



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TORREÓN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN IRRIGACIÓN

**MEZCLAS DE ABONO ORGÁNICO SOBRE LA
EFICIENCIA FISIOLÓGICA DEL CHILE MANZANO
(*Capsicum pubescens* Ruíz y Pav.) BAJO
CONDICIONES PROTEGIDAS**

Tesis que presenta:

CECILIA SALAZAR FLORES

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN IRRIGACIÓN



Director de tesis:

DR. JORGE ARNALDO OROZCO VIDAL

Torreón, Coahuila, México. Octubre de 2020.

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de tesis la cual ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN IRRIGACIÓN

COMITÉ PARTICULAR

DIRECTOR DE TESIS:



DR. JORGE ARNALDO OROZCO VIDAL

ASESOR:



DR. JOSÉ ERNESTO FRÍAS RAMÍREZ

ASESOR:



M.C. ANTONIO GERARDO YESCAS CORONADO

Torreón, Coahuila, México. Octubre de 2020.

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por tanto y por todo.

Al Instituto Tecnológico de Torreón por abrirme sus puertas y brindarme una oportunidad para lograr una meta más en mi preparación académica.

A mis padres, por su apoyo y amor incondicional.

Al CONACyT por el apoyo brindado para culminar con éxito mis estudios de maestría.

A mi asesor por su invaluable apoyo y disposición para ayudarme a terminar este trabajo. Muchas gracias.

A mi comité de asesores, por brindarme sus tiempos y conocimientos, muchas gracias.

A la inmensa paciencia e infinito amor de mi esposo.

DEDICATORIA

A Emilio Izí García Salazar,

Mi todo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA.....	II
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN	VII
SUMMARY	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivos particulares.....	3
1.2. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Índices de eficiencia fisiológica.....	4
2.1.1. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)	4
2.1.2. Tasa de asimilación neta (TAN).....	5
2.2. Mineralización del Nitrógeno.....	6
2.3. La fertilización orgánica	8
2.3.1. ¿Por qué utilizar abonos orgánicos?.....	9
2.4. El bocashi, un abono orgánico.....	11
2.4.1. Componentes utilizados para la elaboración del bocashi.....	12
2.4.2. Beneficios y ventajas del bocashi.....	13
2.5. Agricultura protegida.....	15
2.5.1. Casa sombra o malla sombra	17
2.6. El chile manzano, <i>Capsicum pubescens</i> Ruiz y Pav.	17
2.6.1. Importancia del cultivo.....	18
2.6.2. Descripción botánica	19
2.6.3. Taxonomía	21
2.6.4. Requerimientos edafoclimáticos	21
3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1. Localización del sitio experimental	23
3.2. Elaboración del bocashi.....	23
3.3. Material vegetal	25

3.4. Llenado de macetas y Trasplante	25
3.5. Riegos.....	25
3.6. Fertilización.....	25
3.7. Diseño experimental	26
3.8. Tratamientos evaluados y diseño experimental.....	26
3.9. Muestreos de plantas.....	27
3.10. Variables evaluadas.....	28
3.10.1. Evaluación fisiológica.....	28
3.11. Evaluación Agronómica	29
3.11.1. Altura de planta (cm).....	29
3.11.2. Diámetro de tallo	29
3.11.3. Área foliar	29
3.11.4. Longitud de raíz.....	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
5. CONCLUSIONES.....	36
6. LITERATURA CITADA.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de la solución Steiner utilizada en el tratamiento testigo compuesto con arena + perlita + fertilización química (Solución de Steiner).....	26
Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el experimento.....	27
Cuadro 3. Biomasa acumulada de planta de chile manzano acumulada en los tratamientos con bocashi y tiempos de muestreo	31
Cuadro 4. Índices de crecimiento de chile manzano en diferentes tratamientos de bocashi.....	34

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Vista aérea de las instalaciones del ITT, sitio en dónde se realizó el estudio.....	23
---	----

RESUMEN

El crecimiento vegetal se puede analizar mediante el cálculo de índices de eficiencia, los cuales se pueden determinar con el peso seco de la planta completa ó con diferentes partes de ésta (raíces, tallos u hojas). Estos índices tienen significado biológico, pues muestran como un ambiente particular o práctica de manejo es o no más conveniente para una especie que para otra y comparan funcionamiento de diferentes especies creciendo bajo las mismas condiciones o de una especie creciendo en diferentes condiciones (Hunt, 1978).

El análisis de crecimiento con el uso de índices de eficiencia fisiológica se puede realizar en plantas individuales y en comunidades. En plantas individuales se utilizan la tasa relativa de crecimiento (TCR), la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa de asimilación neta (TAN), la relación del area foliar (RAF) y el área foliar específica (AFE). En comunidades, particularmente en agricultura, y en algunos estudios en producción vegetal natural se utilizan el índice de área foliar (IAF), la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) y la duración del área foliar (DAF) (Hunt, 1978).

Con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de diferentes proporciones del abono orgánico tipo bocashi sobre la eficiencia fisiológica del chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruíz y Pav.), se calcularon la Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), Tasa de asimilación neta (TAN) e Índice de área foliar (IAF); además de lo anterior, se evaluaron variables agronómicas como altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y longitud de raíz.

El estudio se realizó en el ciclo primavera – verano 2016, bajo condiciones de malla sombra, en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), localizado en la antigua carretera Torreón-San Pedro, km 7.5, del municipio de Torreón, Coahuila, México. Dado que no existe una receta exclusiva o fórmula única para la elaboración del bocashi, la composición de este abono se ajustará a las condiciones y materiales existentes en las comunidades (Restrepo, 2010).

Los tratamientos evaluados consistieron en sustratos compuestos por diferentes proporciones de arena y abono orgánico tipo Bocashi. Fueron evaluados seis tratamientos con doce repeticiones bajo un diseño completamente al azar.

La acumulación de biomasa para los órganos vegetativos y reproductivos de las plantas de chile manzano en cada tratamiento, por día de muestreo y con relación al testigo (T6), tuvo diferencias estadísticas significativas (Tukey $p \leq 0.05$). Los tratamientos influyeron de manera significativa (Tukey, $p \leq 0.05$) en los índices de eficiencia fisiológica de las plantas de chile manzano (Cuadro 4). La TCC y TAN del tratamiento con solución nutritiva siempre fueron mayores con respecto a los tratamientos con bocashi. El IAF de las plantas de chile disminuyó conforme avanzaba su ciclo vegetativo, en todos los tratamientos; es decir, en la etapa inicial fue bajo, pero en la etapa intermedia alcanzo su máximo y en la final disminuyó, esto último atribuido a la senescencia del cultivo.

Palabras clave: Fertilizante orgánico, agricultura protegida, Comarca Lagunera.

SUMMARY

Plant growth can be analyzed by calculating efficiency indices, which can be determined with the dry weight of the entire plant or with different parts of it (roots, stems or leaves). These indices have biological significance, since they show how a particular environment or management practice is or is not more convenient for one species than for another, and they compare the performance of different species growing under the same conditions or of a species growing under different conditions (Hunt, 1978).

Growth analysis with the use of physiological efficiency indices can be performed on individual plants and in communities. In individual plants, the relative growth rate (RER), the absolute growth rate (TAC), the net assimilation rate (TAN), the ratio of the leaf area (RAF) and the specific leaf area (AFE) are used. In communities, particularly in agriculture, and in some studies in natural plant production, the leaf area index (IAF), the crop growth rate (TCC) and the duration of the leaf area (DAF) are used (Hunt, 1978).

In order to determine the effect of the application of different proportions of the bocashi-type organic fertilizer on the physiological efficiency of the manzano pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz and Pav.), The Crop Growth Rate (TCC), net assimilation rate were calculated (TAN) and Leaf Area Index (IAF); In addition to the above, agronomic variables such as plant height, stem diameter, leaf area and root length were evaluated.

The study was carried out in the spring - summer 2016 cycle, under shade nets conditions, at the Torreón Technological Institute (ITT), located on the old Torreón-San Pedro highway, km 7.5, in the municipality of Torreón, Coahuila, Mexico. Since there is no exclusive recipe or unique formula for making bocashi, the composition of this fertilizer will be adjusted to the conditions and materials existing in the communities (Restrepo, 2010).

