



SISTEMA ACUAPÓNICO EN LA PRODUCCIÓN DE PEPINO CON EL
USO DE EFLUENTES DEL CULTIVO DE TILAPIA CON PROBIÓTICOS
(*Bacillus toyonensis*) por Mayra Yadira Aguilar Ramírez se
distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) .



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



SISTEMA ACUAPÓNICO EN LA PRODUCCIÓN DE PEPINO CON EL USO DE
EFLUENTES DEL CULTIVO DE TILAPIA CON PROBIÓTICOS (*Bacillus
toyonensis*)

Por:

I.A.Z. Mayra Yadira Aguilar Ramírez

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de
Maestra en Ciencias Agropecuarias



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



**SISTEMA ACUAPONICO EN LA PRODUCCIÓN DE PEPINO CON EL USO
DE EFLUENTES DEL CULTIVO DE TILAPIA CON PROBIÓTICOS (*Bacillus
toyonensis*)**

Por:

I.A.Z. Mayra Yadira Aguilar Ramírez

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de
Maestra en Ciencias Agropecuarias**

Director:

Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez

Co- director:

Dr. Héctor Aaron Lee Rangel

Asesor:

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Octubre, 2022

El trabajo titulado “**SISTEMA ACUAPONICO EN LA PRODUCCIÓN DE PEPINO CON EL USO DE EFLUENTES DEL CULTIVO DE TILAPIA CON PROBIÓTICOS (*Bacillus toyonensis*)**” fue realizado por: **Mayra Yadira Aguilar Ramírez** como requisito parcial para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Agropecuarias**, fue revisado y aprobado por el suscrito de Comité de tesis.

Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez

Director de Tesis

Dr. Héctor Aaron Lee Rangel

Codirector de Tesis

Dr. Jorge Alonso Alcalá Jáuregui

Asesor

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a los 18 del mes de octubre de 2022.

DEDICATORIA

A **Dios** por guiarme por el camino correcto y nunca soltar mi mano, por darme una excelente familia, amigos y profesores. Por vivir siempre en mi corazón y ayudarme a ser la mejor versión de mí.

A **MI MADRE Flor Angela Ramírez Hernández** por siempre brindarme su apoyo, cariño y amor incondicional. Por siempre escucharme y guiarme por el camino correcto. Por ser un gran ejemplo de perseverancia en mi vida.

A **MI PADRE Héctor Osbaldo Aguilar Fernández** por ser siempre la persona más importante de mi vida, por apoyarme, amarme infinitamente y guiarme por el camino correcto.

A **MIS HERMANAS Cinthya y Flor Denise Aguilar Ramírez** por ser mis mejores amigas siempre, por cuidarme y ver siempre por mí. Por todo su apoyo en cada decisión tomada. Por su inmenso amor y cariño.

A **MIS SOBRINAS Ana Sofía, Renata y Vania Elissa** por ser uno de mis motores para ser un mejor ejemplo. Las amo infinitamente.

A **MI PROMETIDO David Quijano González** por ser un pilar en mi vida y así como mi principal apoyo en cada paso, por creer siempre en mí. Como dijo Jaime Sabines “Te quiero como se quiere a ciertos amores, a la antigua, con el alma y sin mirar atrás” Te amo.

**“ME INTERESA EL FUTURO, POR QUE ES DONDE VOY A PASAR EL
RESTO DE MI VIDA”
JAIME SABINES**

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSÍ por ser mi alma matér y formarme como profesionista y persona, a lo largo de todos estos años.

A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA por darme las herramientas durante mi vida profesional. Por generar en mí el interés en la nutrición vegetal siempre en pro del campo.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA (CONACYT) por el apoyo economico a través de la beca otorgada durante mis estudios (CVU 1077479), la cual fue indispensable para continuar.

A MI DIRECTOR DE TESIS el Dr. Ángel Natanael Rojas Velázquez por guiarme y compartir conmigo sus conocimientos, ser un excelente profesor y amigo. Por el tiempo y la paciencia otorgada.

A MIS ASESORES el Dr. Héctor Aaron Lee Rangel y el Dr. Jorge Alonso Alcalá Jauregui por todo su apoyo brindado, y estar siempre pendientes.

Al Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz por todo su apoyo brindado y compartir conmigo su experiencia.

Al Sr. Mariano por ser una pieza clave, siempre apoyándome con sus conocimientos y tiempo.

A mi cuñado **Hiram Zúñiga Romero** por brindarme siempre su apoyo durante este proceso.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xii
SUMMARY.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
Hipótesis.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Pepino (<i>Cucumis sativus</i>).....	4
Producción de pepino.....	4
Valor nutricional.....	4
Cambio Climático y Uso de Recursos.....	5
Acuaponía.....	6
Hidroponía.....	6
Sustratos.....	7
Tezontle.....	7
Acuicultura.....	7
Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	8
Producción de tilapia.....	8
Probióticos.....	9
Género <i>Bacillus</i>	9
<i>Bacillus toyonensis</i>	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12

Sitio Experimental.....	12
Material Genetico y Manejo del Experimento.....	12
Tratamientos.....	13
Aplicación de los tratamientos.....	14
Variables Evaluadas.....	14
Diseño y Unidad Experimental.....	18
Análisis Estadístico.....	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
Variables de crecimiento en el Sistema Hidropónico.....	19
Número de hojas.....	19
Altura de la planta.....	20
Área foliar.....	21
Peso seco.....	22
NDVI.....	22
SPAD.....	23
Extracto de Pecíolo en Hoja.....	24
Nitrato (NO ₃).....	24
Calcio (Ca).....	25
Potasio (K).....	26
Sodio (Na).....	27
Variables de Cosecha.....	28
Largo del pepino.....	28
Peso del pepino.....	30
Rendimiento.....	31
Variables de calidad del fruto.....	33
Diámetro del pepino.....	33
Placenta del pepino.....	34
Endocarpo del pepino.....	35
Grados Brix.....	37
Firmeza del fruto.....	38
Variables de crecimiento en el sistema acuícola.....	39

Ganancia de peso en Tilapia	39
Largo de la Tilapia.....	40
CONCLUSIÓN.....	42
LITERATURA CITADA.....	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Tratamientos aplicados dentro del Sistema Acuapónico en el área acuícola para el estudio de la planta de pepino en respuesta al efecto de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego..	13
2	Tratamientos aplicados dentro del Sistema Acuapónico en el área hidropónica para el estudio de la planta de pepino en respuesta al efecto de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	13
3	Variables evaluadas dentro del Sistema Acuícola en el estudio de la planta de pepino en respuesta al efecto de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	14
4	Variables evaluadas dentro del Sistema Hidropónico en el estudio de la planta de pepino en respuesta al efecto de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	16
5	Peso seco en hojas, tallos, fruto y peso seco total de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	22
6	Firmeza del fruto (lb) de pepino tomado en tres diferentes puntos, en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Medición de variables sistema acuícola, A) Medición de la C.E. de los efluentes del sistema, B) Medición del O.D. de los efluentes del sistema, C) Diseño sistema acuaponico, D) Aplicación de tratamientos, E) Medición ganancia de peso en Tilapia, F) Medición ganancia de talla en Tilapia.....	15
2	Medición de variables sistema hidropónico, A) Medición del ancho del tallo de las plantas de pepino, B) Medición de las unidades SPAD, C) Medición del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), D) Medición del largo del fruto, E) Extracción en mortero del extracto de peciolo, F) Medición de iones NO ₃ , Ca ²⁺ , K ⁺ y Na ⁺ , en extracto de peciolo , G) Medición de grados Brix y firmeza del fruto, H) Medición del peso del fruto, I) Medición del diámetro del fruto.....	17
3	Número de hojas, en el desarrollo de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	19
4	Altura de la planta, en el desarrollo de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	20
5	Área foliar, en el desarrollo de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	21
6	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), en el desarrollo de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	23
7	Unidades SPAD, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	24

8	Niveles de Nitrato (NO_3^-) en extracto de peciolo, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	25
9	Niveles de Calcio (Ca^{+2}) en extracto de peciolo, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	26
10	Niveles de Potasio (K^+) en extracto de peciolo, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	27
11	Niveles de Sodio (Na^+) en extracto de peciolo, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	28
12	Largo del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	29
13	Correlación entre las variables de peso y largo del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	29
14	Peso del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	30
15	Correlación entre las variables de peso y el rendimiento del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	31
16	Rendimiento del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	32
17	Correlación entre las variables de rendimiento y largo del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	33

18	Diámetro del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	34
19	Placenta del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	35
20	Endocarpo del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	36
21	A) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento SN, B) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento ESB, C) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento E 250, D) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento E 500, E) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento E 1000, F) Comparacion del diámetro y placenta del pepino en los diferentes tratamientos, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	37
22	Grados brix, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el riego.....	38
23	Ganancia de peso, en el desarrollo de Tilapia de Nilo en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el alimento.....	40
24	Largo de la Tilapia de Nilo, en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el alimento.....	41
25	Biometría en el desarrollo de Tilapia de Nilo en respuesta al efecto de la presencia de <i>Bacillus toyonensis</i> en diferentes dosis suministradas en el alimento.....	41

RESUMEN

La acuaponía es la técnica que combina la hidroponía con los efluentes de la acuicultura, en este proceso el efluente pasa por transformaciones microbianas para poder ser utilizado como una fuente de nutrientes en el desarrollo de las plantas. Estos microorganismos vivos no patógenos también son llamados probióticos, los cuales aportan diferentes beneficios en la salud del hospedero, como es el caso del género *Bacillus* además de ser utilizado como bacterias promotoras de crecimiento presenta una alternativa sustentable con el ambiente que potencializa la salud y rendimiento del cultivo. El objetivo es evaluar el crecimiento y rendimiento del cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*) en un sistema acuapónico, utilizando efluentes del cultivo de Tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con *Bacillus toyonensis*. En el cultivo de Tilapia se aplicaron 4 tratamientos con diferentes dosis de *Bacillus toyonensis* con 0, 250, 500 y 1000 kg/ton alimento. Se utilizaron plantas de pepino cultivadas de manera hidropónica en sustrato tezontle, se aplicaron 5 tratamientos de los cuales 4 constaron de los efluentes que venían de la producción de Tilapia de Nilo y 1 tratamiento con solución nutritiva Hoagland. Se evaluaron variables de crecimiento en el sistema hidropónico, iones en el ECP, variables de cosecha, variables de calidad de fruto y variables de crecimiento del sistema acuícola. Los tratamientos fueron distribuidos mediante un diseño completamente al azar para posteriormente ser analizado mediante un ANOVA. Los resultados arrojaron que no se tuvo un efecto significativo sobre las variables número de hojas, altura de la planta, área foliar, peso seco, largo, peso, diámetro, endocarpio, grados brix, firmeza del fruto, unidades SPAD, nitrato, potasio y sodio del extracto celular de peciolo. El NDVI aumentó entre el tratamiento con el efluente con la dosis de *Bacillus toyonensis* 500 kg/ton de alimento. Los tratamientos con efluente con 250 y 1000 kg/ton aumentaron el contenido de calcio en el extracto celular de peciolo. El tratamiento con efluente con 1000 kg/ton de alimento de *Bacillus toyonensis* aumentó el contenido de placenta en el fruto del pepino. El uso de efluentes con *Bacillus toyonensis* podrían reducir el estrés en las plantas de pepino y en frutos podría aumentar las vitaminas, flavonoides y antioxidantes.

Palabras clave: Acuaponía, *Oreochromis niloticus*, placenta y endocarpio.

SUMMARY

Aquaponics is the technique that combines hydroponics with aquaculture effluents, in this process the effluent goes through microbial transformations to be used as a source of nutrients in the development of plants. These non-pathogenic live microorganisms are also called probiotics, which provide different health benefits to the host, as is the case of the *Bacillus* genus, in addition to being used as growth-promoting bacteria, it presents a sustainable alternative with the environment that enhances health and performance of the crop. The objective is to evaluate the growth and yield of the Cucumber (*Cucumis sativus*) crop in an aquaponic system, using effluents from the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture fed with *Bacillus toyonensis*. In the Tilapia culture, 4 treatments were applied with different doses of *Bacillus toyonensis* with 0, 250, 500 and 1000 kg/ton feed. Cucumber plants grown hydroponically in tezontle substrate were used, 5 treatments were applied, of which 4 consisted of the effluents that came from the production of Nile Tilapia and 1 treatment with Hoagland nutrient solution. Growth variables in the hydroponic system, ions in the ECP, harvest variables, fruit quality variables and growth variables in the aquaculture system were evaluated. The treatments were distributed through a completely randomized design to later be analyzed through an ANOVA. The results showed that there was no significant effect on the variables number of leaves, plant height, leaf area, dry weight, length, weight, diameter, endocarp, brix degrees, fruit firmness, SPAD units, nitrate, potassium and sodium from petiole cell extract. The NDVI increased between the treatment with the effluent with the dose of *Bacillus toyonensis* 500 kg/ton of feed. Effluent treatments with 250 and 1000 kg/ton increased the calcium content in the petiole cell extract. Effluent treatment with 1000 kg/ton of *Bacillus toyonensis* feed increased placental content in cucumber fruit. The use of effluents with *Bacillus toyonensis* could reduce stress in cucumber plants and in fruits it could increase vitamins, flavonoids and antioxidants.

Keywords: Aquaponics, *Oreochromis niloticus*, placenta and endocarp.

INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus*) es una hortalizas de importancia que se produce en el país de manera hidropónica. México es el 7° productor de pepino a nivel mundial y San Luis Potosí situado en el 8° lugar de producción nacional (SIAP, 2021). El crecimiento de la población en el planeta y el cambio en las condiciones climáticas a través de los años haciendo un uso excesivo del agua y de la tierra, lo que resulta en su escasez, afectando a la agricultura (Majid *et al.*, 2021). Por lo cual, es necesario el desarrollo tecnológico dentro de la agricultura que investiga y propone alternativas viables para eficientizar el uso de los recursos naturales (Pastor, 1999) para que dentro de la producción de cultivos se utilicen métodos avanzados de producción para aumentar la capacidad de satisfacer la necesidad de recursos.

