostró los mayores valores con un promedio de 12.41 g en el peso de fruto en comparación a los otros tratamientos (SM 2.5 % = 12.01, SM 5 % = 11.79 y Testigo = 9.52 g). En el diámetro ecuatorial del fruto (Figura 4b) los tratamientos aplicados fueron superiores al testigo, teniendo al tratamiento SM 5 % con el mayor promedio (50.82 mm), seguido del tratamiento SM 2.5 % (49.59 mm) y al tratamiento de fertilización (48.43 mm). En el diámetro polar del fruto (Figura 4c) los mayores valores se mostraron en los tratamientos SM 2.5 % (55.15 mm) y SM 5 % (55.95 mm) en comparación al testigo (51.94 mm) y el tratamiento de fertilización (52.92 mm).

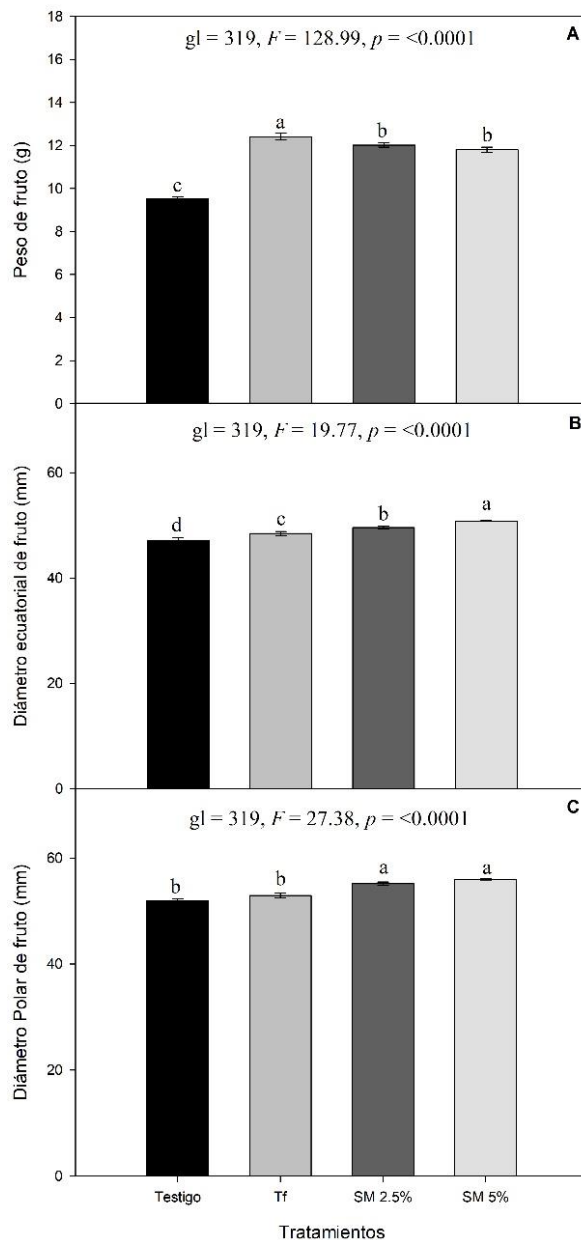


Figura 4. Características de fruto de las plantas de chile habanero. **a)** peso de fruto **b)** diámetro ecuatorial de fruto y **c)** diámetro polar de fruto. Literales diferentes en las barras indica diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Duncan, $p < 0.05$). Tratamientos: Testigo: sólo agua, Tf: Tratamiento de fertilización, SM 2.5 %: Supermagro 2.5 %, SM 5 %: Supermagro 5 %.

Los componentes del rendimiento no mostraron diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p > 0.05$) entre tratamientos (Figura 5). A pesar que no hubo diferencias estadísticas en los frutos totales (Figura 5a) los mayores valores se registraron en los Tf, SM 2.5 % y SM 5 % con un rango promedio 43 a 65 unidades que fueron superiores al testigo (29 unidades). Por otro lado, este efecto también se observó en el peso total (kg) (Figura 5b) donde los tratamientos aplicados (SM 5 % = 0.81, SM 2.5 % = 0.76 y Tf = 0.81 kg) fueron superiores al testigo (0.27 kg).