The evaluated treatments consisted of substrates composed of different proportions of sand and Bocashi-type organic fertilizer. Six treatments with twelve repetitions were evaluated under a completely randomized design.

The accumulation of biomass for the vegetative and reproductive organs of the manzano chili plants in each treatment, per sampling day and in relation to the control (T6), had statistically significant differences (Tukey $p \leq 0.05$). The treatments had a significant influence (Tukey, $p \leq 0.05$) in the physiological efficiency indices of the manzano chili plants (Table 4). The TCC and TAN of the nutrient solution treatment were always higher compared to the bocashi treatments. The IAF of the chili plants decreased as their vegetative cycle progressed, in all treatments; that is, in the initial stage it was low, but in the intermediate stage it reached its maximum and in the final stage it decreased, the latter attributed to the senescence of the crop.

Key words: Organic fertilizer, protected agricultura, Comarca Lagunera.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de origen orgánico se ha incrementado de manera importante en los últimos años, como respuesta al crecimiento de la demanda de productos ecológicos y que dicha importancia socioeconómica radica en que se encuentra vinculada con los sectores más pobres del ámbito rural (Solís, 2008).

La aplicación de los fertilizantes orgánicos ha sido una de las alternativas que en las últimas décadas ha tenido un auge muy marcado, sin embargo, el agricultor ha evitado el trabajo de elaborar composta natural debido a que el manejo de los fertilizantes químicos facilita sus labores e incrementa rendimientos, aunque a la larga contamina el suelo, plantas y mantos freáticos (Sandoval *et. al.*, 2018).

Según Weyers & Paterson (2001), los fertilizantes orgánicos brindan grandes beneficios a los suelos; la ventaja que muestran los fertilizantes inorgánicos es que son de acción rápida, empero, si se cuenta con el tiempo necesario, los fertilizantes orgánicos son una excelente opción.

Según Bertolí *et al.* (2015), bocashi es una palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada”; es una fermentación de materiales de origen animal o vegetal, en un proceso aeróbico. Su uso aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo, así como mejora sus características físicas y suple a las plantas con nutrientes.

En el presente estudio se evaluarán índices como la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y la tasa de asimilación neta (TAN) en un cultivo de chile manzano

La TCC mide la ganancia de biomasa vegetal en el área de superficie ocupada por la planta. Es aplicable a plantas que crecen juntas en cultivos cerrados (Hunt, 1982). La máxima TCC ocurre cuando las plantas son suficientemente grandes o densas para explotar todos los factores ambientales en mayor grado (Brown, 1984).

La TAN es una medida de la eficacia del follaje, el cual constituye la principal fuente de foto asimilados en la producción de materia seca; e indica también la velocidad de fotosíntesis neta en un lapso relativamente largo, entre dos muestreos (Escalante y Kohashi, 1993).

El chile es un ingrediente fundamental y representativo de la dieta alimenticia de los mexicanos. La integración de la cultura indígena y europea, contribuyó ampliamente en la diversificación de las formas de consumo y se produce prácticamente en todo el país. Una de las especies de chile que se ha adaptado a condiciones ambientales en la República Mexicana es el chile manzano (*C. pubescens*) (Espinosa-Torres y Ramírez-Abarca, 2016).

Si bien es sabido que existen múltiples factores que afectan la EF, la presencia de materia orgánica y microbiota en el suelo es determinante, por ello, el objetivo del presente trabajo es evaluar la eficiencia fisiológica que se presenta en el cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens*) al utilizar distintas proporciones de abono orgánico tipo bocashi.

1.1. Objetivos

Determinar el efecto de la aplicación de diferentes proporciones del abono orgánico tipo bocashi sobre la eficiencia fisiológica del chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pav.).

1.1.1. Objetivos particulares

- i. Calcular los índices de crecimiento siguientes:
 - a. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC)
 - b. Tasa de asimilación neta (TAN)
 - c. Índice de área foliar (IAF)
- ii. Además se evaluarán variables agronómicas como altura de planta, diámetro de tallo, área foliar y longitud de raíz.

1.2. Hipótesis

El establecimiento de plantas de chile manzano en diferentes mezclas con abono orgánico y por lo tanto diferentes condiciones para su crecimiento, modificará su comportamiento fisiológico.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Índices de eficiencia fisiológica

El crecimiento vegetal se puede analizar mediante el cálculo de índices de eficiencia, los cuales se pueden determinar con el peso seco de la planta completa ó con diferentes partes de ésta (raíces, tallos u hojas). Estos índices tienen significado biológico, pues muestran como un ambiente particular o práctica de manejo es o no más conveniente para una especie que para otra y comparan funcionamiento de diferentes especies creciendo bajo las mismas condiciones o de una especie creciendo en diferentes condiciones (Hunt, 1978).

El análisis de crecimiento con el uso de índices de eficiencia fisiológica se puede realizar en plantas individuales y en comunidades. En plantas individuales se utilizan la tasa relativa de crecimiento (TCR), la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa de asimilación neta (TAN), la relación del area foliar (RAF) y el área foliar específica (AFE). En comunidades, particularmente en agricultura, y en algunos estudios en producción vegetal natural se utilizan el índice de área foliar (IAF), la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) y la duración del área foliar (DAF) (Hunt, 1978).

2.1.1. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

Mide la ganancia de biomasa vegetal en el área de superficie ocupada por la planta. Es aplicable a plantas que crecen juntas en cultivos cerrados (Hunt, 1982). La máxima TCC ocurre cuando las plantas son suficientemente grandes o densas para explotar todos los factores ambientales en mayor

grado. En ambientes favorables, la máxima TCC ocurre cuando la cobertura de las hojas es completa, y puede representar el máximo potencial de producción de masa seca y de tasas de conversión en un momento dado (Brown, 1984).

2.1.2. Tasa de asimilación neta (TAN)

Representa la ganancia neta en peso seco por unidad de área foliar, es una medida indirecta de la fotosíntesis (Hunt, 1982). Es conocida también como la tasa foliar unitaria, y definida como el incremento de material vegetal por unidad de tiempo y se expresa en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Beadle, 1985). La TAN es una medida de la eficacia del follaje, el cual constituye la principal fuente de foto asimilados en la producción de materia seca; e indica también la velocidad de fotosíntesis neta en un lapso relativamente largo, entre dos muestreos (Escalante y Kohashi, 1993).

Este parámetro es aplicable a una planta o a un cultivo, no es constante con el tiempo y muestra una tendencia a disminuir con la edad de la planta. La disminución se acelera por un ambiente desfavorable y la ganancia de materia seca por unidad de área foliar decrece en la medida que salen nuevas hojas, debido al sombreado recíproco (Gardner et al., 1990).

El subsecuente incremento en la TAN, después de alcanzar el área foliar máxima, es difícil de explicar, se esperaría que esto sucediera por un aumento en la fotosíntesis.

2.2. Mineralización del Nitrógeno

En regiones áridas y semiáridas se han propuesto diversas y variadas soluciones tecnológicas al problema de las sequías, tanto desde el punto de vista genético hasta las dirigidas a mejorar la eficiencia en el uso de agua (Paliwal *et al.*, 2001). Además, si se considera que el potencial para obtener altos rendimientos es un objetivo complejo determinado por la expresión de genes relacionados con la absorción de nutrientes, la fotosíntesis, la transpiración, la translocación y el metabolismo de la planta, así como por la interacción de esos genes en diferentes ambientes (Poehlman y Sleper, 2003), entonces, para elevar la productividad es necesario conocer cómo interactúan los diversos factores implicados en la producción vegetal, donde la disponibilidad de agua, así como la aplicación y dosis de nitrógeno se sabe que generan un efecto positivo directo (Overman y Scholtz III, 2002).

Por lo tanto, se puede considerar que la producción de las plantas, entre otros depende de la interceptación de la radiación solar y de su conversión en biomasa, esta radiación está determinada por el área foliar, sin embargo, la reducción de la expansión de la hoja se ve afectada por el déficit de agua y la baja disponibilidad de nutrientes (Paliwal *et al.*, 2001).