Una alternativa a los cultivo en suelo, es el uso de cultivo sin suelo o hidropónico (Majid *et al.*, 2021). La acuaponía hace un uso eficiente del agua dulce al producir alimentos (Calderón-García *et al.*, 2019) ya que combina en un mismo sistema la acuicultura, que es el cultivo de organismo acuáticos como plantas, crustáceos, moluscos y peces (FAO, 2014) y la hidroponía, que es la producción de plantas en un medio sin suelo en el cual todos los nutrientes que se suministra son diluidos en agua (Diver, 2006) que al combinarse nos trae como resultado una mayor eficiencia en el uso del agua, utilizando una mínima cantidad de fertilizantes sintéticos, elimina también el uso de pesticidas/herbicidas o de antibióticos, no tiene necesidad de suelo, produce plantas y peces, y minimiza la liberación de los efluentes de la acuicultura al medio ambiente (König *et al.*, 2018). En este proceso al utilizarse el efluente de la acuicultura, éste pasa por transformaciones microbianas para poder ser utilizado como una fuente de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Palm *et al* 2014). Dentro de esta práctica, una de las principales especies de peces cultivadas es la Tilapia o Mojarra (*Oreochromis niloticus*) los cuales son peces omnívoros de agua dulce originarios de África, pero han sido introducidos de manera deliberada en el mundo (Eknath y Hulata, 2009). Tiene una productividad alta, debido a que son de rápido crecimiento, gran resistencia a las enfermedades, alta productividad, tienen tolerancia a una alta densidad de siembra, pueden

sobrevivir a diferentes niveles de salinidad y aceptación a diferentes de una amplia variedad de alimentos comerciales balanceados (INAPESCA, 2018). También cuenta con carne de buen sabor, sus alevines son baratos, los desechos generados son ricos en nitratos, y cuenta con una gran aceptación a nivel mundial (Nelson, 2004).

Dentro de la acuicultura uno de las principales dificultades a las que se enfrentan es la acumulación de amonio debido a la alimentación y los desechos excretados por los peces (Heise *et al.*, 2021). Tal como lo menciona Church y Pond (1982), del alimento proporcionado sólo un 20 a 30% es metabolizado y transformado en tejido muscular. Mientras que el resto del alimento un 70 a 80% se excreta y se diluye o se transforma en alimento no consumido lo que representa un alto contenido de amonio (Rakocy y McGinty, 1989). La acuaponía al ser un sistema que involucra múltiples disciplinas como es la microbiología (Yep y Zheng, 2019) nos da como resultado una unión entre las plantas, peces y los microorganismos, los cuales realizan el papel como promotores de crecimiento (Goddek *et al.*, 2015), teniendo la capacidad de producir compuestos orgánicos, con un efecto positivo en el aumento del potencial productivo (Corrales *et al.*, 2017). Estos microorganismos vivos no patógenos también son llamados probióticos, y aportando diferentes beneficios en la salud del hospedero (Castañeda, 2018). Entre los géneros más comúnmente usados está el género *Bacillus* (Klein, 2011) además de ser utilizado como bacterias promotoras de crecimiento (Pérez-Montaña *et al.*, 2014) presenta una alternativa sustentable con el ambiente que potencializa la salud de la planta, así como el rendimiento de los cultivos (Kumar *et al.*, 2014). Es una de las alternativas naturales al uso de los antibióticos como promotor de crecimiento en animales, sin causar efectos secundarios y además promueve una mayor digestibilidad, mayor conversión alimenticia y ganancia de peso (Gutiérrez *et al.*, 2013). Este género contiene un número grande de cepas con una importante relevancia económica (Hong *et al.*, 2005) y presenta diversas características como versatilidad en su aplicación, lo cual permite mejorar la disponibilidad de nutrientes para la planta (Corrales *et al.*, 2017). Estudios anteriores demostraron un aumento en las variables de crecimiento como altura de la planta, peso seco, ancho del tallo y unidades SPAD en plantas de tomate inoculadas con *Bacillus cereus* a diferencia del grupo control, también se registraron diferencias significativa en

el crecimiento (Solano-Alvarez *et al.*, 2021) con el género *Bacillus* el rendimiento aumenta hasta 20 ton/ha en el cultivo de pepino (Pérez *et al.*, 2003) y entre un 33.9% hasta un 74.9% en el cultivo de frambuesas (Orhan *et al.*, 2006). Además, adicionar *Bacillus toyonensis* en la dieta de juveniles de Tilapia mejoró la eficiencia de absorción de los nutrientes, favoreciendo la supervivencia y la eficiencia nutrimental (Yuji *et al.*, 2014).

Hipótesis

El uso de efluentes provenientes del cultivo de Tilapia alimentadas con *Bacillus toyonensis* como probiótico, influye en el crecimiento y rendimiento del cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*) dentro de un sistema acuapónico.

Objetivo General

Evaluar el crecimiento y rendimiento del cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*) en un sistema acuapónico, utilizando efluentes del cultivo de Tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con *Bacillus toyonensis*.

Objetivos Especificos

Evaluar el efecto de la aplicación de efluentes de cultivo de Tilapia con *Bacillus toyonensis* sobre el crecimiento del cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*).

Evaluar el efecto de la aplicación de efluentes de cultivo de Tilapia con *Bacillus toyonensis* sobre el rendimiento del cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*).

REVISIÓN DE LITERATURA

Pepino (*Cucumis sativus*)

El pepino es una especie originaria de la India cuyo nombre botánico es *Cucumis sativus* perteneciente a la familia de las Cucurbitáceas. Es una planta anual herbácea con tallos rastreros, flexibles y angulosos. Las hojas constan de 5 lóbulos que terminan en punta y son asperas, alternas y con un color verde oscuro en el haz y grisáceo en el envés de la hoja. Con una raíz pivotante secundada de raíces ramificadas. Tiene flores amarillas generalmente con pedúnculo corto y axilares. Los frutos antes de su madurez pueden llegar ser de color blanquecino, verde claro o verde oscuro dependiendo de la variedad, en su madurez llegan a ser amarillentos, la pulpa es verdosa y acuosa con sabor que va del amargo al dulce, en el centro del fruto cuenta con semillas con forma alargada, ovales y aplastadas. El fruto debe de ser cosechado a la mitad de su madurez que es cuando tienen un color verde oscuro. Este cultivo es principalmente de un clima templado-cálido teniendo problemas con el clima frío y la humedad, requiere un ambiente seco y soleado (Sobrino y Sobrino, 1989).

Producción de pepino

México es el 7° productor de pepino a nivel mundial, con una producción de 1,159,934 toneladas anuales en 2020, con un promedio nacional de producción de 893 mil toneladas. La superficie sembrada y cosechada fue de 16 mil ha con un rendimiento de 73.7 Ton/ha, con un valor de 7,692 millones de pesos, el precio por tonelada alcanzó los \$6,631. Su consumo anual per cápita es de 2.6 kg y representa el 7.2% de la producción nacional de hortalizas. Se exporta principalmente a Estados Unidos, lo cual representa 406 millones de dólares de ingreso al país. A nivel nacional, San Luis Potosí se encuentra en el 8° lugar de producción con 41,332 toneladas anuales (SIAP, 2020).

Valor nutricional:

El pepino (*Cucumis sativus* L.) aporta por cada 100g de la parte comestible contiene 96,7% agua y 9 calorías; además contienen vitamina A (20 UI), vitamina B1 (0,02 mg), vitamina B2 (0,02 mg), vitamina B3 (0,1 mg), vitamina C (8 mg), y minerales

como calcio (7 mg), potasio (147 mg), hierro (0,3 mg), fósforo (30 mg) y magnesio (13 mg) (Barraza-Álvarez, 2015).

Cambio Climático y Uso De Recursos

El crecimiento de la población en el planeta y el cambio climático a través de los años han llevado al uso excesivo de la tierra y del agua, lo que resulta en su escasez, afectando a la agricultura (Majid *et al.*, 2021). En este caso las superficies de siembra se han reducido significativamente y la demanda de alimentos es cada vez mayor (Calderón-García *et al.*, 2019). México al tener un territorio contrastante hace que una mala gestión de la distribución del agua se convierta en un serio problema. Ya que es abundante en algunas zonas, como el sur del país, mientras que por el contrario del territorio se encuentra en escasez y sequía (Jabardo y Padilla, 2016). Por lo cual es necesario el desarrollo tecnológico dentro de la agricultura que investiga y propone alternativas viables para el uso eficiente de los recursos naturales (Pastor, 1999) y dentro de la producción de cultivos se utilicen métodos avanzados de producción para aumentar la capacidad de satisfacer la necesidad de recursos. Una alternativa a los sistemas de cultivo convencionales basados en suelo, es el uso de cultivo sin suelo o hidropónico (Majid *et al.*, 2021). Los subproductos y residuos orgánicos sólidos provenientes de productos para consumo humano a partir de los recursos hidrobiológicos, ocasionan un impacto negativo al ambiente si no son tratados. El uso de estos remanentes es motivo de investigación ya que contienen compuestos que son bioactivos y estos subproductos se utilizan en bioprocesos como la biodegradación aerobia, hidrólisis, fermentación y en las macroalgas; extracción. Estos fertilizantes clasificados como orgánicos, que provienen de efluentes y subproductos de la industria pesquera contienen macronutrientes como los son nitrógeno, fósforo y potasio, así como micronutrientes como el calcio, magnesio, azúfre, boro, hierro, cobre, manganeso, molibdeno, zinc y cloro que son requeridos por la planta, también contienen péptidos y aminoácidos los cuales se considera que son bioestimulantes (Florez-Jalixto *et al.*, 2021).

Acuaponía

Una alternativa que combina en un mismo sistema la acuicultura y la hidropónica para producir alimentos es la acuaponía, haciendo uso eficiente del agua dulce (Calderón-García *et al.*, 2019) ya que combina en un mismo sistema la acuicultura, que es el cultivo de organismo acuáticos como peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas (FAO, 2014) y la hidroponía, que se define como la producción de plantas en un medio sin suelo en el cual todos los nutrientes que se suministran son diluidos en agua (Diver, 2006) teniendo una alta eficiencia en el uso del agua, al tiempo que utiliza una mínima cantidad de fertilizantes sintéticos, elimina también el uso de pesticidas/herbicidas o de antibióticos, no tiene necesidad de suelo, produce plantas y peces, y minimiza la liberación de los efluentes de la acuicultura al medio ambiente (König *et al.*, 2018). En este proceso al utilizarse el efluente de la acuicultura, éste pasa por transformaciones microbianas para poder ser utilizado como una fuente de nutrientes en el crecimiento de las plantas (Palm *et al.*, 2014).

Hidroponía

La Hidroponía se define como la producción de plantas en un medio sin suelo en el cual todos los nutrientes que se suministra son diluidos en agua (Diver, 2006). Al cambiar el uso del suelo por un sustrato con riego para poder obtener un mayor rendimiento y control del cultivo (Ortega-Torres *et al.*, 2020). En estos sistemas hidropónicos se cumple con las condiciones idóneas para la investigación de plantas en ambientes controlados y semicontrolados (Beltrano y Giménez, 2015) teniendo una mayor eficiencia en el uso del agua, al tiempo que utiliza una mínima cantidad de fertilizantes sintéticos, elimina también el uso de pesticidas/herbicidas o de antibióticos, no tiene necesidad de suelo, produce plantas y peces, y minimiza la liberación de los efluentes de la acuicultura al medio ambiente (König *et al.*, 2018). Estos sistemas usan la tecnología para producir cosechas en las cuales los cultivos se encuentran en soluciones nutritivas, ya sea agua o fertilizantes, con o sin uso de sustrato (Sánchez y Escalante, 1988). Existen una gran cantidad de sustratos usados en hidroponía que ayudan a mantener e incrementar la producción (Ortega-Torres *et al.*, 2020), como puede ser arena, grava, vermiculita,

perlita, lana de roca, entre otros y así dar soporte mecánico a la planta (Sánchez y Escalante, 1988).

Sustratos

Los sustratos son el medio sólido inerte y orgánico cuya función es permitir una adecuada penetración de las raíces y protegerlas de la luz, a la vez que permiten la respiración, retención del agua y nutrientes que la planta necesita (Alonso *et al.*, 2017; Trejo-Téllez *et al.*, 2013). Dentro de la producción viverística, da referencia al material diferente del suelo, el cual puede ser sintético o de origen natural, mineral u orgánico, y también puede usarse solo o combinado, permite que las raíces de la planta se ancle a él. Puede o no tener una intervención en el proceso de nutrición de la planta ahí colocada. Los sustratos se clasifican por su estabilidad química como lo son roca volcánica, lana de roca, perlita, etc. los cuales no producen una reacción con el entorno y los que son químicamente activos como son: las turbas y la cortezas de pino (Pastor, 1999).

Tezontle

El tezontle es una roca volcánica, es altamente porosa y es considerado como un material inerte, el cual tiene pH casi neutro, con muy poca capacidad de intercambio catiónico, permite el paso del aire y es capaz de retener la humedad, es físicamente estable y no libera sustancias (Bastida, 1999).

Acuicultura

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos como plantas, crustáceos, moluscos y peces, en la cual existe la participación del hombre durante la crianza para así incrementar su producción. Esta actividad refiere que las asociaciones o individuos que realizan esta actividad son propietarios de la población cultivada (FAO, 2014). Existen desastres naturales que llegan a afectar a la actividad acuícola como lo son las tormentas tropicales, ciclones, tifones, tornados, vientos fuertes e inundaciones, así como las temperaturas extremas, tanto en tierra como dentro del mar. Esto hace que se encuentra seriamente impactada por los cambios climáticos tanto en el presente como lo será en el futuro (INAPESCA, 2018).

En México, las principales especies que se cultivan en la acuicultura son la mojarra Tilapia con 149 mil 54 toneladas anuales, el camarón con 150 mil 76 toneladas anuales, el ostión con 45 mil 148 toneladas anuales, la carpa con más de 30 mil toneladas anuales y la trucha con siete mil toneladas anuales (CONAPESCA, 2018).

Dentro de los grupos de peces que se cultivan con mayor éxito esta la Tilapia o Mojarra (*Oreochromis niloticus*) los cuales se han diseminado en una amplia variedad de cuerpos de agua dentro de diferentes regiones del país, dicha especie representa más del 60% de los cultivos dentro de los centros acuícolas y con productores del sector (Alvarez-Torres *et al.*, 2019).

Tilapia del Nilo(*Oreochromis niloticus*)

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) son peces omnívoros de agua dulce originarios de África, pero han sido introducidos de manera deliberada en todo el mundo (Eknath y Hulata, 2009). Es un tipo de pez el cual pertenece a la familia Cichlidae dentro de la orden de los Perciformes. La cual tiene una productividad alta, debido a que son de rápido crecimiento, gran resistencia a las enfermedades, alta productividad, tienen tolerancia a una alta densidad de siembra, pueden sobrevivir a diferentes niveles de salinidad y aceptación de una amplia variedad de alimentos balanceados comerciales dependiendo de las necesidades de cada especie (INAPESCA, 2018; FAO, 2009). También cuenta con carne de buen sabor, sus alevines son baratos, los desechos generados son ricos en nitratos, y es muy bien aceptado a nivel mundial como fuente de proteína (Nelson, 2004).