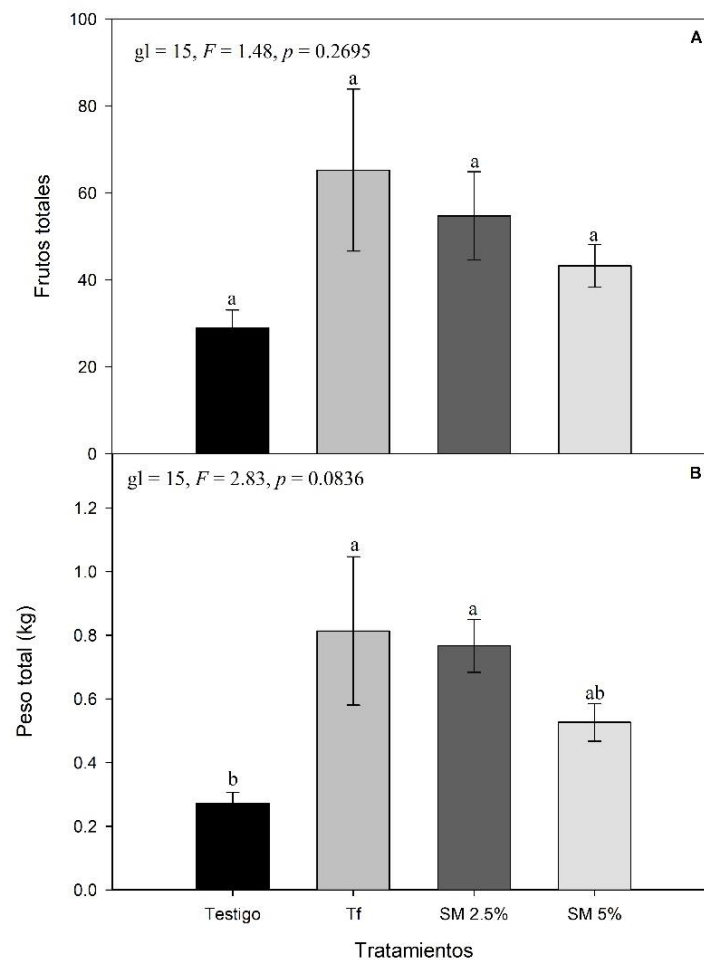


Figura 5. Componentes del rendimiento de las plantas de chile habanero. **a)** frutos totales y **b)** peso total. Literales diferentes en las barras indica diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Duncan, $p < 0.05$). Tratamientos: Testigo: sólo agua, Tf: Tratamiento de fertilización, SM 2.5%: Supermagro 2.5 %, SM 5 %: Supermagro 5 %.

Con relación a las unidades SPAD en la figura 6 se observó diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p < 0.05$) entre los tratamientos. El efecto del tratamiento de fertilización mostró el mejor promedio con un valor de 52.83 Unidades SPAD, seguido del testigo que obtuvo un promedio de 40.40 Unidades SPAD y posteriormente los tratamientos SM 2.5 % y 5 % fueron menores con un promedio de 34.84 Unidades SPAD y 35.19 Unidades SPAD respectivamente.

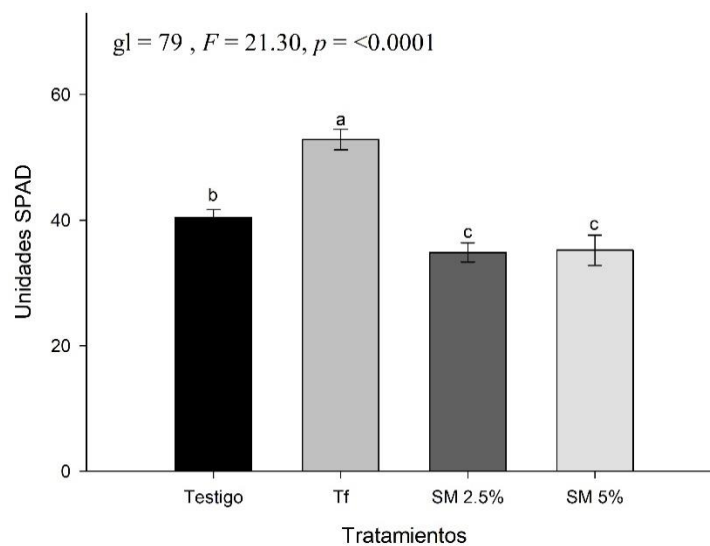


Figura 6. Unidades SPAD de las plantas de chile habanero. Literales diferentes en las barras indica diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Duncan, $p < 0.05$). Tratamientos: Testigo: sólo agua, Tf: Tratamiento de fertilización, SM 2.5%: Supermagro 2.5 %, SM 5 %: Supermagro 5 %.