El nitrógeno juega un papel clave en la estructura de las proteínas y ácidos nucleicos y puede considerarse entonces, junto con el carbono, como uno de los elementos centrales de la vida (Loomis y Connor, 2002). Indica que la concentración de N en la planta que permite alcanzar la máxima tasa de crecimiento se denomina concentración crítica, la que varía en función de la

biomasa, ya que en la medida que ésta aumenta, la proporción de este macronutriente disminuye por efecto de su “dilución” en la biomasa aérea incrementada.

Las dos formas como el N puede ser absorbido por las plantas son amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), principalmente obtenidas de los fertilizantes nitrogenados y la mineralización de los residuos de cosecha y la materia orgánica del suelo. (Norman *et al.*, 2003).

El Nitrógeno (N) es un elemento necesario en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo así una molécula esencial para el crecimiento de todos los organismos. En la atmósfera el N ocupa aproximadamente el 80%, existiendo en la forma N_2 ; sin embargo, el N_2 , debido al triple enlace entre los dos átomos de nitrógeno, que hace a la molécula casi inerte, no puede ser aprovechado por la mayoría de las formas vivientes, sino sólo por un pequeño grupo de microorganismos altamente especializados, que incluyen algas, bacterias y actinomicetes. Para ser utilizado en el crecimiento, este debe ser primero reducido y luego fijado (combinado) en la forma de iones amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). El proceso a través del cual esos microorganismos reducen el nitrógeno hasta una forma utilizable es conocido como Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN por sus siglas en español). El proceso puede ser llevado a cabo por los microorganismos en vida libre o en simbiosis con plantas, y el mismo no sólo permite usar el nitrógeno atmosférico sino también revertir o reducir la degradación del suelo (Allan & Graham, 2004).

2.3. La fertilización orgánica

Los abonos orgánicos se han utilizado desde hace mucho tiempo con la intención de aumentar la fertilidad de los suelos, además de mejorar sus características en beneficio del adecuado desarrollo de los cultivos. Hoy en día su uso es de gran importancia, pues han demostrado ser efectivos en el incremento de rendimientos y mejora de la calidad de los productos (INTAGRI, 2018).

Gran número de investigaciones comprueban que la materia orgánica es un componente del suelo de gran importancia para el buen desarrollo de los cultivos. Desafortunadamente bajo ciertos esquemas de manejo, los suelos agrícolas suelen perder gradualmente su contenido de materia orgánica, lo cual se manifiesta con una disminución gradual del rendimiento con el paso de los ciclos de cultivo. Cuando a estos suelos se les incorpora algún tipo de material orgánico con el potencial de aportar materia orgánica al suelo la respuesta del cultivo es extraordinaria, pudiéndose lograr incrementos en el rendimiento de hasta 10 veces en algunos casos. La materia orgánica, particularmente cuando proviene de estiércoles, contiene importantes cantidades de la mayoría de los nutrimentos esenciales para las plantas (INTAGRI, 2018).

La importancia fundamental del uso de abonos orgánicos obedece a que éstos son fuente de vida bacteriana para el suelo y necesarios para la nutrición de las plantas. Los abonos orgánicos posibilitan la degradación de

los nutrientes del suelo y permiten que las plantas los asimilen de mejor manera ayudando a un óptimo desarrollo de los cultivos (Mosquera, 2010).

Los fertilizantes orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos; el suelo, con la descomposición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas (SAGARPA, 2018).

Según Weyers & Paterson (2001), los fertilizantes orgánicos brindan grandes beneficios a los suelos, además de que su utilización no provoca daños los daños que causan los fertilizantes convencionales cuando su aplicación es excesiva; la ventaja que muestran los fertilizantes inorgánicos es que son de acción rápida, pero si se cuenta con el tiempo necesario, los fertilizantes orgánicos son una excelente opción.

2.3.1. ¿Por qué utilizar abonos orgánicos?

Garro (2016), al abordar la importancia de la materia orgánica en los suelos, menciona lo siguiente: “los suelos ricos en materia orgánica, con valores de entre 4 y 6 % o más, y los de bosque, abundantes en residuos orgánicos, con valores de entre 12 y 16 %, presentan una óptima bioestructura, por ello son fértiles y productivos. Estos suelos mantienen una activa flora microbiana rica en hongos, bacterias, actinomicetes y levaduras, entre los que se encuentran antagonistas como los hongos *Trichoderma* spp., *Gonatotryps* sp., actinomicetos como *Streptomyces* sp. y bacterias como las de los géneros

Bacillus sp. y *Pseudomonas* sp., entre otros. Estos microorganismos establecen el equilibrio biológico y actúan como supresores de patógenos, tales como, *Phytophthora* sp., *Fusarium* sp., *Pythium* sp., *Rhizoctonia* sp.. En el suelo de la finca estos beneficios se pueden aprovechar al reproducir y liberar esta rica vida microbiana. La supresión la hacen estos microorganismos a través de la competencia directa, lisis (degradación celular del patógeno), antibiosis (producción de antibióticos) e hiperparasitismo (acción directa del antagonista sobre el patógeno), originando la ausencia de plagas y enfermedades, y la obtención de buenas cosechas (Artavia *et al.*, 2010; Palti, 1981 citado por Acuña *et al.*, 2006; Altieri *et al.*, 2004; Kolmans *et al.*, 1996; Nogales, 2008; Primavesi, 1984)".

Los abonos orgánicos calientan el suelo y favorecen el desarrollo de las raíces, principal vía de nutrición de plantas; en las tierras en donde no existen su presencia, el suelo se vuelve frío y de pésimas características para el crecimiento. Su uso es recomendable para toda clase de suelos, especialmente, para aquellos de bajo contenido en materias orgánicas, desgastados por efectos de la erosión y su utilización contribuye a regenerar suelos aptos para la agricultura (Mosquera, 2010).

Los abonos de origen son los que se obtienen de la degradación y mineralización de materiales orgánicos (estiércoles, desechos de la cocina, pastos incorporados al suelo en estado verde, etc.) que se utilizan en suelos agrícolas con el propósito de activar e incrementar la actividad microbiana de

la tierra, el abono es rico en materia orgánica, energía y microorganismos, pero bajo en elementos inorgánicos (Mosquera, 2010).

2.4. El bocashi, un abono orgánico

La elaboración de los abonos orgánicos fermentados se puede entender como un proceso de semi-descomposición aeróbica (con presencia de oxígeno) de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos, quimioorganotróficos, que existen en los propios residuos, con condiciones controladas, y que producen un material parcialmente estable de lenta descomposición en condiciones favorables y que son capaces de fertilizar a las plantas y al mismo tiempo nutrir la tierra (FAO, 2011).

Según Bertolí *et al.* (2015), bocashi es una palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada”. Es una fermentación de materiales de origen animal o vegetal, en un proceso aeróbico. Su uso aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo, así como mejora sus características físicas y suple a las plantas con.

El bocashi es un abono fermentado que se obtiene procesando materiales que son producto de actividades agrícolas (rastrojo, cascarilla de café, etc.), y que pueden ser utilizados y sustituidos según la disponibilidad que exista en la región. Esto lo convierte en una actividad práctica y de gran beneficio para el agricultor que quiere aprovechar todos los recursos con los que cuenta en el campo (Bertolí *et al.*, 2015; FAO/Unión Europea, 2011).

Debido a la gran cantidad de microorganismos que contiene, el bocashi muestra una intensa actividad biológica, lo cual se aprecia durante su

elaboración, mediante el volteo diario (Bertolí *et al.*, 2015). Una de las funciones del bocashi es la engorda del suelo y favorecimiento del desarrollo de los microorganismos que aumentan la disponibilidad de los minerales para que lo utilicen las plantas, estimulando así el crecimiento de sus raíces y follaje (FAO, 2011).

2.4.1. Componentes utilizados para la elaboración del bocashi

No existe una receta exclusiva o fórmula única para la elaboración del Bocashi, la composición de este abono se ajustará a las condiciones y materiales existentes en las comunidades (Restrepo, 2010; FAO, 2011).