Producción de tilapia

México se encuentra en el 9º lugar de producción mundial con 183 mil toneladas anuales en 2019 con un incremento del 8.4 % en comparación con el año anterior. La captura y cosecha de esta especie se realiza, principalmente, a través de la acuicultura (alrededor del 75%). Su precio es accesible con buen sabor, es una de las especies pesqueras más consumidas. Su consumo anual per cápita es de 2.1 kg, con una

participación nacional pesquera del 8.4%. Su principal cliente es Estados Unidos lo cual representa un ingreso de 29 millones de dólares. San Luis Potosí no se encuentra entre los 10 principales estados productores de tilapia en México (SIAP, 2020).

En San Luis Potosí se reportó un total de 204 toneladas de peso vivo de la producción pesquera, de los cuales 112 toneladas fueron en mojarra, 57 toneladas en bagre, 35 toneladas en carpa, teniendo una disminución en la producción del 71% al año anterior. Situando al Estado en el lugar 25 en volumen de producción y en el 26 en valor de producción con \$8,311,00.00 (CONAPESCA,2020)

Probióticos

Es necesario el usar microorganismos que nos puedan ayudar a promover el crecimiento vegetal y al mismo tiempo poder sustituir el uso de fertilizantes químicos, que además de encarecer la producción traen efectos negativos sobre nuestro medioambiente (Rojas-Badía *et al.*, 2020). La acuaponía al ser un sistema que involucra múltiples disciplinas como es la microbiología (Yep y Zheng, 2019) nos da como resultado una interacción entre las plantas, los peces y los microorganismos, los cuales realizan el papel como promotores de crecimiento (Goddek *et al.*, 2015), teniendo la capacidad de producir compuestos orgánicos, con un efecto positivo al aumentar su potencial de producción (Corrales *et al.*, 2017) pudiendo aprovechar los nutrientes presentes en los desechos excretados por los peces (Heise *et al.*, 2021) tal como lo menciona Church y Pond en 1982, del alimento proporcionado sólo un 20 a 30% es metabolizado y transformado en tejido muscular. Mientras que el resto del alimento un 70 a 80% se excreta y se diluye o se transforma en alimento no consumido lo que representa un alto contenido de nutrientes no disponibles para la planta (Rakocy y McGinty, 1989). Los probióticos son microorganismos vivos los cuales no son patógenos y brindan un beneficio sobre la salud del hospedero (Castañeda, 2018).

Género *Bacillus*

Entre los géneros más comunmente usados está el género *Bacillus* (Klein, 2011) además de ser utilizado como una bacteria promotora de crecimiento (Pérez-Montaña *et*

al., 2014) presenta también una alternativa sustentable con el ambiente que potencializa el estado de la planta al mismo tiempo que aumenta su rendimiento (Kumar *et al.*, 2014) y se han consolidado como una alternativa natural a la implementación de antibióticos se han consolidado como una de las alternativas naturales al uso de los antibióticos, ya que cuenta con la capacidad metabólica de producir metabolitos antimicrobianos, producir antibióticos y metabolitos antifúngicos (Tejera-Hernández *et al.*, 2011). Están catalogados como promotores de crecimiento en animales, ya que no producen efectos secundarios y aumentan la ganancia de peso, su digestibilidad y produce un mayor índice de conversión alimentaria. Es un aditivo en la alimentación que al administrarse en una cantidad adecuada nos producen un efecto positivo tanto en la fisiología como en la salud del huésped, esto derivado de a que mejora el equilibrio microbiano dentro del intestino (Gutiérrez *et al.*, 2013) estos suelen ser administrados por vía oral en los peces, para así poder mejorar la flora microbiana del intestino (Romagosa *et al.*, 2013). Este género contiene un gran número de cepas con una importante relevancia económica (Hong *et al.*, 2005) y presenta diversas características como versatilidad en su aplicación, lo cual permite mejorar la disponibilidad de nutrientes para la planta (Corrales *et al.*, 2017).

Bacillus toyonensis

Bacillus toyonensis, esta cepa fue identificada principalmente como un *Bacillus cereus var toyoi*, y se ha utilizado durante varias décadas como ingrediente activo de la preparación TOYOCERIN(®), el cual es un aditivo usado principalmente en la nutrición animal como por ejemplo de, cerdos, aves, ganado, conejos y dentro de la acuicultura. A pesar de que la cepa fue mal clasificada, demostró diferencias genómicas significativas con las de las cepas del grupo *B. cereus* las cuales eran más grandes (con valores de ANI por debajo del 92 %) por lo cual no se podía considerar como una especie diferente del grupo *B. cereus*. Posteriormente mediante un estudio taxonómico polifásico el cual proporcionó los resultados para poder clasificar a BCT-7112 T como una nueva especie llamada *Bacillus toyonensis sp. nov.* (Jiménez *et al.*, 2013). Ésta es una cepa natural, no tóxica ni patógena de *B. cereus*, la cual ha demostrado ser segura y además no causa ningún efecto adverso (Williams *et al.*, 2009). Dentro de este grupo también se encuentran especies tales como *B. anthracis*, *B. thuringiensis*, *B. weihenstephanensis* *B.*

pseudomycooides, *B. mycooides* y *B. cytotoxicus*, los cuales son considerados organismos presentes en el suelo de los cuales algunos se encuentran clasificados como patógenos, otros como insecticidas biológicos o como probiótico en la salud animal (Rasko *et al.*, 2005).

Estudios anteriores demostraron diferencias significativas en plantas de tomate inoculadas con *Bacillus cereus* (B.c-A) a dos concentraciones 1×10^4 y 1×10^8 contra el control pero no existieron diferencias significativas entre las diferentes dosis, ambos tratamientos bacterianos incrementaron el peso seco, ancho del tallo, altura de la planta y unidades SPAD, mostrando una promoción significativa en el crecimiento de las plantas de tomate en ambas concentraciones de la cepa B.c-A (Solano-Alvarez *et al.*, 2021) y en el cultivo de frambuesas se utilizaron como promotores de crecimiento *Bacillus* OSU-142, *Bacillus* M3 y en combinación (OSU-142 + M3) a una concentración de 1×10^9 UFC ml^{-1} , se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento de 33.9% con *Bacillus* M3 y 74.9% con la combinación OSU-142 + M3 a diferencia del control, también aumentaron el número de racimos por planta y el número de bayas por racimo (Orhan *et al.*, 2006). La adición de *Bacillus toyonensis* en una dosis de 1×10^9 UFC/g en la dieta de juveniles de Tilapia mejoró la eficiencia de absorción de los nutrientes, favoreciendo la supervivencia y la eficiencia nutrimental (Yuji *et al.*, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se llevo acabo en el año 2020 en los invernaderos de hidroponía de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ubicado en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez en el Estado de San Luis Potosí, en el Ejido Palma de la Cruz, M, México, km 14.5 de la carretera No. 57, San Luis Potosí – Matehuala. Latitud Norte 22° 14'10" y longitud este 100°53'10" a 1835 msnm. Se utilizó un invernadero 5 × 9 m. de dimension, la temperatura media registrada durante el trabajo fue de 16 °C y la luminosidad media fue de 10,005 lux.

Material Genético y Manejo del Experimento

Para el sistema acuícola se utilizaron alevines de Tilapia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) con un peso promedio de 4± .5 g. Dentro del sistema se utilizaron cajas de plástico de 50 L llenadas a una capacidad de 40 L, las cuales contenían los alevines y contaban con una vía de oxígeno en manguera plástica y válvula reguladora, con piedra difusora de 2.5 cm. Un compresor de aire de 602 GPH 18 W 38L/min marca Simple Delux, se alimentaron con alimento peletizado Nutripec de 2.4 mm compuesto por 40% proteína y 9% Grasa adicionado con Probiótico *Bacillus toyonensis* de (Lallemand Nutrición Animal Norte América) en una concentración de 1×10^9 UFC/g.

Para el sistema hidropónico se utilizó semilla Poinsett (Kristen Seed) sembradas en charolas de 220 cavidades, se trasplantaron a los 20 días cuando tenían 3 hojas verdaderas. El sistema constó de 40 plantas de Pepino en maceta con sustrato Tezontle de 0.6 mm, tutoreadas a un tallo, con un sistema de riego por goteo con un gotero por maceta.

Tratamientos

Para el sistema acuícola se aplicaron 4 tratamientos con 5 repeticiones. Los tratamientos estuvieron constituidos de la siguiente manera (cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados dentro del Sistema Acuapónico en el área acuícola para el estudio de la planta de pepino en respuesta al efecto de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego.

Tratamiento	Composición
T1 (testigo)	Alimento peletizado sin <i>Bacillus toyonensis</i>
T2	Alimento peletizado + 250g/ton de alimento de <i>Bacillus toyonensis</i>
T3	Alimento peletizado + 500g/ton de alimento de <i>Bacillus toyonensis</i>
T4	Alimento peletizado + 1000g/ ton de alimento de <i>Bacillus toyonensis</i> .

En el sistema hidropónico constó de 5 tratamientos que provenían de los efluentes generados en el sistema acuícola, los cuales estuvieron constituidos de la siguiente manera:

Cuadro 2. Tratamientos aplicados dentro del Sistema Acuapónico en el área hidropónica para el estudio de la planta de pepino en respuesta al efecto de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego.

Tratamientos	Composición
SN	710 ml de solución Nutritiva Hoagland
E 0	350 ml del T1 + 360 ml de Solución Nutritiva Hoagland
E 250	350 ml del T2 + 360 ml de solución Nutritiva Hoagland
E 500	350 ml del T3 + 360 ml de solución Nutritiva Hoagland
E 1000	350 ml del T4 + 360 ml de solución Nutritiva Hoagland

Aplicación de los tratamientos

Para el sistema acuícola el alimento peletizado fue molido a razón 70/30 para que pudiera ser consumido por los alevines y el probiótico pudiera adherirse con facilidad. Diariamente se le suministro el 4% de P.V. promedio de alimento, dosificado en 4 raciones; 8:10 am, 10:10 am, 12:10 pm y 14:10 pm. De manera semanal se realizó pesaje y medición de los pesos para ajustar la dosis del alimento. Cada quince días se realizó cambio de agua del 50% y los efluentes recolectados fueron almacenados en rotoplas de 450 L cada uno.

En el sistema hidropónico se utilizó la solución nutritiva de Hoagland en la preparación de la solución nutritiva tomando en cuenta el análisis de agua la cual tenía una conductividad electrica de 0.6 dSm^{-1} con un pH de 7.5. Se utilizaron lo siguientes fertilizantes KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, H_3PO_4 , K_2SO_4 , y NH_4NO_3 . Los micronutrientes fueron añadidos con Carboxy Micro, el cual aportó 2.5% de Zn, 5% de Fe, 0.5% de B y 1% de Mn, en su forma quelatada EDDHA. Se realizaron 3 riegos diarios; 8:10 am, 12:10 pm y 14:10 pm, la solución nutritiva fue suministrada por riego por goteo y el efluente de manera manual en el riego.

Variables evaluadas

Cuadro 3. Variables evaluadas dentro del Sistema Acuícola en el estudio de la planta de pepino en respuesta al efecto de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego.

Variables de Crecimiento y Calidad del agua	Equipo de Medición	Frecuencia de muestreo
Longitud de alevines	Regla plastica de 30 cm	Semanalmente
Ganancia de Peso	Balanza digital, marca Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, New Jersey, USA, de 2 dígitos.	Semanalmente

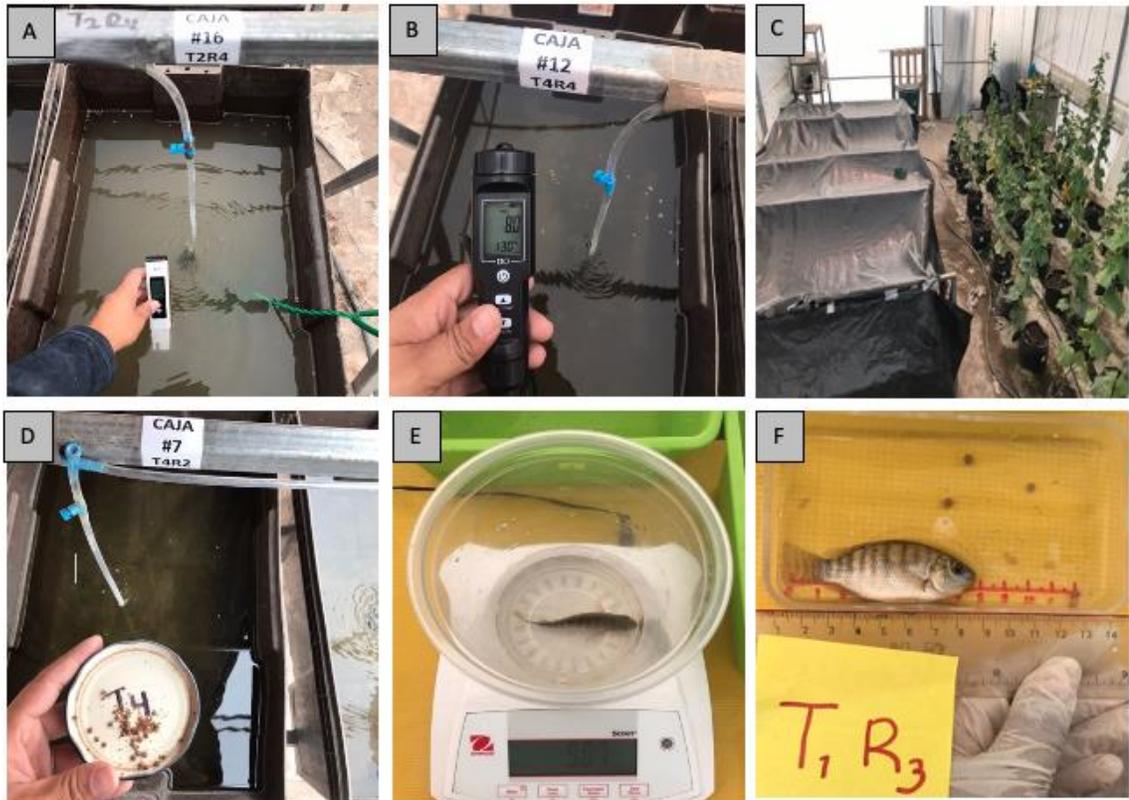


Figura 1. Medición de variables sistema acuícola, **A)** Medición de la C.E. de los efluentes del sistema, **B)** Medición del O.D. de los efluentes del sistema, **C)** Diseño sistema acuaponico, **D)** Aplicación de tratamientos, **E)** Medición ganancia de peso en Tilapia, **F)** Medición ganancia de talla en Tilapia.