VII DISCUSIÓN

Crecimiento vegetal

Las plantas de chile habanero con el tratamiento de fertilización química fueron donde se encontraron los mayores valores en crecimiento vegetativo (área foliar, peso fresco de hojas y peso seco de hojas), así como en el crecimiento radicular (volumen de raíz, peso fresco de raíz y peso seco de raíz) en comparación de los tratamientos de Supermagro y el testigo. Éstos resultados son similares con lo reportado por Castillo *et al.* (2024) donde las plantas de chile habanero mostraron los mayores valores con una fertilización convencional en dicho cultivo. Éstos resultados posiblemente estén relacionados con la dosis de fertilización $125 - 100 - 150 \text{ kg ha}^{-1}$ (N – P_2O_5 – K_2O). Esto debido a que las dosis anteriormente mencionadas, cumplen con los requerimientos nutricionales adecuados en las distintas etapas fenológicas, con el fin de promover el crecimiento y fisiología, así como su rendimiento. En contraste, el tratamiento Supermagro no cumplió con el aporte adecuado de los nutrientes requeridos por el cultivo, este efecto posiblemente esté relacionado por distintos factores del suelo como el pH y la C.E., así como de las concentraciones utilizadas.

Características de fruto

En el presente estudio, el tratamiento con Supermagro demostró un impacto notable en las características del fruto del chile habanero. Este tratamiento promovió un crecimiento significativo en el diámetro ecuatorial y polar del fruto. Éstos resultados concuerdan con Cunache (2023), en donde reporta que las plantas tratadas con Supermagro en dosis al 5 %, 15 % y 25 % mostraron mayores valores en el diámetro ecuatorial y diámetro polar en los frutos. Por lo que estos resultados pueden atribuirse al contenido de macronutrientes y micronutrientes específicos del Supermagro

para las características del fruto. Entre los nutrientes más destacados se encuentra el Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Boro (B), siendo éstos los encargados de determinar la calidad de frutos en las especies cultivables (Yfran *et al.*, 2017). Por otro lado, el tratamiento de fertilización, aunque no alcanzó los mismos niveles de diámetro en comparación con los tratamientos Supermagro, pero destacó en el peso del fruto. Dicho resultado concuerda con Loeza (2017), donde reporta que el tratamiento propuesto por Soria *et al.* (2002) aumenta el peso del fruto. Este efecto posiblemente esté relacionado al engrosamiento del fruto (exocarpio, mesocarpio y endocarpio).

Componentes de rendimiento

Los hallazgos encontrados en el cultivo de chile habanero muestran que estadísticamente los tratamientos aplicados son iguales, pero superiores al testigo en donde no se aplicó ningún tipo de fertilización. Este efecto coincide con Soria *et al.* (2002) y Loeza (2017), donde documentan que la aplicación exógena de nutrientes (N, P₂O₅, K₂O) podría mejorar la calidad de fruto. Por otro lado, Castillo *et al.* (2024) mencionan que el aporte adecuado de nutrientes aumenta el rendimiento por superficie de distintos cultivos, entre los que destaca las especies del género *Capsicum*. El aumento en los componentes de rendimiento en el presente estudio sobre los tratamientos aplicados (Tf, SM 2.5 % y SM 5 %) podría estar relacionado con el buen funcionamiento fisiológico de las plantas, el cual es mediado por distintos nutrientes como el nitrógeno. Este último se ha documentado como nutriente esencial para fines de rendimiento, esto debido a su importancia en la fotosíntesis, el cual está altamente relacionado con la etapa fenológica de producción del chile habanero.