De acuerdo con el manual “Elaboración y uso del bocashi”, editado por la FAO (2011), los componentes de este abono pueden ser, en lo general, los siguientes:

1. **Suelo:** este es el ingrediente que nunca debe faltar en la formulación de este abono orgánico, provee los microorganismos necesarios para la transformación de los desechos.
2. **Gallinaza o los estiércoles.** Es la principal fuente de nitrógeno en la elaboración de los abonos orgánicos fermentados. Su aporte básico consiste en mejorar las características vitales y la fertilidad de la tierra con algunos nutrientes, principalmente con fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro, entre otros elementos. Dependiendo de su origen, puede aportar inoculo microbiológico y otros materiales orgánicos en mayor o menor cantidad, los cuales mejorarán las

condiciones biológicas, químicas y físicas del terreno donde se aplicarán los abonos.

3. **Ceniza:** proveen altas cantidades de potasio, esta puede ser obtenida de los fogones o estufas caseras que funcionan con leña.
4. **Melaza:** sirve como fuente de energía para los microorganismos que descomponen los materiales orgánicos. Además provee cierta cantidad de boro, calcio y otros nutrimentos.
5. **Residuos vegetales:** constituyen una fuente rica de nutrimentos para los microorganismos.
6. **Levaduras:** producen sustancias bioactivas, tales como hormonas y enzimas que promueven la división celular y el crecimiento radicular.
7. **Carbón triturado o en polvo:** contribuye a mejorar las características físicas del abono orgánico como la aireación, absorción de calor y humedad. Actúa como una esponja reteniendo, filtrando y liberando poco a poco los nutrimentos.
8. **Agua:** favorece en la creación de condiciones óptimas para el desarrollo de la actividad y reproducción de los microorganismos durante la fermentación. El exceso de humedad, al igual que la falta de esta, afecta la obtención de un abono de buena calidad.

2.4.2. Beneficios y ventajas del bocashi

Las ventajas que presenta el proceso de elaboración del abono orgánico fermentado son, de acuerdo a la FAO (2011), las siguientes:

- a) No se forman gases tóxicos ni surgen malos olores debido a los controles que se realizan en cada etapa del proceso de la fermentación, evitándose cualquier inicio de putrefacción.
- b) Se facilita el manejo del volumen de abono, su almacenamiento, su transporte y la disposición de los materiales para elaborarlo (se puede elaborar en pequeños o grandes volúmenes, de acuerdo con las condiciones económicas y con las necesidades de cada productor).
- c) Se pueden elaborar en la mayoría de los ambientes y climas donde se realicen actividades agropecuarias.
- d) Se autorregulan “agentes patogénicos” en la tierra, por medio de la inoculación biológica natural, principalmente de bacterias, actinomicetos, hongos y levaduras, entre otros.
- e) Se da la posibilidad de utilizar el producto final en los cultivos, en un período relativamente corto y a costos muy bajos.
- f) Por medio de la inoculación y reproducción de microorganismos nativos presentes en los suelos locales y levaduras, los materiales se transforman gradualmente en nutrientes de excelente calidad disponibles para la tierra, las plantas y la propia retroalimentación de la actividad biológica.
- g) El crecimiento de las plantas es estimulado por una serie de fito hormonas y fito reguladores naturales que se activan a través de los abonos fermentados.

El abono orgánico, según la FAO (2011), representa muchos beneficios para la agricultura y por ende al agricultor, entre las que destacan la reducción

de costos y mejorar la rentabilidad, a continuación se enlistan algunos beneficios más:

- 1) Reducción de costos de producción, ya que el precio de los fertilizantes sintéticos es alto en el mercado comparado con el costo del
- 2) Bocashi, permitiendo mejorar de esa manera la rentabilidad de los cultivos.
- 3) Reducción sustancial de productos sintéticos, disminuyendo el riesgo de contaminación de suelo, aire y agua.
- 4) Se contribuye a la conservación del suelo, existe mayor captación de agua lluvia, disminuye el calor ambiental y se protege la
- 5) biodiversidad, con lo que se colabora en la protección del medio ambiente.
- 6) Se reduce la acidez de los suelos al dejar de usar sulfato de amonio y sustituirlo por el bocashi.
- 7) Si la técnica es aplicada dentro del sistema de agricultura orgánica (sin utilizar productos agroquímicos), se pueden lograr mejores precios de los productos en el mercado.

2.5. Agricultura protegida

Actualmente la agricultura, además de la producción a campo abierto, se practica en una amplia variedad de ambientes modificados, entre los que destacan los invernaderos con o sin control ambiental con cultivos en sistemas hidropónicos, sustratos inertes o en suelo, mismos que representan un ejemplo de ecosistemas artificiales para desarrollar la agricultura intensiva (Juárez *et al.*, 2011).

De acuerdo con Moreno *et al.* (2011), la agricultura protegida (AP) es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos. La agricultura, por su naturaleza, se encuentra asociada al riesgo, de ahí que este sistema tenga como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a esta actividad. Los riesgos pueden ser: climatológicos, económicos (rentabilidad, mercado) o de limitaciones de recursos productivos (agua o de superficie). Adicionalmente, se establece que la AP ha modificado las formas de producir alimentos y genera múltiples ventajas para los productores. Entre otras ventajas, permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, se enfrenta con éxito plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en menor espacio, sanos y con un mejor precio en los mercados. Generando, evidentemente, en un mejor ingreso para los productores.

Por otro lado, De León (2009), establece que la agricultura protegida no es más que producir en espacios bajo condiciones controladas de: temperatura, humedad, precipitación pluvial, heladas, plagas y enfermedades, utilizando para ello ciertos materiales como nylon, agril, saran, y/o tela anti-áfidos, adaptándolas a ciertas estructuras que permitan la producción de diferentes cultivos.

La agricultura protegida se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio impone al desarrollo de las plantas. Así, mediante el empleo de diversas cubiertas se reducen las

condiciones restrictivas del clima sobre los vegetales. A través de los años pero sobre todo en las últimas décadas se han desarrollado varios tipos de estructuras para la protección de las plantas que plantean diferentes alternativas generar condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de cultivos, de acuerdo a los requerimientos climáticos de cada especie y en concordancia con los factores climáticos de cada región (Juárez *et al.*, 2011).

2.5.1. Casa sombra o malla sombra

La casa sombra y la malla sombra son dos elementos que se emplean para disminuir la cantidad de energía radiante que llega a los cultivos. Las mallas no solo se utilizan como elemento de sombreo, sino que se emplean en las ventanas de los invernaderos con el objetivo de impedir la entrada de insectos y reducir el uso de plaguicidas (López, 2011).

La casa sombra es una estructura metálica cubierta con malla plástica, que permite la entrada del agua al interior empleada para el cultivo y/o protección de plantas, de los insectos, plagas y granizo, la cual optimiza la transmisión de radiación solar y algunas condiciones climatológicas para mejorar el entorno del cultivo y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en su interior (Pérez y Castro, 2010).

2.6. El chile manzano, *Capsicum pubescens* Ruiz y Pav.

Hernández (2016), en su Manual para la producción de chile manzano en el Valle del Mezquital, Hidalgo, señala que el chile manzano (*Capsicum pubescens*) es una especie originaria de las partes altas de Perú y Bolivia, fue

introducido a México a principios del siglo XX, es el único tipo de chile que se encuentra en las regiones con altitudes de 1700 a 2599 metros sobre el nivel del mar. Existe gran diversidad de este tipo de chile en cuanto a color, forma y tamaño de frutos; por lo común, los amarillos son preferidos a los rojos y anaranjados; mientras que los de forma de manzano o cuadrados son más apreciados que los que presentan una forma de pera, y en cuanto a tamaño tienen más demanda los frutos medianos (70 mililitros de volumen de agua desplazada) que los grandes (90 mililitros). En México la producción de este cultivo se caracteriza por ser de temporal, lo que concentra la cosecha en los meses de julio a diciembre, con carencia absoluta de enero a junio.