Cuadro 4. Variables evaluadas dentro del Sistema Hidropónico en el estudio de la planta de pepino en respuesta al efecto de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego.

Variables de Crecimiento, nutricionales y de cosecha.	Equipo de Medición	Frecuencia de muestreo
Unidades SPAD	Soil Plant Analysis Development, SPAD-502 Plus Chlorophyll Meter 2900P, Spectrum Technologies, Aurora, Illinois, USA	Semanalmente
Índice de vegetación de diferencia normalizada	NDVI, GreenSeeker Trimble handheld crop sensor, Sunnyvale, California, USA	Semanalmente
Número de Hojas	--	Semanalmente
Altura de la planta (cm)	Cinta de medir de 1 m	Semanalmente
Firmeza del pepino en punta, medio y base	Penetrometro, Firmness tester QA Supplies, Perishable & environmental management	Cosecha
Grados brix	Refractometro digital, HI96801, Hanna Instruments	Cosecha
Largo del pepino	Regla plastica de 30 cm	Cosecha
Diámetro del pepino	Vernier digital mm, Control Company, Traceable	Cosecha
Peso del pepino	Balanza digital, Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, New Jersey, USA	Cosecha
NO₃⁻, Na⁺, Ca⁺² y K⁺ en extracto de peciolo	Ionómetros Laqua Twin Compact Ion Meter, Horiba, Kyoto, Japón	Post- cosecha
Peso seco en hoja, tallo y fruto	Estufa de secado de aire forzado Omron, Kyoto, Japón a 70 °C durante 72 h y posteriormente pesaje en Balanza digital, Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, New Jersey, USA	Post- cosecha
Área foliar en cm²	Medidor laser de área foliar CI-202 CID Bio-Science, Camas, Washington, USA	Post-cosecha

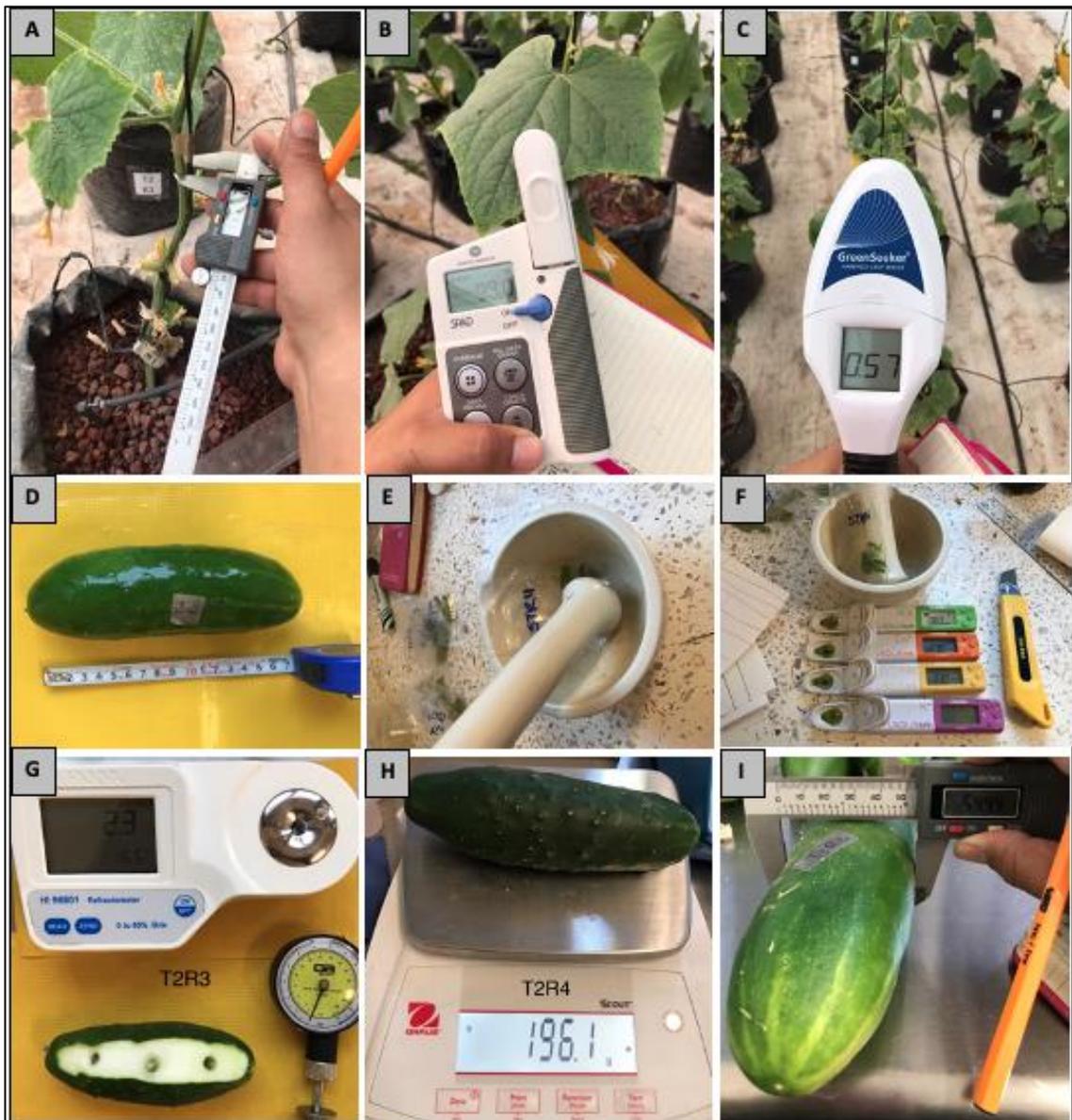


Figura 2. Medición de variables sistema hidropónico, **A)** Medición del ancho del tallo de las plantas de pepino, **B)** Medición de las unidades SPAD, **C)** Medición del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), **D)** Medición del largo del fruto, **E)** Extracción en mortero del extracto de peciolo, **F)** Medición de iones NO_3 , Ca^{2+} , K^+ y Na^+ , en extracto de peciolo, **G)** Medición de grados Brix y firmeza del fruto, **H)** Medición del peso del fruto, **I)** Medición del diámetro del fruto.

Diseño y Unidad Experimental

El experimento se realizó con un diseño experimental completamente al azar para el sistema acuícola constando de 4 tratamientos y 5 repeticiones, utilizando un total 100 alevines repartidos en 20 cajas con 5 alevines por caja, siendo cada caja una unidad experimental. En el sistema hidropónico se utilizó también un diseño experimental completamente al azar que constó de 5 tratamientos que provenían de los efluentes generados en el sistema acuícola. Con un total de 40 plantas de pepino y 8 repeticiones por tratamiento, cada planta era una unidad experimental.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos durante el experimento se procedió a realizar un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), por medio del programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 y se realizó un análisis de medias con el programa Minitab Statistical software versión 21.1.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de Crecimiento en el Sistema Hidropónico

Número de hojas

En el número de hojas en el cultivo de pepino no se vio un efecto significativo (Tukey $P \leq 0.05$) provocado por los tratamientos aplicados, registrando valores entre 14.63 y 16.38 hojas en promedio (figura 3). En el cultivo de tomate en un sistema acuapónico con efluentes provenientes de la piscicultura, el número de hojas aumento conforme aumenta el flujo del efluente de 4 l/h a 6 l/h, al igual influyó la edad de la planta registrando diferencias significativas entre los tratamientos (Khater *et al.*, 2015). En un sistema acuapónico se utilizaron tratamientos con los efluentes de Tilapia y Pacú en el cultivo de cebollín y perejil, se registraron diferencias significativas en el número de hojas en el cultivo de cebollín, además aumentó el índice de calidad de la planta y en perejil no se mostró efecto en las variables de crecimiento y rendimiento (Pinho *et al.*, 2018).

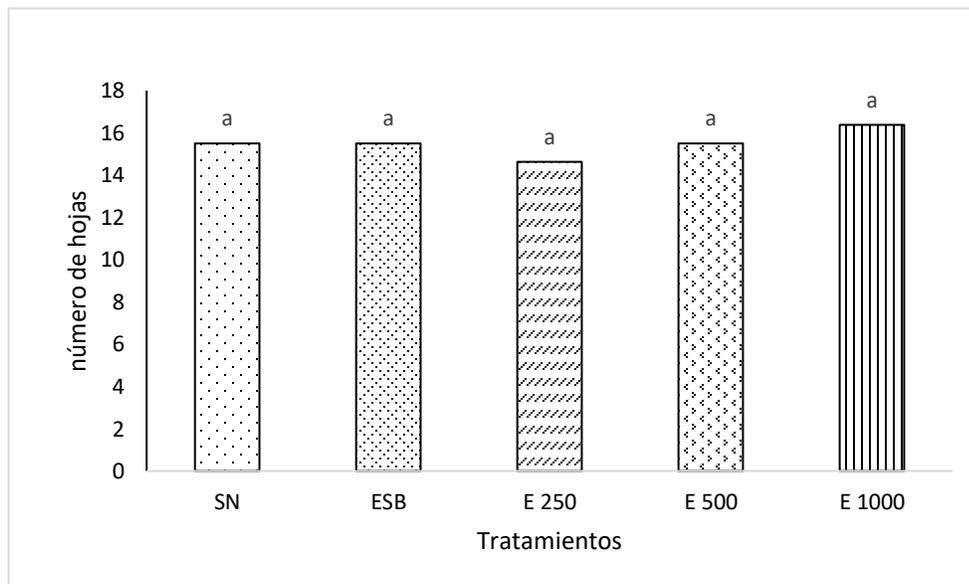


Figura 3. Número de hojas, en el desarrollo de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Altura de la planta

En la altura de las plantas de pepino no se mostró un efecto significativo (Tukey $P \leq 0.05$) entre los distintos tratamientos (figura 4). Dentro de un sistema acuapónico donde se utilizaron efluentes con *Bacillus subtilis* provenientes de la producción de axolote, no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos en la altura de la planta de albahaca (Huitztl-López *et al.*, 2018). En el cultivo de melón hidropónico al inocularse con 4 diferentes cepas de *Bacillus*, no se presentaron diferencias significativas en la altura de la planta en comparación con el grupo control (Abraham-Juárez *et al.*, 2018). Al utilizarse los efluentes provenientes del cultivo de camaron blanco en el cultivo de tomate dentro de un sistema acuapónico, no se obtuvieron diferencias significativas en la altura de la planta a diferentes salinidades (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2021). De igual forma, no hubo diferencias significativas en la altura de la planta y número de hojas del cultivo de tomate cherry dentro de un sistema acuapónico (Alvares *et al.*, 2022).

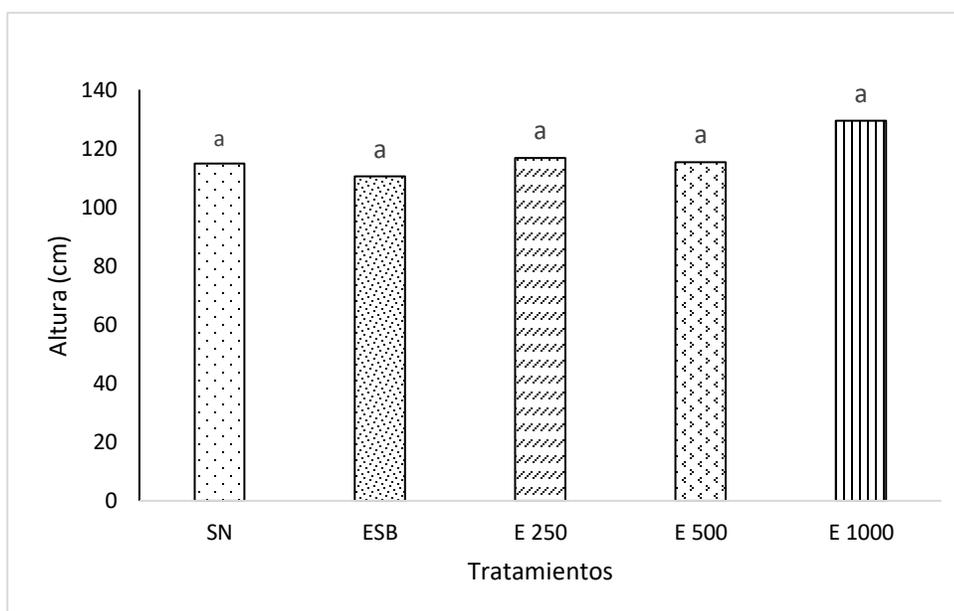


Figura 4. Altura de la planta, en el desarrollo de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Área foliar

En el área foliar del cultivo de pepino, no se mostró un efecto significativo (Tukey $P \leq 0.05$) entre los tratamientos bacterianos y el control (figura 5). En el cultivo de melón hidropónico al utilizarse 4 diferentes cepas de *Bacillus* (BEB-23, LAL-36, BEB-22, BEB 13) en comparación con el grupo control no se registraron diferencias significativas en el área foliar entre los tratamientos (Abraham-Juárez *et al.*, 2018). Trabajos realizados en el cultivo de frambuesa en suelo, tampoco obtuvieron resultados significativos en el área foliar entre las diferentes cepas de *Bacillus* (OSU 142, M3 y OSU + M3) utilizadas en comparación con el grupo control (Orhan *et al.*, 2006). En plantas de chile serrano en el tratamiento con solución Steiner sin inocularse con *P. tolaasii* hubo un incremento en los valores del índice de área foliar (Cabanzo-Atilano *et al.*, 2020).