Unidades SPAD

La medición de las unidades SPAD de las plantas de chile habanero fueron superiores en el tratamiento de fertilización química en comparación al resto de los tratamientos (Testigo, SM 2.5 % y SM 5 %). Estos resultados concuerdan con lo documentado por García *et al.* (2020), donde mencionan que el suministro adecuado de dosis de fertilización influye de manera positiva en los parámetros fisiológicos de las plantas, como el índice relativo de clorofila. Éste parámetro está relacionado con el contenido absoluto de clorofila y el nitrógeno en las hojas, el cual se ha comprobado a través de correlaciones con valores de $r^2 = 0.92$, siendo este valor el encargado de explicar los aumentos en el crecimiento y rendimiento en distintos cultivos (Piekielek y Fox, 1992; Lin *et al.*, 2010; Luna *et al.*, 2021). Por otro lado, la importancia principal de la medición de las unidades SPAD en los cultivos en campo ayuda a predecir las deficiencias de nitrógeno en las plantas y a la toma de decisiones en el ajuste de dosis de nitrógeno para su aplicación temprana o tardía. Los valores promedios de unidades SPAD documentadas como las adecuadas en chile pimienta (*Capsicum annuum*) son de 55 a 57 unidades cuando las plantas recibían una adecuada fertilización (Torres *et al.*, 2019). Aunado a esto en el presente estudio las plantas de chile habanero (*Capsicum chinense*) mostraron valores similares con un promedio de 52.83 unidades SPAD, lo que demuestra que los nutrientes aplicados son utilizados por las plantas de una forma más eficiente.

VIII CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que la aplicación de un tratamiento de fertilización adecuado es fundamental para optimizar el crecimiento y rendimiento del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Además, un crecimiento aéreo y radicular significativamente superior en comparación con los tratamientos de Supermagro y el testigo, Esto se relaciona con los niveles óptimos de nitrógeno, fósforo y potasio ($N - P_2O_5 - K_2O$) en distintas etapas fenológicas del cultivo. Si bien el Supermagro no tuvo un impacto positivo en las características del fruto, si cumplió con los requerimientos nutricionales mínimos necesario para el crecimiento de las plantas, ciertos nutrientes contenidos en el biofertilizante utilizado pueden inducir características específicas del fruto. Por otro lado, los tratamientos de fertilización aumentan el índice relativo de clorofila como efecto del suministro de nutrientes aplicados, el cual se visualiza principalmente en el vigor de las plantas y en la reducción del impacto ambiental. Se sugiere continuar con trabajos relacionados a la determinación de las concentraciones adecuadas por etapa fenológica del chile habanero.

IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J. F. Irizar Garza, M.B., Durán, A. Grageda, O.A., Peña-del Rio, M.A. y Loredó, C. Gutiérrez, A. 2009. Los Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 80 pp.
- Aliaga, N. (2007). Producción de biol supermagro. Cedepas norte. Centro ecuménico de promoción y acción social.
- Alpizar E., A. Trujillo y Herrera F. (2003). Determinación de capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) colectados en Yucatán.
- Azevedo, MA (2011). 11042-Análisis de crecimiento no destructivo de plantas de frijol blanco fertilizadas con biofertilizante superdelgado. *Cadernos de Agroecologia [Tomos 1 (2006) al 12 (2017)]*, 6 (2).
- Balmford, A.; Amano, T.; Bartlett, H.; Chadwick, D.; Collins, A.; Edwards, D.; Fiel, R.; Garnsworthy, P.; Green, R.; Smith, P.; Waters, H.; Whitmore, A.; Broom, D. M.; Chara, J.; Finch, T.; Garnett, E.; Galthore-Hardy, A.; Hernández-Medrano, J.; Herrero, M.; Hua, F.; Latawiec, A.; Misselbrook, T.; Phalan, B.; Simmons, B. I.; Takahashi, T.; Vause, J.; Ermgassen, E. and Eisner, R. (2018). The environmental costs and benefits of high-yield farming. *Nat Sustain* 1:477-485.
- Cano M. (1998). Potencial exportable de chiles en fresco, de una zona libre de plagas. *Consultor. Guatemala*.
- Castillo Aguilar, C. De la C., Ramírez-Luna, E., Wong Cámara, C.G., Matos-Pech, G., Chiquini Medina, R.A., Bautista Parra, S.G., Palma Cancino, D.J. (2024). Yield of habanero pepper