2.6.1. Importancia del cultivo

El chile es un ingrediente fundamental y representativo de la dieta alimenticia de los mexicanos, el cual se le considera como el primer cultivo domesticado en el continente americano. La integración de la cultura indígena y europea, contribuyó ampliamente en la diversificación de las formas de consumo y se produce prácticamente en toda la República Mexicana. Una de las especies de chile que se ha adaptado a condiciones ambientales en la República Mexicana es el chile manzano (*C. pubescens*) (Espinosa-Torres y Ramírez-Abarca, 2016).

De acuerdo con citado por Martínez (2013), en “México se cultivan unas 1,500 hectáreas de chile manzano, que posee ciertas particularidades como su forma y apariencia que lo hacen atractivo para el consumidor (Teorema, 2006). Existe gran diversidad de este tipo de chile en cuanto a color, forma y

tamaño de fruto; por lo común, los amarillos son preferidos a los rojos y anaranjados; mientras que los de forma de manzana o cuadrada son más apreciados que los que presentan una forma de pera. Por otra parte, con el crecimiento de la demanda de chile manzano en Los Ángeles, California y los mercados Nacionales se requiere incrementar la calidad de este producto y su oferta durante todo el año, adicionalmente, los chiles tienen mayor contenido de vitamina C que otros tipos de chile como serrano, jalapeño, guajillo, pasilla y chiles dulce, (Perez y Castro, 2010) y alta concentración de capsaicinoides, lo que pudiera representar alternativas de materia prima para la industria”.

2.6.2. Descripción botánica

Pérez y Castro (2010), describen la morfología del chile manzano como sigue:

- Raíz. Cuando se cultiva a campo abierto, el sistema radical consta de una raíz principal típica o pivotante de origen seminal y numerosas raíces secundarias que pueden alcanzar hasta 1.2 m de profundidad y 0.8 m de exploración horizontal; 80% de ellas se encuentran en una capa de 20 a 30 cm, pero cuando se cultiva en sustratos inertes se concentra en 15 cm, es más ramificada y su volumen es reducido.
- Tallo. Leñoso con hábito de crecimiento compacto y erecto; presenta abundante pubescencia y es de color verde, excepto en los primeros entrenudos, en los cuales es púrpura. Su ramificación es pseudodicotómica.

- Hoja. Simple, su forma es cordada con ápice acuminado y borde liso, excesivamente vellosa en el haz y la nervadura es reticulada perinerve. Es peciolada y su filotaxia es alterna dística.
- Flor. Hermafrodita, de color violeta y raramente blanca. El centro es blanco, el cáliz y la corola están fusionados en su base. Los estambres tienen la misma longitud y el ovario es súpero. En las axilas de las hojas se encuentran uno o dos peciolos cuya proporción puede ser erecta o intermedia.
- Fruto. En estado inmaduro es verde y maduro, puede ser amarillo, naranja o rojo. Tiene una placentación axilar, su forma varía dependiendo el número de lóculos; cuando se presenta uno o dos tiene la forma de pera y cuando tiene tres o cuatro la forma es de manzana. La longitud del fruto es de 4 a 8 cm y diámetro de 2 a 6 cm; el grosor del pericarpio varía de 2 a 6 mm. La forma del fruto en la unión con el pedúnculo es truncada y acorazonada, no presenta cuello en la base del fruto y la forma del ápice es hundido y raras veces de forma obtusa, presenta una ligera corrugación en corte transversal.
- Semilla. De las especies conocidas del género *Capsicum*, *C. pubescens* es la única que posee semillas de color negro. Éstas, son de forma ovalada, con el borde ligeramente ondulado. Mide alrededor de 5 mm de diámetro y están constituidas de testa gruesa, embrión y endospermo.

2.6.3. Taxonomía

Según el Sistema Integrado de Información Taxonómica, ITIS, por sus siglas en inglés (2018), la clasificación taxonómica del chile manzano es la siguiente:

Reino: Plantae
Subreino: Viridiplantae
Infrareino: Streptophyta
Superdivisión: Embryophyta
División: Tracheophyta
Subdivisión: Spermatophytina
Clase: Magnoliopsida
Superorden: Asteranae
Orden: Solanales
Familia: Solanaceae
Género: *Capsicum* L.
Especie: *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.

2.6.4. Requerimientos edafoclimáticos

Según lo consignado por Pérez (2002), los requerimientos generales del chile manzano, en cuanto a temperatura, radiación, humedad relativa y suelo, son los siguientes:

- Temperatura. El intervalo óptimo de temperatura para el crecimiento y desarrollo adecuado de esta especie va de 18 a 22 ° C en el día y 10 a 12 °C en la noche. La temperatura base o cero vegetativo es de 5°C y cuando la temperatura es mayor a 35 °C se provoca el aborto de de las flores. La especie se adapta bien en altitudes de 1700 a 2400 m siempre que no existan heladas. Para la germinación de las semillas se requieren de 25 a 28 °C, lo cual sucede en los primeros ocho días.

- Radiación. La radiación óptima promedio de la especie es de 550 μmol de fotones $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ lo que equivale a 550 Eistein.
- Humedad relativa y del suelo. La planta se desarrolla bien con humedad relativa de 70 a 80 %. Arriba de este valor se tiene poca dehiscencia de anteras disminuyendo la polinización y fecundación de los óvulos, y en consecuencia se tiene menor número de semillas y a su vez menor tamaño de fruto. Con humedades relativas menores al 40 % existe deshidratación de los granos de polen. Lo cual también ocasiona una baja polinización y formación de semillas.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El trabajo se realizó en el ciclo primavera – verano 2016, en malla sombra, en el Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) (Figura 1), localizado en la antigua carretera Torreón- San Pedro, kilómetro 7.5, del municipio de Torreón, Coahuila, México. En las coordenadas 25°37'02.59" latitud norte y 103°22'05.29" longitud oeste, a 1200 m de altura sobre el nivel del mar.

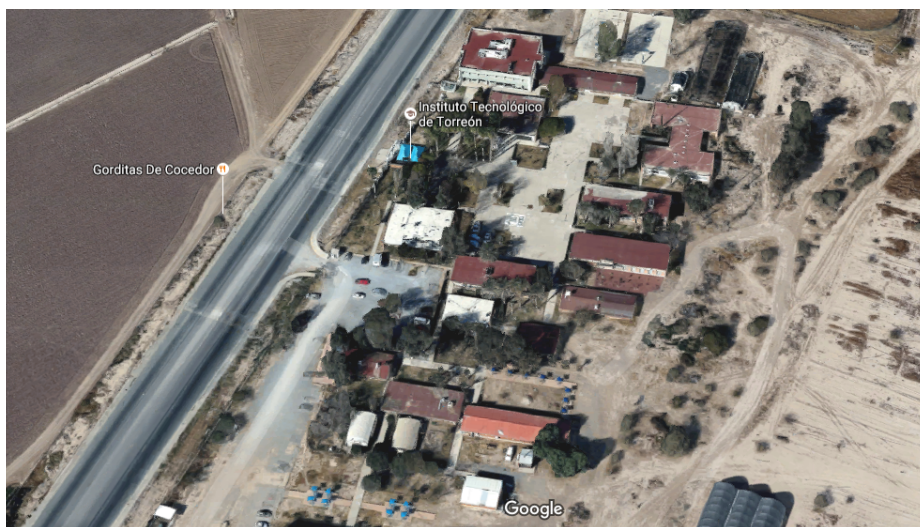


Figura 1. Vista aérea de las instalaciones del ITT, sitio en dónde se realizó el estudio.

3.2. Elaboración del bocashi

No existe una receta exclusiva o fórmula única para la elaboración del bocashi, la composición de este abono se ajustará a las condiciones y materiales existentes en las comunidades (Restrepo, 2010).