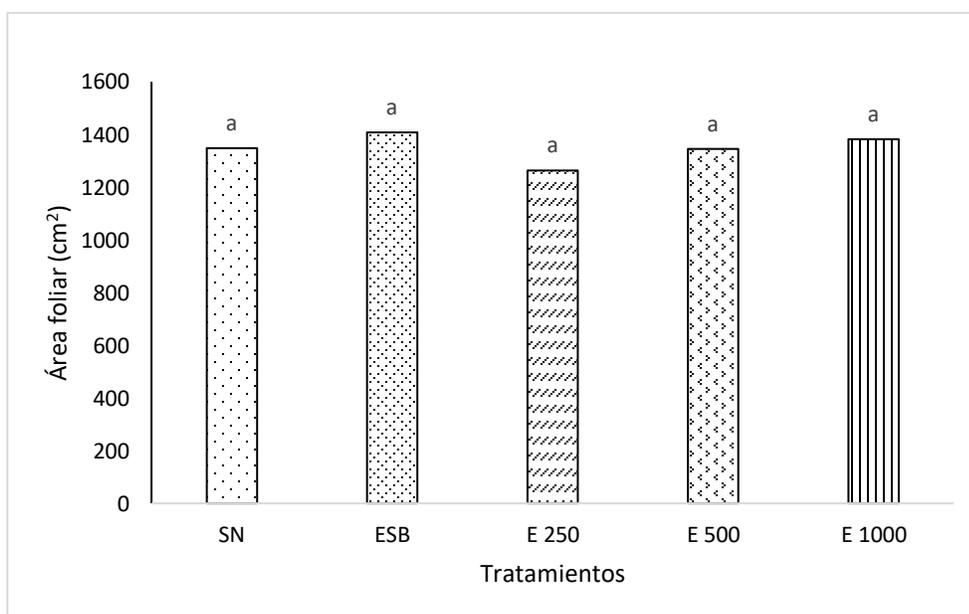


Figura 5. Área foliar, en el desarrollo de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Peso Seco

Peso seco de hojas, tallos, fruto y total en el cultivo de pepino con la aplicación de la bacteria, no se reflejó una diferencia significativa (Tukey $P \leq 0.05$) entre los distintos tratamientos (Cuadro 5). Cepas de *Bacillus cereus* (N198) aplicadas en el cultivo de melón hidropónico, influyó de manera significativa en el peso seco de las hojas (Benavides *et al.*, 2013). Se han registrado diferencias significativas en el peso seco total de lechugas cultivadas en sistemas acuapónicos al aplicarse cepas de *Bacillus spp.* en comparación con el grupo control (Kasozi *et al.*, 2021).

Cuadro 5. Peso seco en hojas, tallos, fruto y peso seco total de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego.

Tratamiento	Hojas	Tallos	Fruto	Total
SN	11.29 a	5.81 a	2.61 a	19.710 a
ESB	10.42 a	5.35 a	2.04 a	17.800 a
E 250	12.66 a	6.41 a	1.96 a	21.029 a
E 500	10.34 a	5.41 a	1.99 a	17.740 a
E 1000	10.12 a	5.70 a	2.63 a	18.444 a
CV	53.68	39.22	64.21	47.83
DMS	8.46	3.23	5.29	13.04

Medias con letras iguales en las columnas dentro de cada factor de variación no son estadísticamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$).

NDVI

En el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en plantas de pepino, existe diferencia significativa (Tukey $P \leq 0.05$) entre el tratamiento E 500 que obtuvo los índices más altos en comparación con los tratamientos SN, E0 y E 1000 que obtuvieron los índices más bajos, el tratamiento E 250 no mostro diferencia significativa ya que fue similar a todos los tratamientos (figura 6). En el cultivo de pepino hidropónico en condiciones de estrés hídrico, conforme el crecimiento de la planta fue avanzando, los valores del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) fueron decrementando de 0.362 durante la primera semana a 0.116 a partir del séptimo día, esto se debe al cierre de estomas por estrés hídrico (Meza *et al.*, 2020).

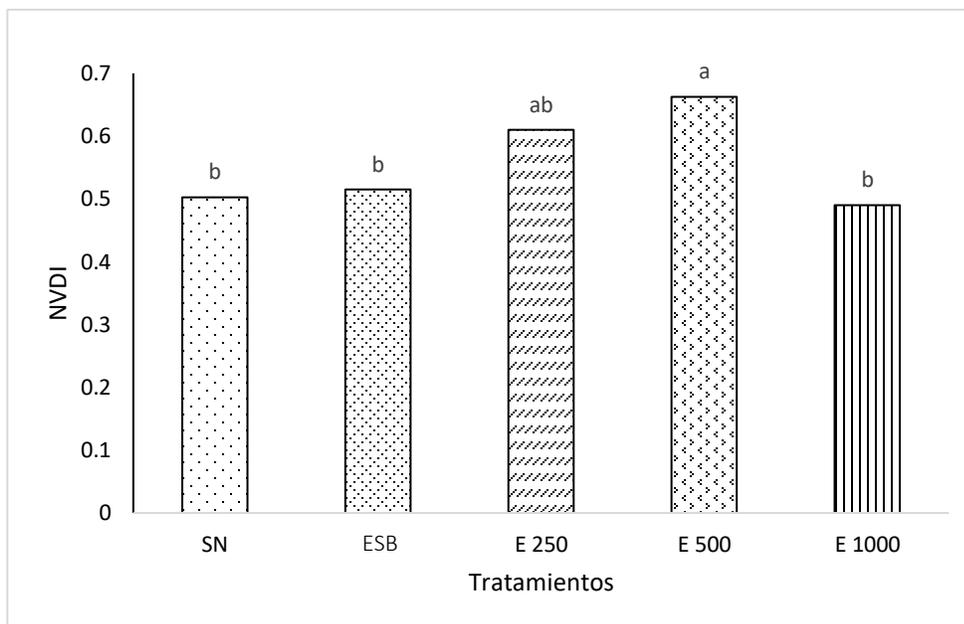


Figura 6. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), en el desarrollo de plantas de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

SPAD

En los resultados obtenidos para las unidades SPAD en plantas de pepino, no se mostró un efecto significativo (Tukey $P \leq 0.05$) entre los tratamientos, mostrando valores entre 43 y 47 unidades SPAD (figura 7). En el cultivo de melón cultivado hidropónicamente la aplicación de *Bacillus cereus* (N198) no presentó diferencias significativas en comparación con el grupo control, registrando valores entre 45.16 y 62.5 unidades SPAD (Benavides *et al.*, 2013).

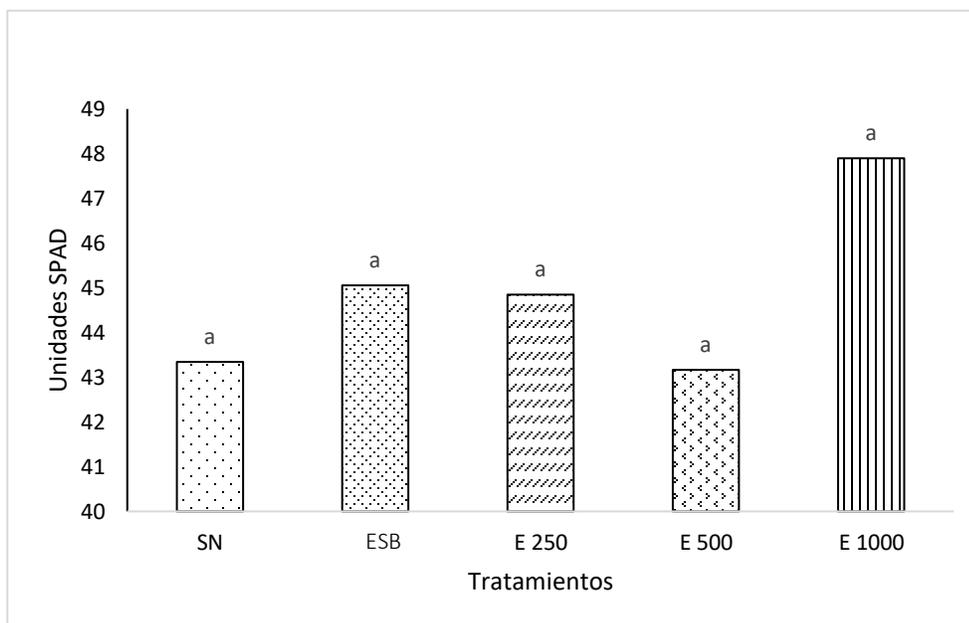


Figura 7. Unidades SPAD, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Extracto de Peciolo en Hoja

Nitrato (NO_3^-)

En los niveles de Nitrato (NO_3^-) en extracto de peciolo en plantas de pepino, no se mostró una diferencia significativa (Tukey $P \leq 0.05$) entre los tratamientos bacterianos y el grupo control, registrando valores desde los 1116.5 a 1671.25 mgL^{-1} de NO_3^- (figura 8). En plantas de tomate cultivadas a campo abierto a dos dosis de N (0 y 454 kg/ha) durante su etapa vegetativa y formación de frutos, todos los tratamientos presentaron altas concentraciones de nitratos en el extracto celular de peciolo registrando valores por arriba de los 1300 mg L^{-1} (Martínez *et al.*, 2005). Al utilizar plantas de tomate desarrolladas en suelo y tezontle, no hubo diferencias significativas en el nitrato del extracto celular, registrando valores de 542 mg L^{-1} para suelo y 588 mg L^{-1} en tezontle en la etapa de cosecha (Castellanos *et al.*, 2008). Uno de los principales problemas dentro del sistema acuaponico son las altas concentraciones de amonio y nitrito en los efluentes, los cuales son tóxicos para las plantas, bacterias como nitrosomonas y nitrobacter permiten transformarlo en nitrato y así poder ser aprovechado por la planta (Walsh, 1998). En este sentido mencionan Yep y Zheng, 2019 que la principal conversión de nutrientes que se

lleva a cabo dentro de un sistema acuapónico es la transformación de amonio/amoniaco a nitrato mediante las bacterias nitrificantes. Los cual en el presente estudio pudo influir de manera negativa en los resultados obtenidos de NO_3^- en el extracto celular de peciolo, ya que dentro del sistema no se utilizaron bacterias nitrificantes que ayudaran a la nitrificación del amonio/amoniaco.

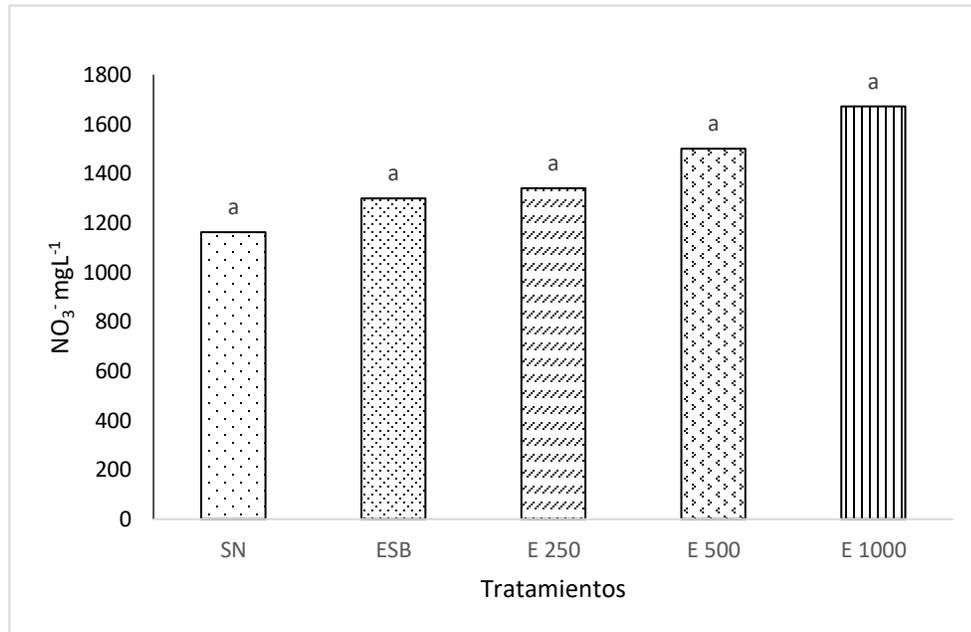


Figura 8. Niveles de Nitrato (NO_3^-) en extracto de peciolo, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Calcio (Ca^{+2})

En los niveles de Calcio (Ca^{+2}) en extracto de peciolo en plantas de pepino, se registraron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) en los tratamientos bacterianos E250 y E 1000 comparados con los tratamientos E 500 y el grupo control SN que registraron los niveles más bajos de Ca^{+2} . El tratamiento ESB no tuvo diferencia significativa con ningún tratamiento (figura 9). En plantas de tomate en suelo y tezontle, hubo diferencias significativas en el contenido de Ca^{+2} en el extracto celular de peciolo, registrando valores de 435 mg L^{-1} para suelo y 352 mg L^{-1} en tezontle en la etapa de cosecha (Castellanos *et al.*, 2008). En el cultivo de melón en suelo, los resultados obtenidos para el extracto celular se encontraron en los rangos de 255 a 1135 mgL^{-1} en cosecha (Benavides-Mendoza *et al.*, 2021).

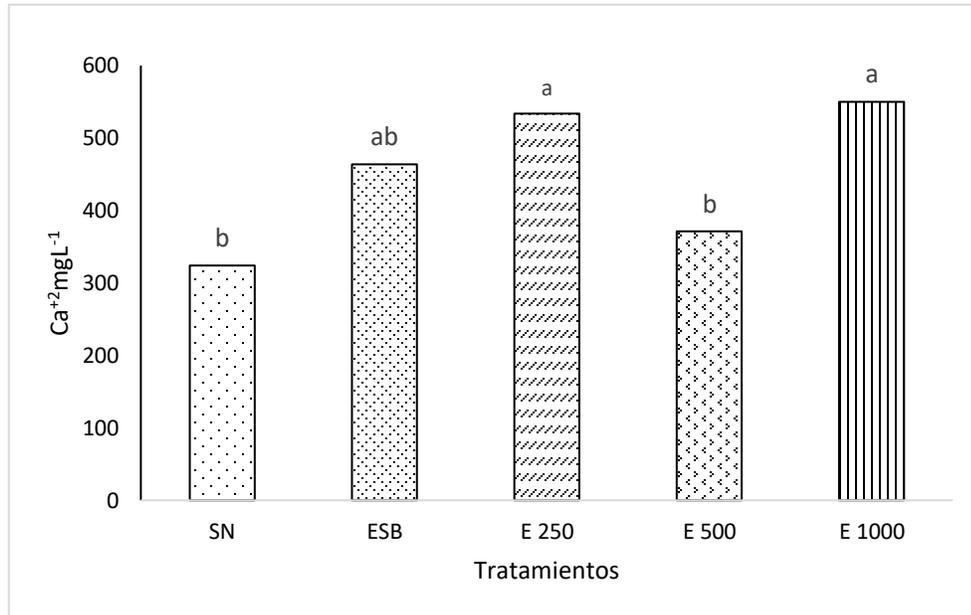


Figura 9. Niveles de Calcio (Ca^{+2}) en extracto de peciolo, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Potasio (K^+)

En los niveles de Potasio (K^+) en extracto de peciolo en plantas de pepino, no se registraron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre los tratamientos (figura 10). En plantas de tomate en suelo y tezontle, no influyó de manera significativa sobre el contenido de K^+ en el extracto celular de peciolo los valores registrados son 4234 mg L^{-1} para suelo y 4280 mg L^{-1} en tezontle estos valores fueron registrados en la etapa de cosecha (Castellanos *et al.*, 2008). En el cultivo de pepino hidropónico en donde se utilizaron diferentes concentraciones de K^+ (7, 9, 11, 13 y 15 mM) en la solución Steiner, afectó significativamente la capacidad antioxidante, los compuestos fenólicos y el contenido de flavonoides totales a mayor concentración de potasio (Díaz-Méndez *et al.*, 2018).