- (*Capsicum chinense* Jacq.) under different NPK levels in Campeche, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1581. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e158>
- Chan, C. N.; Sauri, D. E.; Olivera, C. L. y Rivas, B. J. I. (2011). Evaluación de la calidad en la industrialización del chile habanero (*Capsicum chinense*). México. *Rev. Iberoam. Tecnol. Postcosecha*. 12(2):222-226
- Chávez R, León R, Ruíz O, Averos C, Peralta E (2011). Aplicación de Biofertilizantes líquidos de producción local y su efecto en la rehabilitación de plantaciones de cacao fino y de aroma. CIBE, ESPOL. Guayaquil, Ecuador.
- CONAPROCH (2007). Plan Rector Nacional del Sistema Producto Chile. Disponible en: www.conaproch.org/documentos/PlanrectorSChile_13nov2007.pdf
- Cunache Lasluisa, E. A. (2023). Evaluación tres biopreparados en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) (Bachelor's thesis).
- Ferrer, C., & Flor, J. (2020). Efecto de aplicación de cuatro biofertilizantes líquidos orgánicos sobre el rendimiento del cultivo de la fresa (*Fragaria vesca* L.) en el distrito de Paucartambo–Región Pasco.
- Flores, L. M. L., & Sánchez, O. E. (2020). Entorno productivo del chile habanero en la Península de Yucatán, México. *Metabolómica y cultivo del chile habanero*.
- García, J., López, M., y Pérez, A. (2020). Efecto de diferentes fuentes de nutrientes en el contenido de clorofila en plantas. *Revista de Agricultura y Ciencias Ambientales*, 15(2), 123-130.
- González, E. T., Casanova, C. C., Gutiérrez, L. P., Torres, L. T., Contreras, F. M., Peraza, S. S., & Méndez, M. (2010). Chiles cultivados en Yucatán. *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*; Durán, R., Méndez, M., Eds, 342-344.

Grageda OA, Díaz A, Peña les JJ, Vera JA (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura.

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 3 Núm. 6.

Heiser C. (1964). Los chiles y ajíes. (*Capsicums*) de Costa Rica y Ecuador. Ciencia y Naturaleza,

Ecuador,

7,

50-57.

http://www.motril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/presentacion/documentos/ABO_NOSORG%C3%81NICOSFERMENTADOS.pdf

Lin, F. F., Qiu, L. F., Song-Deng J., Shi, Y. Y., Chen, L. S., & Wang, K. (2010). Investigation of

SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. Computers and Electronics

in Agriculture, 71(1), 60-65. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.09.006>

Loeza, L. J. V. (2017). EFECTO DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE

GENOTIPOS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) (Doctoral dissertation,

Tecnológico Nacional de México).

Long J. (2009). Los senderos prehispánicos del *Capsicum*. En: Long J. Y Attolini A. (coords).

Camino y mercados de México. Serie Historia general 23. Pp 79-106. UNAM-IIH-INAH.

Disponible

en:

<https://historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/caminosymercados/cm006.pdf>.

Long T. J. (2004). El habanero de Sudamérica. Diario de Yucatán. Publicado el 2 de octubre del

2004, página 10.

Long T. J. (2004). Los orígenes del chile habanero. Cuadernos de Nutrición, 27 (2), pp. 77-81.

- Luna J. A., Cruz E., Can Á., Chan W., Luna G., García J. D., & Mancilla O. R. (2021). Producción de plántulas de chile habanero con fertilización orgánica y biológica. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Martin, F. (2003). *La Fertilización en la Agricultura Ecológica*. (en línea). Recuperado en: www.agroinformacion.com.
- Navarro, J. M.; Flores, P.; Garrido, C. y Martínez, V. (2006). Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *España. Food Chem.* 96: 66-73.
- Nieves, G. F.; Alejo, S. G.; Luna, E. G.; Lemus, F. C.; Juárez, L. P. y Salcedo, P. E. (2015). Extracción y requerimiento de fósforo en chile Habanero (*Capsicum Chinense* Jacq.) 'Big Brother'. *Venezuela. Interciencia.* 40(4):282-286
- Noh, M. J.; Borges, G. L. y Soria, F. M. (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 12(2):219-228.
- Ochoa, A. N. (2001). Usos y propiedades del Chile Habanero. Seminario de Chile Habanero. Fundación produce Yucatán. SAGARPA, INFA. Mérida Yucatán, pp. 2-4.
- Piekielek, W. P. y R. H. Fox (1992). Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.* 84: 59-65.
- Pomboza Pablo, León Olguer Alfredo, Villacís Luis Alfredo, Vega, Jorge & Aldáz Juan Carlos. (2016). Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L. variedad Iceberg. *Journal of the Selva Andina Biosphere*,4(2), 84-92.