Para la elaboración del abono tipo bocashi se reunieron los materiales existentes en la región tales como:

- ✓ **Suelo:** este es el ingrediente que nunca debe faltar en la formulación de este abono orgánico, provee los microorganismos necesarios para la transformación de los desechos.
- ✓ **Hojarasca de mezquite:** es importante por el papel que desempeña dentro del ecosistema de las zonas áridas, ya que es un excelente controlador de la erosión, fija nitrógeno.
- ✓ **Aserrín:** retiene humedad.
- ✓ **Ceniza:** proveen altas cantidades de potasio, esta puede ser obtenida de los fogones o estufas caseras que funcionan con leña.
- ✓ **Melaza:** sirve como fuente de energía para los microorganismos que descomponen los materiales orgánicos. Además provee cierta cantidad de boro, calcio y otros nutrimentos.
- ✓ **Residuos vegetales:** constituyen una fuente rica de nutrimentos para los microorganismos.
- ✓ **Levaduras:** producen sustancias bioactivas, tales como hormonas y enzimas que promueven la división celular y el crecimiento radicular.
- ✓ **Carbón triturado o en polvo:** contribuye a mejorar las características físicas del abono orgánico como la aireación, absorción de calor y humedad. Actúa como una esponja reteniendo, filtrando y liberando poco a poco los nutrimentos.
- ✓ **Agua:** favorece en la creación de condiciones óptimas para el desarrollo de la actividad y reproducción de los microorganismos durante la

fermentación. El exceso de humedad, al igual que la falta de esta, afecta la obtención de un abono de buena calidad.

3.3. Material vegetal

Se utilizaron plántulas de chile manzano *Capsicum pubescens* Ruíz y Pav.

3.4. Llenado de macetas y Trasplante

El trasplante se llevó a cabo el día 09 de Agosto de 2016, se utilizaron bolsas de plástico de 7 Kilogramos, de 12 cm de diámetro por 30 cm de altura, rellenas de acuerdo a los diferentes tratamientos a evaluar, las cuales se colocaran en hileras a razón de cuatro macetas por metro cuadrado.

3.5. Riegos

Los riegos se realizaron cada tercer día manteniendo la maceta a capacidad de campo utilizando un medidor de humedad y pH. La cantidad promedio de agua que se vertió fue de 100 a 250 mililitros de agua, dependiendo de cada tratamiento.

3.6. Fertilización

Se utilizó únicamente solución Steiner (Cuadro 1) en el tratamiento testigo químico, el resto de los tratamientos no recibieron ningún tipo de fertilización.

Cuadro 1. Composición química de la solución Steiner utilizada en el tratamiento testigo compuesto con arena + perlita + fertilización química (Solución de Steiner).

Compuesto	Fórmula	Contenido
Monofosfato de potasio	MPK	137 mg l ⁻¹
Sulfato de amonio	(NH ₄)SO ₄	246 mg l ⁻¹
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂	215 mg l ⁻¹
Nitrato de magnesio	Mg(NO ₃) ₂	473 mg l ⁻¹
Nitrato de potasio	KNO ₃	584 mg l ⁻¹

Una vez mezclados los fertilizantes el pH de la solución se ajustó a cinco usando ácido sulfúrico concentrado.

Preparando la solución al 50% durante la primera etapa del desarrollo fisiológico de la planta, a partir de los 30 días se preparó al 100%.

3.7. Diseño experimental

Fueron evaluados seis tratamientos con doce repeticiones bajo un diseño completamente al azar.

La comparación de medias se realizó con la prueba de TUKEY. Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (SAS Inst., 1985).

3.8. Tratamientos evaluados y diseño experimental

Los tratamientos evaluados consistieron en sustratos compuestos por diferentes proporciones de arena y abono orgánico tipo Bocashi. Fueron evaluados seis tratamientos con doce repeticiones bajo un diseño completamente al azar.

El Cuadro 2 muestra los distintos tratamientos evaluados, mismos que consistieron en diferentes proporciones de arena y bocashi, siendo la más alta proporción de abono el 50% en el tratamiento cinco.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el experimento.

Tratamientos	Proporción Arena (%)	Proporción Bocashi (%)
T1	90	10
T2	80	20
T3	70	30
T4	60	40
T5	50	50
T6	100	0

3.9. Muestreos de plantas

Se realizaron muestreos de una planta por tratamiento cada 70 días (70, 140, 210 días después de la siembra). Este consistió en cortar la planta desde su base, posteriormente se separan sus órganos vegetativos (raíz, tallo, hojas) y órganos reproductivos (flores y frutos), para después obtener su área foliar correspondiente, fueron colocados en bolsas de papel previamente etiquetadas, posteriormente se colocaron en una estufa de disecación a 62°C por 24 horas para obtener el peso de materia seca.

3.10. Variables evaluadas

3.10.1. Evaluación fisiológica

Con los valores de Materia seca de las láminas foliares, Materia Seca de tallos, Materia Seca total, área foliar y el tiempo entre muestreos, de acuerdo con Radford (1967), Hunt (1978) y Escalante y Kohashi (1993), se calcularon los índices de crecimiento siguientes:

a) Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC)

Indica la acumulación de biomasa por unidad de tiempo.

$$TCC = \frac{P2 - P1}{A (T2 - T1)} \quad g \, m^{-2} \, día^{-1}$$

Donde:

A = Área donde el peso seco fue registrado.

P1 = Peso seco de muestra 1

P2 = Peso seco de muestra 2

T1 = Fecha de muestreo 1 expresado en dds

T2 = Fecha de muestreo 2 expresado en dds

b) Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Es un estimador de la eficiencia fotosintética de la planta. ($G \, ms \, m^2 \, día^{-1}$).

$$TAN = \left(\frac{PS2 - PS1}{AF2 - AF1} \right) \times \left(\frac{\text{Log } e \text{ AF2} - \text{Log } e \text{ AF1}}{T2 - T1} \right) \text{ gr MS o gr m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Donde:

Log e = Logaritmo natural

PS = Peso seco de las muestras en T1 y T2

AF = Área foliar en el periodo T1 y T2.

c) Índice de Área Foliar (IAF)

El área foliar por unidad de superficie de suelo.

$$IAF = \frac{AFT}{S} \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$$

3.11. Evaluación Agronómica

3.11.1. Altura de planta (cm)

Se determinó mediante el uso de cinta métrica, se mide a partir de la superficie del sustrato hasta la parte apical. En esta variable se realizaron 20 mediciones con intervalos promedio de 8 días (cada lunes) entre mediciones.

3.11.2. Diámetro de tallo

Se midió el diámetro del tallo con un vernier digital de la marca **TRUPER STAINLESS STEEL**, en cada corte del cultivo tomando una planta por tratamiento.

3.11.3. Área foliar

Para obtener el área foliar se cortó una planta por tratamiento cada planta fue deshojada manualmente para después medir manualmente con una

cuadrícula dividida en centímetros para determinar el área foliar por hoja, lo que permite obtener el área foliar por planta.

3.11.4. Longitud de raíz

Se midió con cinta métrica en cada corte, considerando una planta por tratamiento.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La acumulación de biomasa para los órganos vegetativos y reproductivos de las plantas de chile manzano en cada tratamiento, por día de muestreo (Cuadro 3) y con relación al testigo (T6), tuvo diferencias estadísticas significativas (Tukey $p \leq 0.05$). Por una parte, las plantas del testigo presentaron los mayores pesos en cada día de muestreo; mientras que, las plantas en sustratos con bocashi tuvieron mayor peso aquellas en el T1 (30.05 g) al inicio del muestreo (70 ddt), incluso estadísticamente similar al testigo. Esta situación no se mantuvo a los 140 y 210 ddt, ya que el T3 tuvo los mayores pesos entre los tratamientos con bocashi (167.19 y 196.07 g, respectivamente), aunque menores que los pesos del testigo.

Cuadro 3. Biomasa acumulada de planta de chile manzano acumulada en los tratamientos con bocashi y tiempos de muestreo.

MM\Tmto	T1	T2	T3	T4	T5	T6
(ddt)						
70	30.05 a	26.41 b	20.112 c	12.744 d	7.948 e	32.956 a
140	142.18 d	152.08 c	167.19 b	81.68 g	112.49 e	176.71 a
210	159.92 d	169.22 c	196.07 b	167.57 c	154.70 d	214.23 a

Medias seguidas de letras diferentes entre columnas por tratamiento reflejan diferencias estadísticas significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); Tmto: tratamiento; MM: momento del muestreo; ddt: días después del trasplante.