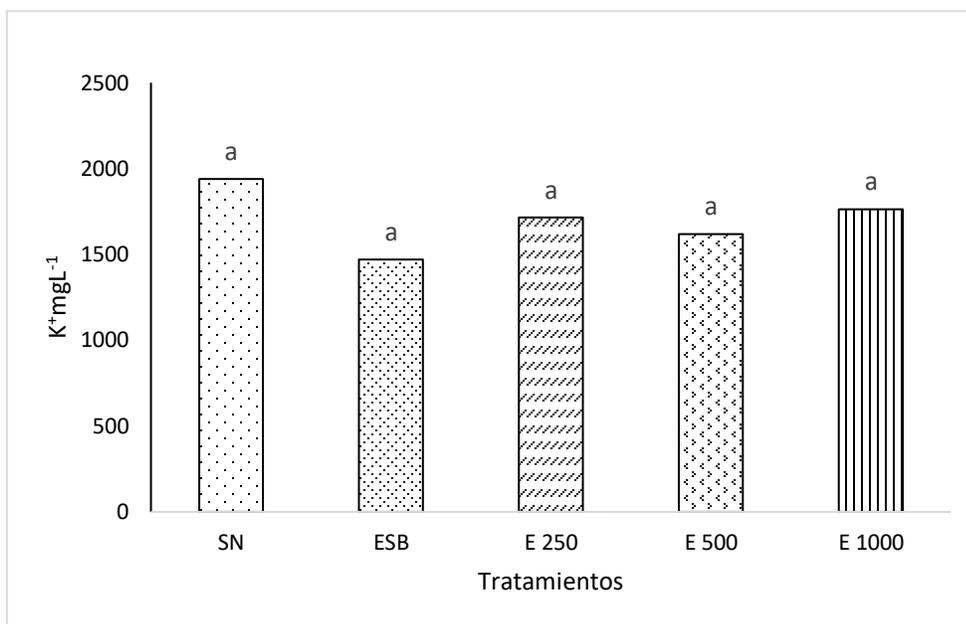


Figura 10. Niveles de Potasio (K⁺) en extracto de peciolo, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Sodio (Na⁺)

Los niveles de Sodio (Na⁺) en extracto de peciolo en plantas de pepino, no se registraron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre los tratamientos (figura 11). En el cultivo de tomate hidropónico al inocularse la semilla con cepas de *Bacillus* E25, CR71 y E25 + CR71, promueven el crecimiento de las plantas en condiciones salinas (Rojas-Solis *et al.*, 2020).

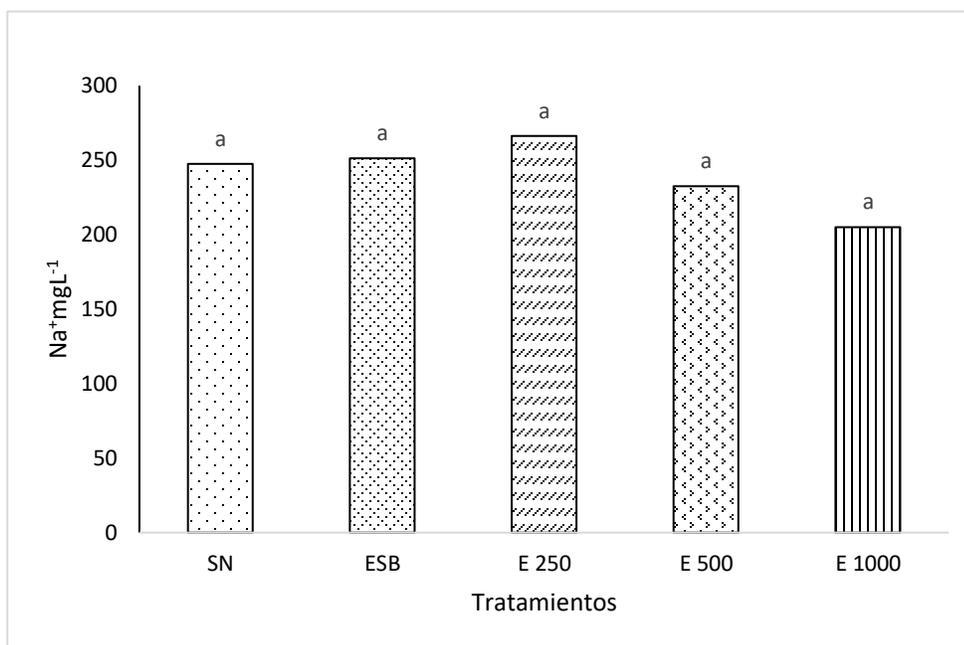


Figura 11. Niveles de Sodio (Na⁺) en extracto de peciolo, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Variables de cosecha

Largo del pepino

En el largo del pepino, no se obtuvieron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre los tratamientos, los valores obtenidos estuvieron entre los 15.03 a 16.44 cm (figura 12). En el cultivo de pepino hidropónico se registraron diferencias significativas en el largo del pepino a diferentes concentraciones de solución nutritiva, registrándose los valores más altos (25.33 cm) para el tratamiento con el 175% de solución Steiner a diferencia de los demás tratamientos donde se registraron valores desde (15.60 cm) (Barraza-Álvarez, 2015).

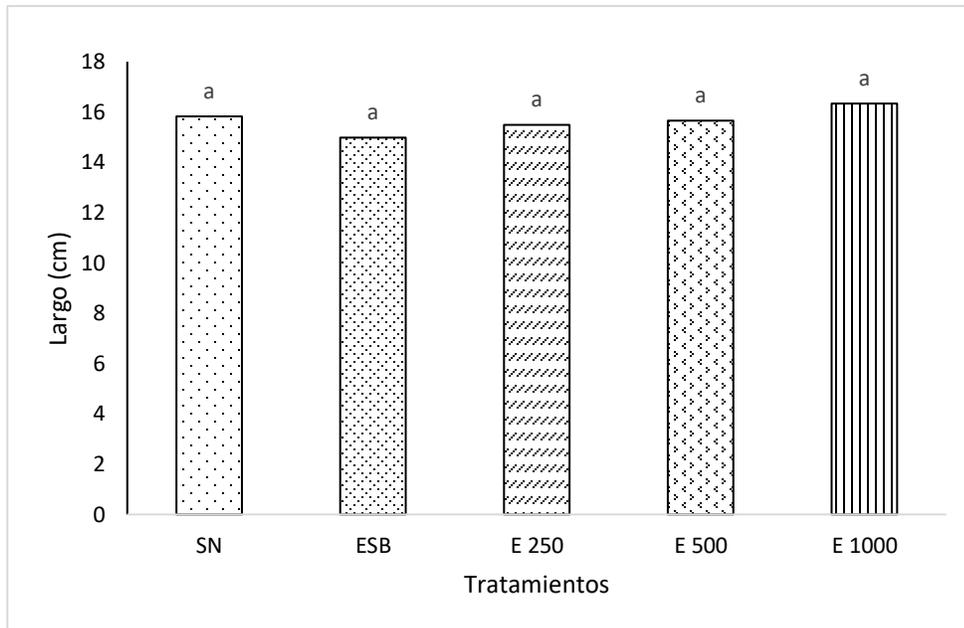


Figura 12. Largo del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Existe una correlación del 66% entre el largo y el peso del pepino. Ambas variables se correlacionan de manera positiva con una $y=37.399x - 352.88$ y $R^2 = 0.6655$.

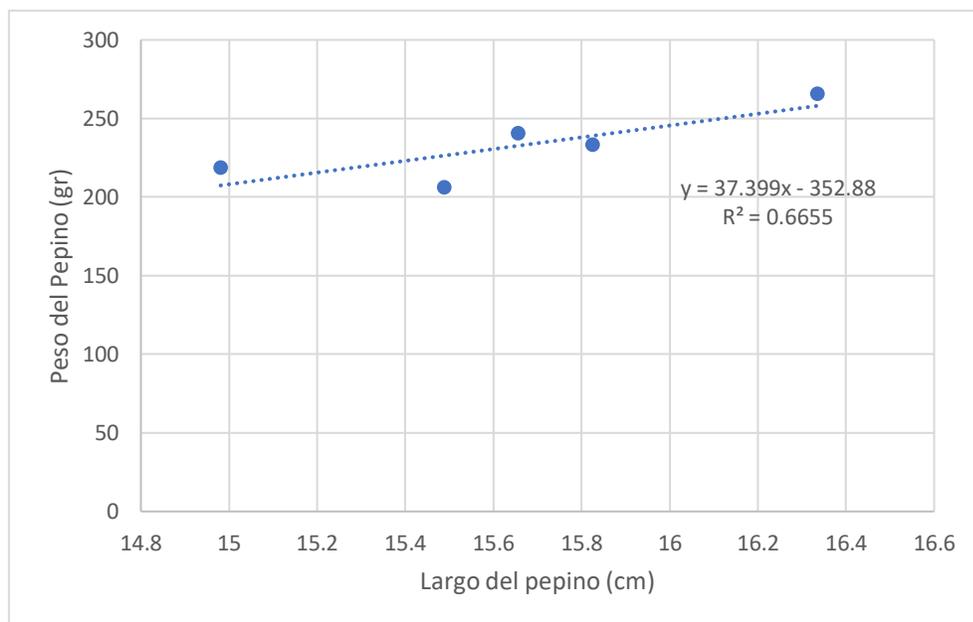


Figura 13. Correlación entre las variables de peso y largo del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Peso del pepino

En el peso del pepino, no se obtuvieron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) entre los tratamientos, registrando valores promedio entre 198.43 a 276.9 gramos (figura 13). En el cultivo de tomate con efluentes provenientes de un sistema acuapónico con producción de camarón blanco, el peso del fruto registró diferencias significativas y se vió afectado a mayor concentración de salinidad en el agua (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2021). Al utilizarse diferentes cepas de *Bacillus* (BEB-23, LAL-36, BEB-22, BEB 13) en el cultivo del melón hidropónico en comparación con el grupo control, se obtuvieron diferencias significativas en la cepa LAL-36 en el peso del fruto (Abraham-Juárez *et al.*, 2018). Los valores registrados para el cultivo de pepino según su categoría de calidad son 435.26 g para Primera, 337.03 g para Segunda y 208.93 g para Rechazo (Chacón-Padilla y Monge-Pérez, 2020) situando los resultados de este trabajo de Segunda y Tercera calidad.

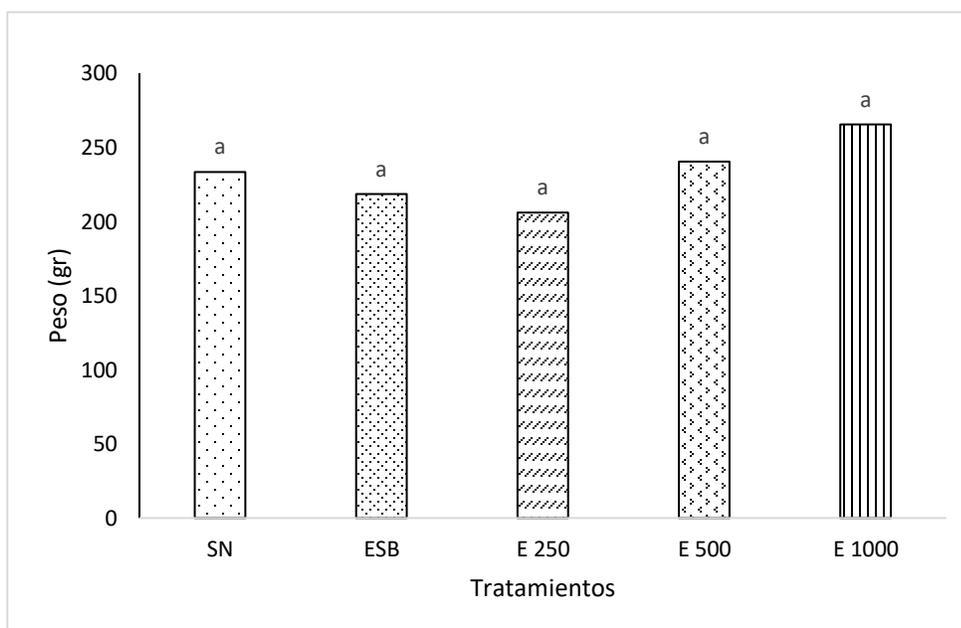


Figura 14. Peso del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Existe una correlación entre las variables de peso del pepino y el rendimiento del 56% con $y = 0.1295x + 173.48$ y una $R^2 = 0.5657$. Lo cual indica que el peso del pepino influyó sobre el rendimiento de nuestro cultivo y se correlacionan de manera positiva.