- Prado, U. G. (2006). Tecnología de producción comercial del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, 43.
- Restrepo, J. (2001). *Abonos Orgánicos Fermentados Experiencias de Agricultores en Centroamérica y Brasil*. IICA, Costa Rica, 114p.
- Restrepo, J. (2007). El ABC de la agricultura orgánica y la harina de roca. Managua: SIMÁS.
- Rincón, V. F., Echeverría, C. F. G., Rumayor, R. A. F., Mena, C. J., Bravo, L. A. G., Acosta, D. E., Gallo, D. J. S. y Salinas, G. H. (2004). Cadenas de Sistemas Agroalimentarios de Chile Seco, Durazno y Frijol en el Estado de Zacatecas: Una Aplicación de la Metodología ISNAR. Publicación Especial #14. CIRCON-INIFAP, ITESEM-Campus Zacatecas, Guadalupe Zacatecas, México. Pp. 1-155.
- Roa, J. M. (2016). Supermagro: El abono orgánico del futuro. Revista Innovación Agrícola, 24-27.
- Ruiz N., Medina L. F. y Martín E. M. (2011). El chile habanero: su origen y usos. Ciencia. Julio-Septiembre. Disponible en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/62_3/PDF/Habanero.pdf
- Ruiz, S. E.; Aguilar, O. O.; Cristóbal, A. J.; Tun, S. J.; Latournerie, M. L. y Pérez, G. A. (2009). Comparación de la efectividad de un insecticida botánico y dos químicos convencionales en el control del picudo (*Anthonomus eugenii* Cano) (Coleóptera: Curculionidae) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Cuba. Fitosanidad. 13(2):117-120.
- SADER, INIFAP (2022). 3. Supermagro. MANUALES PRÁCTICOS PARA LA ELABORACIÓN DE BIOINSUMOS.

- Santos, D. R. I. (2014). Caracterización de los morfotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) presentes en seis comunidades de Quintana Roo, México (Doctoral dissertation, Tesis de licenciatura. Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo. Quintana Roo, México. 37 pág).
- Soria F.M., Trejo R.J.A., Tun S.J.M., Teran S.R. (2002). Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. pp: 31-36.
- Steiner, A. A. (1984). The universal solution. ISOSC. In: proceedings of 6th International Congress on Soilles Culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Torres A., Héctor E. F., Fosado O., Cué J. L., Mero J. A., León R., & Peñarrieta S. (2019). Respuesta del pimiento (*Capsicum annuum* L.) ante aplicaciones foliares de diferentes dosis y fuentes de lixiviados de vermicompost. Bioagro, 31(3), 213-220.
- Trujillo A. J. J. G. (2005). Diversidad genética del chile habanero (*Capsicum chinense*) en Yucatán. Memorias: Seminario de Chile habanero. INIFAP. Junio de 2005.
- Tun D. J de la C. (2001). Características y tecnología del chile habanero. Centro de Investigación Regional del Sureste. INIFAP-SAGARPA. Mochochá, Yucatán, México. Pp: 5-74.
- Vessey, J. K. (2003). *Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant Soil.* 255:571-586.
- Waizel J., y Camacho Morfin, R. (2011). El género *Capsicum spp.* ("chile") Una versión panorámica. Revista Aleph Zero. Pp.1-13.

Yfran, M. D. L. M., Chabbal, M. D., Piccoli, A. B., Giménez, L. I., Rodríguez, V. A., & Martínez, G. C. (2017). Fertilización foliar con potasio, calcio y boro. Incidencia sobre la nutrición y calidad de frutos en mandarino Nova. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 22-29.