La acumulación de biomasa en plantas se ha relacionado con la asimilación de nitrógeno (Valentín-Miguel et al., 2013), tanto en la forma que se absorbe el N por los cultivos (Hobbie y Högberg, 2012, Zhang et al., 2015), como por su disponibilidad (Orozco et al., 2011) e incluso de las características ambientales (Rincón et al., 2002). La diferencia en acumulación de biomasa

en los diferentes tratamientos a través del tiempo o del ciclo de cultivo, permite deducir que las proporciones del bocashi podrían estar influyendo en la disponibilidad del N y que a su vez se observarían en la acumulación de este nutrimento en la planta durante el ciclo de cultivo.

En general, conforme aumentaba la cantidad de bocashi en los tratamientos, la concentración de N en planta disminuyó. No obstante, la concentración de N en planta por tratamiento en función del tiempo, no tuvo un comportamiento ordenado; es decir, en ocasiones se incrementó y en otras se redujo. Lo anterior podría estar relacionado con la etapa fenológica de la planta, puesto que en la etapa intermedia el contenido de N siempre fue mayor en todos los tratamientos con bocashi.

De acuerdo con Artacho-Vargas y Pinochet-Tejos (2008), la tasa de absorción de nitrógeno es mínima cuando inicia el desarrollo del cultivo y se incrementa durante la producción de hojas verdes, flores y los primeros frutos y disminuye cuando se inicia la senescencia del cultivo. Por otra parte, Rincón-Sánchez *et al.* (2002) indicaron que, en condiciones de baja radiación solar, una cantidad baja nitrógeno aportada al cultivo, produce elevadas concentraciones de nitratos en planta, teniendo poca significación el incremento de la cantidad de nitrógeno aportado al cultivo. Lo anterior concuerda con los resultados de nuestra investigación, ya que el cultivo se desarrolló en una casa sombra donde la radiación global estuvo a 60%; además, las aportaciones de nitrógeno que los diferentes tratamientos con bocashi estaban aportando, incrementaron el nitrógeno en la planta, aun

cuando no se agregó más nitrógeno, sino se tenía solamente lo que estaban aportando los diferentes tratamientos.

Los tratamientos influyeron de manera significativa (Tukey, $p \leq 0.05$) en los índices de eficiencia fisiológica de las plantas de chile manzano (Cuadro 4). La Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) y la Tasa de Asimilación Neta (TAN) del tratamiento con solución nutritiva siempre fueron mayores con respecto a los tratamientos con bocashi. La TCC por día en las plantas de chile con los tratamientos con bocashi, durante el periodo de 0 a 70 días, el T1 (1.60 g m^{-2}) fue mayor que el resto de estos tratamientos, mientras que el T4 sólo tuvo 0.99 g m^{-2} , lo que significa una mayor velocidad de sus procesos metabólicos. Sin embargo, en el periodo intermedio (de 70 a 140 días) disminuyó en todos los tratamientos; presentándose nuevamente un incremento a los 140 días; siendo siempre la TCC más alto el tratamiento uno. De acuerdo con Baracaldo *et al.* (2010), en estadios tempranos del desarrollo de la planta capta un bajo porcentaje de luz, lo que resulta en una baja TCC; como es lo que se encontró en nuestra investigación. Asimismo, la diferencia de la TAN entre tratamientos de bocashi puede atribuirse a la cantidad inicial de nitrógeno que permitió una diferencia en la eficiencia fotosintética del cultivo y que fue cambiando de manera constante durante el ciclo de cultivo, pero permaneciendo disponible (Orozco-Vidal *et al.* 2016), es decir el bocashi se comportó como un fertilizante de lenta liberación (Zerulla *et al.*, 2001).

Cuadro 4. Índices de crecimiento de chile manzano en diferentes tratamientos de bocashi.

Índice	PERIODO (ddt)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
TCC (g m ⁻² día ⁻¹)	0 – 70	0.65 b	0.25 e	0.25 e	0.53 d	0.60 c	1.23 a
	70 – 140	1.80 b	1.60 c	1.54 d	0.99 e	1.50 d	1.99 a
	140- 210	1.11 b	1.10 c	0.93 f	1.02 e	1.05 d	1.26 a
TAN (g m ⁻² día ⁻¹)	0 –70	1.32 d	1.10 e	1.81 c	4.10 a	2.83b	4.08 a
	70 –140	10.27 d	11.80 c	12.88 c	7.52 g	15.65 b	18.28a
	140- 210	5.71 f	6.09 e	7.77 d	8.01 c	8.83 b	11.20a
IAF (cm ² m ⁻²)	0 - 70	0.52 b	0.43 c	0.29 d	0.18 e	0.10 f	0.61 a
	70 - 140	1.24 b	0.91 c	1.00 b	0.79 d	0.94 c	1.50 a
	140 - 210	1.14 b	0.81 c	1.11 b	0.75 d	0.76 d	1.31 a

Medias seguidas de letras diferentes entre columnas por tratamiento reflejan diferencias estadísticas significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); ddt: días después del trasplante.

El Índice de Área Foliar (IAF) de las plantas de chile disminuyó conforme avanzaba su ciclo vegetativo, en todos los tratamientos; es decir, en la etapa inicial fue bajo, pero en la etapa intermedia alcanzo su máximo y en la final disminuyó, esto último atribuido a la senescencia del cultivo. Durante la primera etapa (0-70 días), el T7 tuvo mayor influencia (0.61 cm² m⁻²) que el T1 con bocashi (0.52 cm² m⁻²). Comportamiento que se mantuvo durante todo el ciclo de cultivo. Sin embargo, entre tratamientos con bocashi, el T1 siempre fue mayor al resto de los tratamientos (Tabla 3), aunque disminuyó en general en las etapas finales, lo que se relaciona con los resultados de acumulación de nitrógeno en la planta de nuestra investigación. Orozco *et al.* (2011), indican que el proceso de disminución del IAF desde las primeras etapas de crecimiento a las etapas finales es normal, ya que en las fases iniciales las plantas invierten la mayor parte de fotoasimilados en sus estructuras

vegetativas y en el desarrollo del aparato fotosintético; pero cuando se inicia la fase reproductiva los fotoasimilados se utilizan en el crecimiento en número y tamaño de los órganos reproductivos. Por otra parte, los IAF del presente estudio tienen un comportamiento similar a la acumulación de biomasa por la planta, comportamiento que ha sido reportado por Burgos *et al.* (2013).

Los resultados de esta investigación permiten deducir que el bocashi actúa como un fertilizante de lenta liberación. Sin embargo, es necesario realizar más investigación para verificar el comportamiento de este abono orgánico en el aporte de nitrógeno a la planta.

5. CONCLUSIONES

Se acepta la hipótesis planteada que señala que el establecimiento de plantas de chile manzano en diferentes mezclas con abono orgánico y por lo tanto diferentes condiciones para su crecimiento, modificará su comportamiento fisiológico, tal como se observa en los resultados del presente estudio.

La diferencia en acumulación de biomasa en los diferentes tratamientos a través del tiempo o del ciclo de cultivo, permite deducir que las proporciones del Bocashi podrían estar influyendo en la disponibilidad del N y que a su vez se observarían en la acumulación de este nutrimento en la planta durante el ciclo de cultivo.

Los tratamientos influyeron de manera significativa (Tukey, $p \leq 0.05$) en los índices de eficiencia fisiológica de las plantas de chile manzano. La TCC y TAN del tratamiento con solución nutritiva siempre fueron mayores con respecto a los tratamientos con Bocashi. La TCC por día en las plantas de chile con los tratamientos con Bocashi, durante el periodo de 0 a 70 días, el T1 (1.60 g m^{-2}) fue mayor que el resto de estos tratamientos, mientras que el T4 sólo tuvo 0.99 g m^{-2} .

Los tratamientos en estudio tuvieron efecto significativo (Tukey, $p \leq 0.05$) en el tamaño relativo del aparato fotosintético. El Índice de Área Foliar de las plantas de chile disminuyó conforme avanzaba su ciclo vegetativo, en todos los tratamientos; es decir, en la etapa inicial fue bajo, pero en la etapa intermedia alcanzo su máximo y en la final disminuyó.