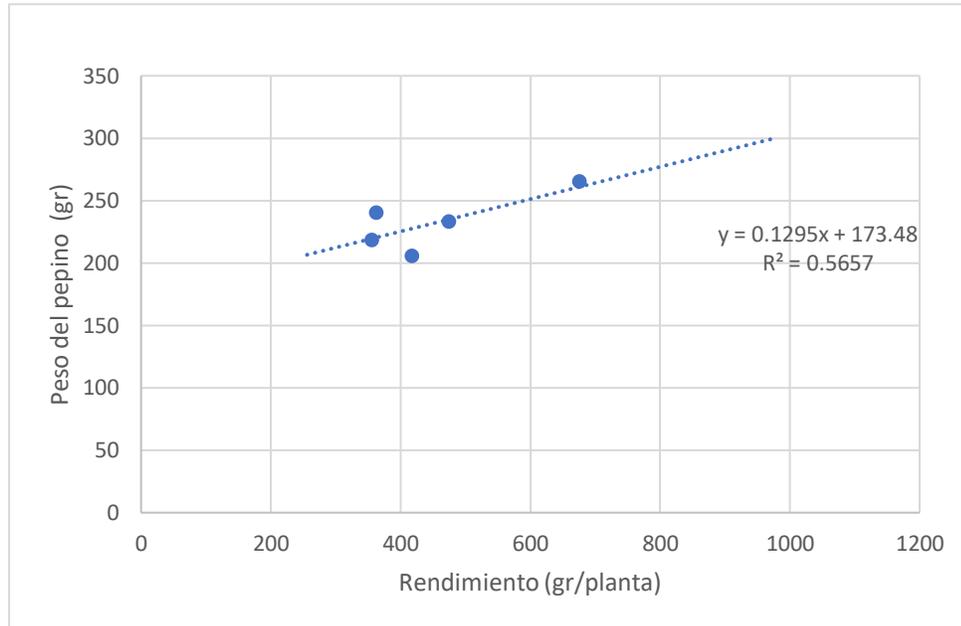


Figura 15. Correlación entre las variables de peso y el rendimiento del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Rendimiento

El rendimiento del cultivo de pepino no registro diferencia significativa (Tukey $P \leq 0.05$) entre los diferentes tratamientos, se obtuvieron rendimientos de 1.42 kg/m^2 en el tratamiento ESB y E 500 siendo estos los valores más bajo y 2.70 kg/m^2 en el tratamiento E 1000 siendo el valor más alto a una densidad de 4 plantas/ m^2 (figura 14). En sistemas acuapónicos dónde se utilizaron efluentes provenientes de la producción de Tilapia de Nilo aplicados sobre el cultivo de pepino, registraron valores entre 2.75 a 5.18 kg/m^2 (Bailey y Nandwani, 2013). Cultivo de pepino en un sistema acuaponico con una densidad de 8 plantas/ m^2 dio un rendimiento de 6.2 kg/m^2 (Bailey y Ferrarezi, 2017). Al utilizarse efluentes provenientes del cultivo de Tilapia y Pacú en cebollín, estos influyeron en el rendimiento registrando valores de 141.70 g/m^2 (Pinho *et al.*, 2018). En el cultivo de tomate dentro de un sistema acuapónico a diferentes caudales del efluente, el rendimiento

aumentó conforme al aumento del caudal, dando diferencias significativas de 1.06 a 1.37 kg/planta (Khater *et al.*, 2015).

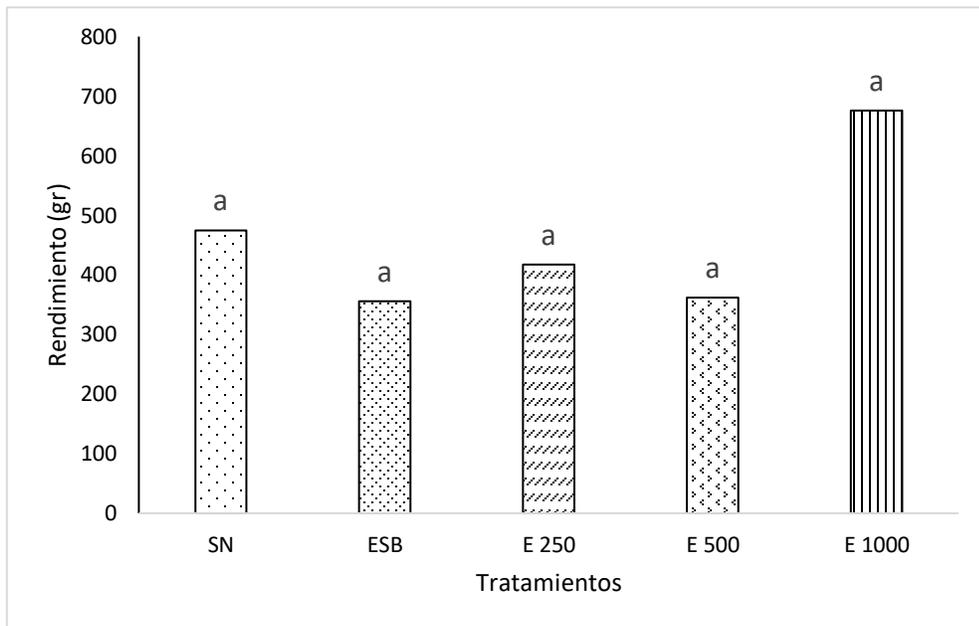


Figura 16. Rendimiento del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Existe una correlación de $y = 232.62x - 3185.1$ con una $R^2 = 0.7632$ entre la variable del rendimiento y el largo del pepino. Esto nos indica que el rendimiento del cultivo de pepino dependerá un 76% del tamaño que este tome. Ambas variables se correlacionan de manera positiva.

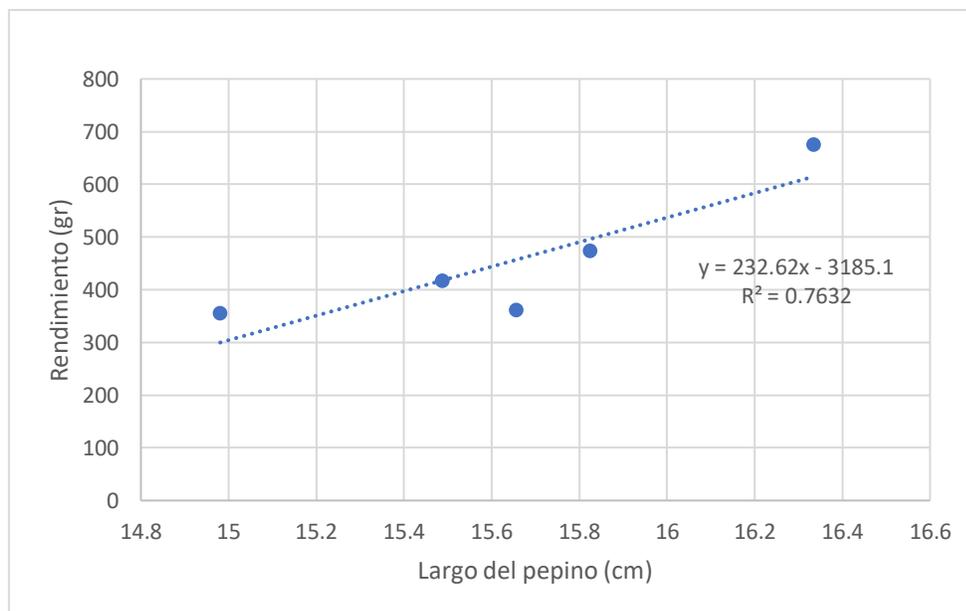


Figura 17. Correlación entre las variables de rendimiento y largo del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Variables de calidad de fruto

Diámetro del pepino

En el diámetro del pepino se registro diferencia significativa (Tukey $P \leq 0.05$) entre el tratamiento E 1000 (5.43 cm) con el tratamiento E 250 (4.85 cm), entre los demás tratamientos no hubo diferencias significativas entre ellos (figura 15), los resultados indican que la mayor dosis de *Bacillus toyonensis* aplicada a través de los efluentes del cultivo de tilapia, promueve el diámetro del fruto. En estudios sin aplicación de bacterias se han registrado resultados con valores entre 2.08 a 3.78 cm en el cultivo de pepino (Marcano *et al.*, 2012). En el cultivo del melón hidropónico, se utilizaron 4 diferentes cepas de *Bacillus* (BEB-23, LAL-36, BEB-22, BEB 13) registrando diferencias significativas en el diámetro con la cepa LAL-36 dando 17.20 cm y 15.83 cm con el grupo control (Abraham-Juárez *et al.*, 2018). Los valores de clasificación de calidad según el diametro son 5.5 cm para Primera, 5.0 cm para Segunda y 4.2 cm para Rechazo (Chacón-Padilla y Monge-Pérez, 2020) los resultados obtenidos en este trabajo clasificaron al pepino en una calidad de Primera al implementarse el *Bacillus toyonensis* en combinación

con los efluentes. En la figura 21 E y F podemos observar que el tratamiento E 1000 al cual se le aplicó el mayor contenido de *Bacillus toyonensis*, obtuvo el mayor diámetro en el fruto de pepino comparado con la dosis más baja de la bacteria.

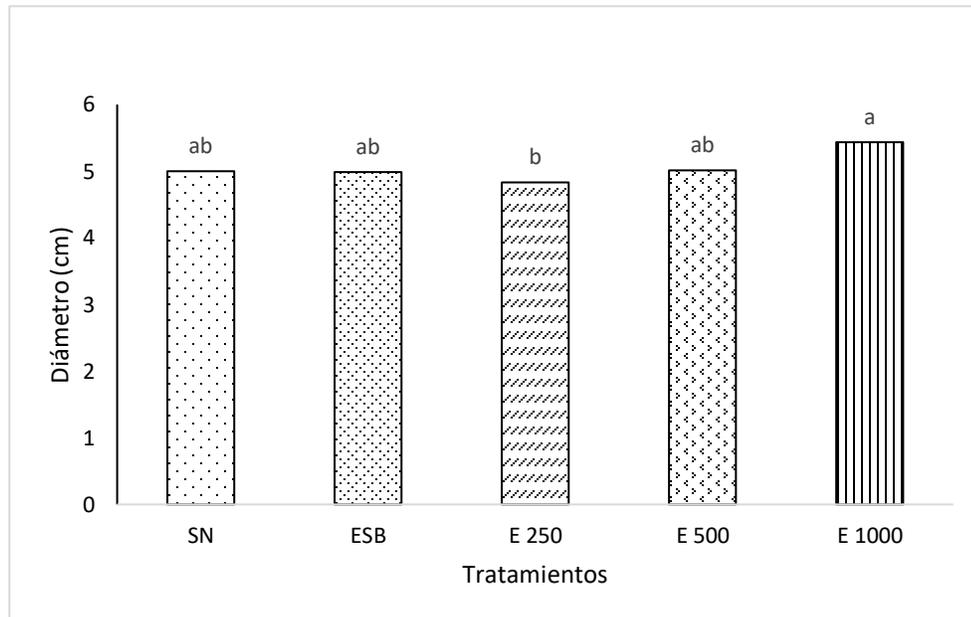


Figura 18. Diámetro del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Placenta del pepino

En la placenta del pepino existe una diferencia significativa (Tukey $P \leq 0.05$) entre el tratamiento E 1000 comparado con solución nutritiva y efluente sin bacteria *Bacillus toyonensis*, en el caso de E 250 y E 500 fueron estadísticamente iguales con los demás tratamientos (figura 16). El género *Bacillus* tiene función como bacteria promotora de crecimiento vegetal al mejorar la calidad del fruto de diferentes cultivos como maíz, arroz, trigo, soya y frijol (Pérez-Montaña *et al.*, 2014). En este caso del fruto de pepino podemos observar en la figura 21E y F que los tratamientos del efluente con *Bacillus toyonensis* presentaron mayor contenido de placenta. Dentro de la placenta del pepino se encuentra una gran cantidad de agua, vitamina A y C, antioxidantes, betacarotenos, flavonoides, ácido cafeico (Aponte y Benavides, 2018).

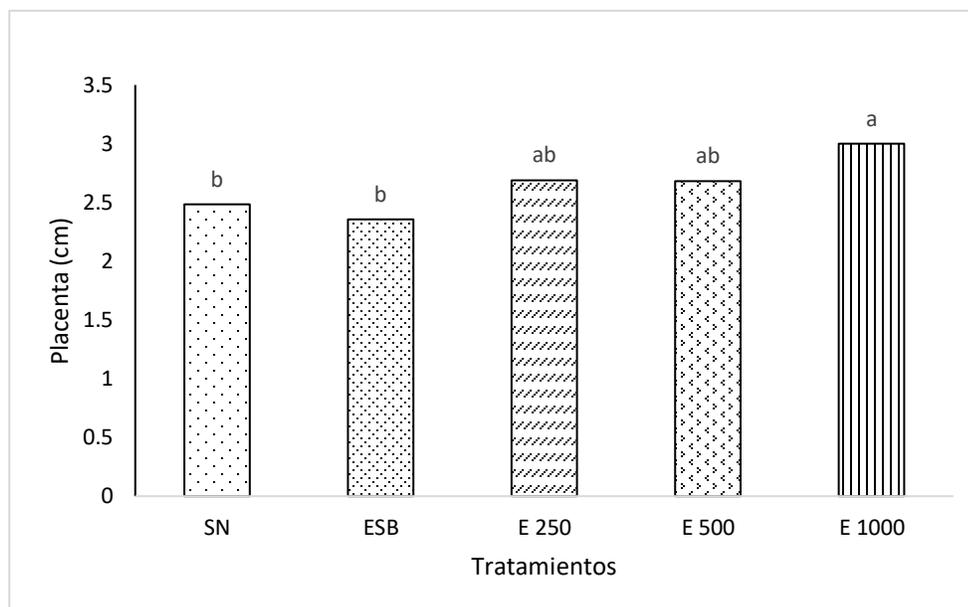


Figura 19. Placenta del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Endocarpo del pepino

En el endocarpo del pepino hubo diferencia significativa (Tukey $P \leq 0.05$), el tratamiento ESB con E250 fue el que menos endocarpo presentaba en el fruto de pepino comparado con los demás tratamientos y entre ellos no registraron diferencia significativa (figura 17). El endocarpo es la pared interna, la cual puede ser carnosa, apergaminada o esclerificada formando una capa dura la cual sirve para proteger la semilla y su principal contenido es agua (Dome, 2021).