6. LITERATURA CITADA

- Allan, D.; Graham. P. 2004. Soil 5611: Soil Biology and Fertility: Symbiotic Nitrogen Fixation, other N₂-fixing symbiosis. Dep. of Soil, Water, and Climate. University of Minnesota.
- Artacho-Vargas, P. y Pinochet-Tejos, D. 2008. Producción de materia seca y absorción de nitrógeno del cultivo del tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). *Agrociencia* [online]. 2008, vol.42, n.1, pp.37-45.
- Baracaldo A., A.P., A. Ibagué O., V.J. Flórez R. y B. Chaves C. 2010. Crecimiento en clavel estándar cv. Nelson, en suelo y en sustratos. *Bragantia, Campinas*, 69(1):1-8.
- Beadle, C. L. 1985. Análisis del Crecimiento Vegetal. pp.16-22. *In*: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. COOMBS, J.; MAY, D.O.; LONG, S. P.; Schurlock, J. (eds.). Ed. Futura. Chapingo, México.
- Bertolí H., M.P., E.T. Alfonso y D. Ramos A. 2015. Producción y uso del abono orgánico tipo bocashi. Una alternativa para la nutrición de los cultivos y la calidad de los suelos. Ediciones INCA. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*. Mayabeque, Cuba. 50 p.
- Brown, R.H. 1984. Growth of the green plant. pp. 153-174. *En*: Physiological basis of crop growth and development. American Society of Agronomy, Madison.
- De León R., E. 2009. *Agricultura Protegida. Manual a estudiantes*. Fundación Soros Guatemala – Universidad del Valle de Guatemala. 46 pp.

- Escalante E., J.A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Centro de Botánica-Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. Pp. 84.
- Espinosa-Torres, L.E. y Ramírez-Abarca, O. 2016. Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R Y P) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(2):325-335.
- Gardner. F., P.; Brent. P., R.; Mitchell. R., L. 1990. Physiology of crop plants. Second Edition. Iowa state University. AMES. USA. 208 p
- Garro A., J.E. 2016. *El suelo y los abonos orgánicos*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Costa Rica. 113 pp.
- Hernández S., E. 2016. *Manual para la producción de chile manzano en el Valle del Mezquital*. Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji - Subdirección de Difusión y Divulgación Universitaria. 36 pp.
- Hobbie, E.A. y Högberg, P. 2012. Nitrogen isotopes link mycorrhizal fungi and plants to nitrogen dynamics. *New Phytologist* 196: 367-382.
- Hunt, R. 1978. Plant Growth analysis. Studies in biology. No. 96. Edward Arnold (Plubliser). London. 67 p.
- Hunt, R. 1982. Plant Growth Curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold (Plubliser). L.T.D. London. 248 p.
- INTAGRI, S.C. (Intagri). 2018. *Los Abonos Orgánicos. Beneficios, Tipos y Contenidos Nutrimientales*. [En línea]. Recuperado de

- <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/los-abonos-organicos-beneficios-tipos-y-contenidos-nutrimientales> (Fecha de consulta: 18/12/2018).
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). 2018. ITIS Report. *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. [En línea].
https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=505855#null (Fecha de consulta: 18/12/2018).
- Juárez L., P., R. Bugarín M., R. Castro B., A.L. Sánchez-Monteón, E. Cruz-Crespo, C.R. Juárez R, G. Alejo S. y R. Balois M. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente* 3(8):21-27.
- Loomis, R.S., D.J. Connor. 2002. Ecología de Cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. Pp. 591.
- López, P.J., R. Bugarín M., R. Castro B., A.L. Sánchez-Monteón, E. Cruz-Crespo, C.R. Juárez R., G. Alejo S., R. Balois M. 2011). “Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*, 3(8):21-26
- Martínez E., I. 2013. Caracterización morfológica de tres colectas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.), de la región sur del estado de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario UAEM Tenancingo. 119 pp.
- Moreno R., A., J. Aguilar D. y A. Luévano G. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 29:763-774

- Mosquera, B. 2010. Abonos orgánicos. Protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Manual para la elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos. FONAG-USAID. 25 p.
- Nogales, R, Domínguez, J y Mato S. 2008. Vermicompostaje *En: moreno.J. y Moral, R. (eds.). Compostaje. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. Pp 187-207.*
- Norman, R.; C Wilson. N Slaton. 2003. Soil Fertilization and Mineral Nutrition in U.S. Mechanized Rice Culture. In: Origin, History, Technology, and Production. Smith, CW and Dilday RH. Ed. Pp: 331- 411.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2011. *Elaboración y uso del bocashi* [En línea]. Recuperado de www.fao.org/3/a-at788s.pdf (Fecha de consulta: 10/12/2018).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)/Unión Europea. 2011. *Colección Buenas Prácticas Agrícolas. Aboneras tipo bocashi*. 12 p.
- Orozco-Vidal J.A., P. Yescas-Coronado, M.A. Segura-Castruita, R. Valdez-Cepeda, E. Martínez-Rubín de Celis, J.A. Montemayor-Trejo, M. Fortis-Hernández y P. Preciado-Rangel. 2011. Análisis de crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en una región árida de México. *Phyton Revista Internacional de Botánica Experimental* 80:47-52.
- Orozco-Vidal, J.A. R. Ramírez-Torres, M.A. Segura-Castruita, Pablo Yescas-Coronado, R. Trejo-Valencia y J.A.o Vidal-Alamilla. 2016. Fuentes de

- nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(1):185-194.
- Overman, A. R. y R.V. Scholtz: 2002. «Corn Response to Irrigation and Applied Nitrogen», *Soil Sci. Plant Anal*, 33: 3609- 3619.
- Paliwal, R.L., G. Granados, H.R. Lafitte y A.D. Violic. 2001. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*, FAO, Departamento de Agricultura, Roma, Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.HTM> (Fecha de consulta: 15/abril/2018).
- Pérez, G. M. 2002. Estudio genético y fisiológico del crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Tesis de doctor en Ciencias. Especialidad en genética. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. 106 pp.
- Pérez, G. M. y Castro, B. R. 2010. El chile manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 135 p.
- Quintero, C.E. y Boschetti, G.N. 2016. Eficiencia de uso del Nitrógeno en Trigo y Maíz en la Región Pampeana Argentina [En línea]. Recuperado de <http://www.fertilizando.com/articulos/Eficiencia%20de%20Uso%20del%20Nitrogeno%20en%20Trigo%20y%20Maiz.asp> (Fecha de consulta: 09/12/2018).
- Rincón S., L., A. Pérez C., C. Pellicer B., J. Sáez S. y A. Abadía S. 2002. Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y

- acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 17 (2): 303-318.
- Sandoval L., J.J., A. Aguirre G., A. J. Arellano P. y A. M. De Santiago M. 2018. Conocimiento y manejo de los abonos orgánicos por productores de caña de azúcar de El Valle Grullo-Autlán, Jalisco. [En línea]. Recuperado de <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/12/57> (Fecha de consulta: 14/12/2018).
- Secretaria De Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2018. Abonos orgánicos [En línea]. Recuperado de www.sagarpa.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf (Fecha de consulta: 09/12/2018).
- Weyers, J. & N. Paterson. 2001. Plant hormones and the control of physiological processes. *New Phytologist* 152:375-407.
- Zamudio-González, B., M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, J.N. Martínez R., D.I. Celis E., A. Turrent F. y R. Valdivia B. 2015. Eficiencia fisiológica de N, P, K y Mg en maíces H-47 y H-59. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (6)8:1807-1818.
- Zerulla, W., T. Barth, J. Dressel, K. Erhardt, K. Horchler L., G. Pasda, M. Rädle & A. Wissemeyer. 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biology and Fertility of Soils* 34: 79-84. <https://doi.org/10.1007/s003740100380>

Zhang, X. E.A. Davidson, D.L. Mauzerall, T.D. Searchinger, P. Dumas & Y. Shen. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature* 528(7580). DOI:10.1038/nature15743