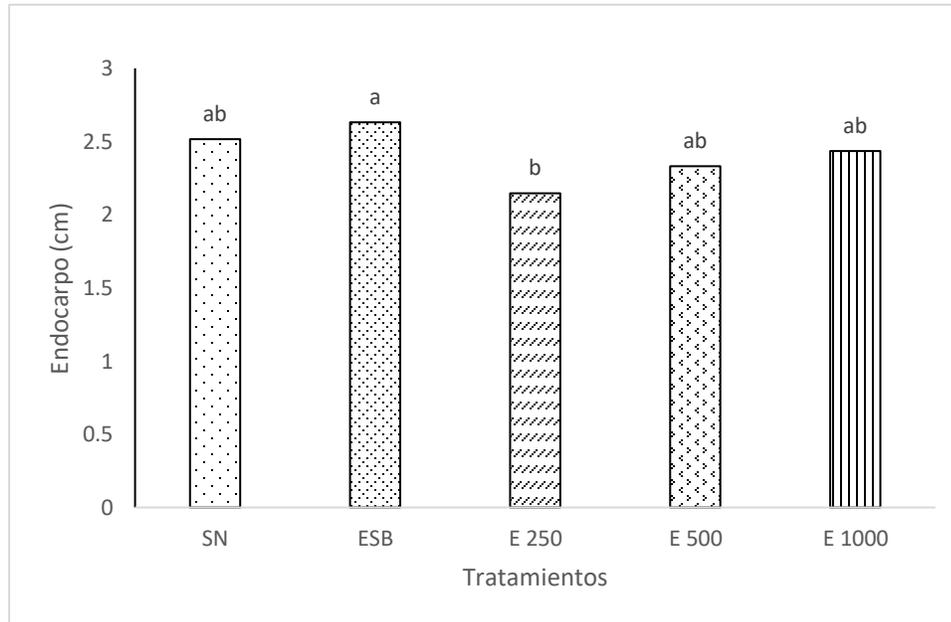


Figura 20. Endocarpo del pepino, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

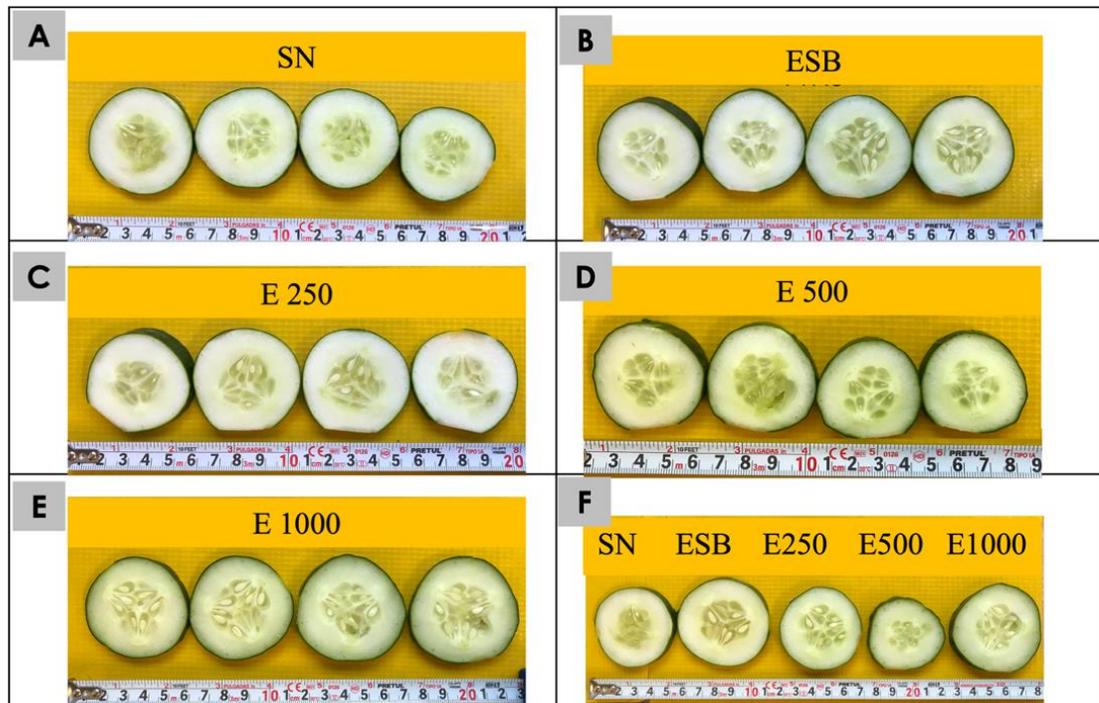


Figura 21. A) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento SN, B) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento ESB, C) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento E 250, D) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento E 500, E) Diámetro y placenta del pepino en el tratamiento E 1000, F) Comparación del diámetro y placenta del pepino en los diferentes tratamientos, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego.

Grados Brix

En los grados Brix en pepino se registro diferencia significativa (Tukey $P \leq 0.05$) entre el tratamiento ESB (2.137) con el tratamiento E250 (1.003), y no se registro diferencia significativa entre los demás tratamientos (figura 19). En el cultivo de pepino hidropónico a diferentes concentraciones de solución nutritiva, no se registraron diferencias significativas en los grados brix, así como en la acidez total del pepino reportando valores entre 3.30 a 4.07 (Barraza-Álvarez, 2015). El pepino al ser un fruto no climatérico no alcanza valores altos en los grados brix después de cosecha (Muy *et al.*, 2004). Los valores de calidad establecidos son 3.47 para Primera, 3.55 para Segunda y 3.81 para Rechazo (Chacón-Padilla y Monge-Pérez, 2020). Los valores registrados en este trabajo estuvieron por debajo de los rangos de calidad.

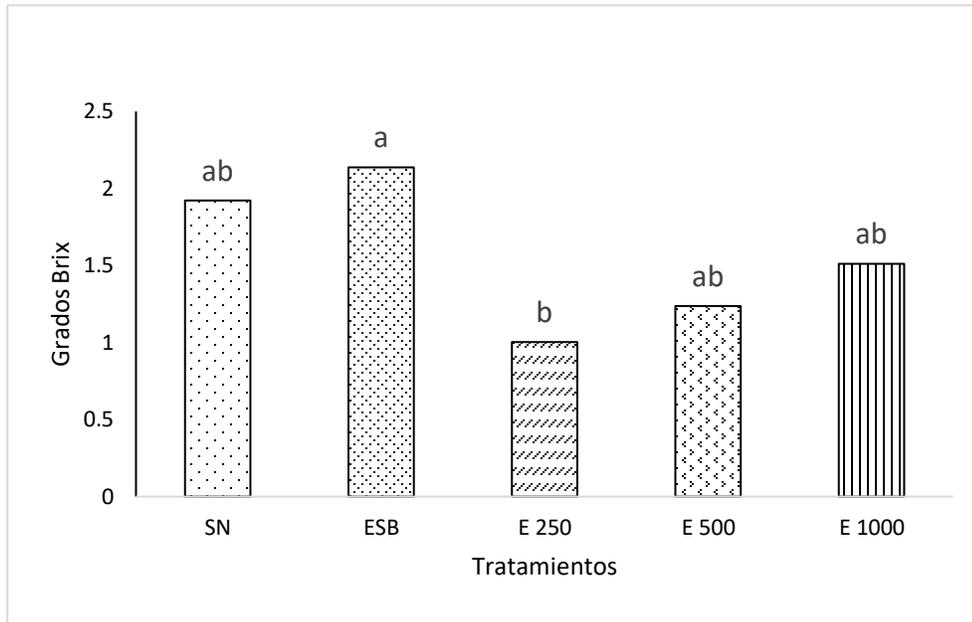


Figura 22. Grados brix, en el desarrollo de planta de pepino en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Firmeza del fruto

No hubo diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) en relación a la firmeza del fruto entre los diferentes tratamientos tomados en diferentes puntos del fruto como fue base, medio y punta (Cuadro 6). En el cultivo de pepino se encontraron diferencias significativas al aumentar la dosis de solución nutritiva Steiner a 175% registrando valores de 57.03 a 65.7 newtons en la firmeza del fruto (Barraza-Álvarez, 2015). A pesar de no registrar diferencias significativas en los diferentes puntos tomados, los valores registrados se encuentran dentro del rango en 31.7 a 42.7 newtons.

Cuadro 6. Firmeza del fruto (lb) de pepino tomado en tres diferentes puntos, en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el riego.

Tratamiento	Firmeza		
	Base	Medio	Punta
SN	7.709 a	9.431 a	7.835 a
ESB	8.050 a	9.369 a	9.094 a
E 250	8.344 a	8.250 a	8.819 a
E 500	7.675 a	7.781 a	8.400 a
E 1000	6.920 a	9.625 a	6.931 a
CV	34.4	25.34	35.75
DMS	3.82	3.23	4.22

Medias con letras iguales en las columnas dentro de cada factor de variación no son estadísticamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$).

Variables de crecimiento en el sistema acuícola

Ganancia de peso en Tilapia

En la ganancia de peso de las tilapias, no hubo diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) en relación a las diferentes dosis suministradas en el alimento de *Bacillus toyonensis* en los distintos tratamientos. En el cultivo de *Pangasius hypophthalmus* (pez gato) hubo diferencias significativas en la ganancia de peso en la dieta adicionada con el probiótico *Bacillus laterosporus* en comparación con la dieta adicionada con *Bacillus sp.* (Gobi *et al.*, 2016). En el desarrollo de Tilapias a 25°C y 21°C, no existió diferencia significativa entre los tratamientos en el peso de los peces (Kaneshima *et al.*, 2022). Dentro de un sistema acuaponico, en el cultivo de axolote no hubo diferencias significativas en la ganancia de peso con la aplicación del probiótico *Bacillus subtilis* (28.55 g) y el grupo control (22.60 g) (Huitztl-López *et al.*, 2018).

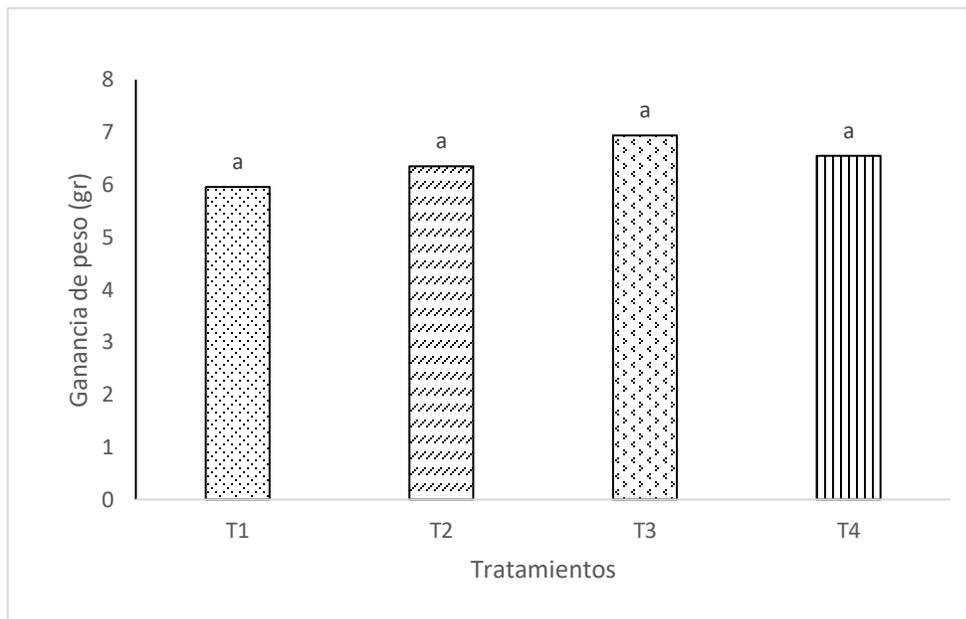


Figura 23. Ganancia de peso, en el desarrollo de Tilapia de Nilo en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el alimento. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).

Largo de la Tilapia

En el largo de las tilapias, no hubo diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) en relación a las diferentes dosis suministradas en el alimento de *Bacillus toyonensis* en los distintos tratamientos. En el cultivo de tilapia a 25°C y 21°C, no existió diferencia significativa en el crecimiento y longitud de los peces (Kaneshima *et al.*, 2022). En el cultivo de axolote dentro de un sistema acuaponico, se mostró diferencias significativas en la longitud total con la aplicación del probiótico *Bacillus subtilis* (98.75 mm) y el grupo control (102.44 mm) (Huitztl-López *et al.*, 2018).

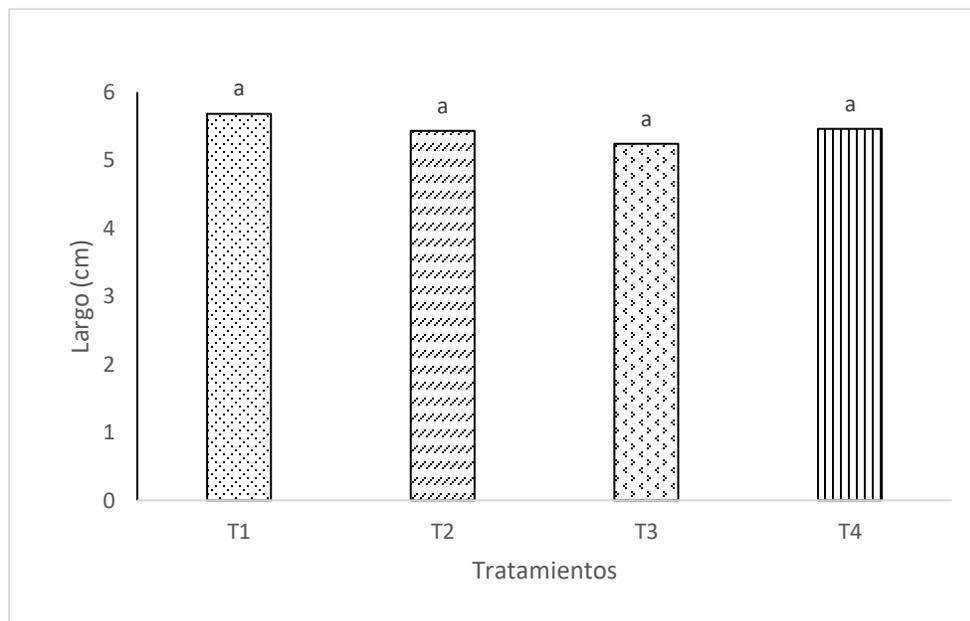


Figura 24. Largo del pez, en el desarrollo de Tilapia de Nilo en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el alimento. Medias con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey $P \leq 0.05$).



Figura 25. Biometría en el desarrollo de Tilapia de Nilo en respuesta al efecto de la presencia de *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis suministradas en el alimento.

CONCLUSIÓN

En cuanto a la hipótesis planteada se rechaza que el uso de efluentes provenientes del cultivo de Tilapia alimentadas con *Bacillus toyonensis* como probiótico, influye en el crecimiento y rendimiento del cultivo de Pepino (*Cucumis sativus*) dentro de un sistema acuapónico. En el crecimiento de planta de pepino en respuesta al efecto del riego con efluentes de tilapia alimentada con *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis, no tuvo un efecto significativo sobre las variables número de hojas, altura de la planta, área foliar, peso seco, unidades SPAD, nitrato, potasio y sodio del extracto celular de peciolo. En el rendimiento de planta de pepino en respuesta al efecto del riego con efluentes de tilapia alimentada con *Bacillus toyonensis* en diferentes dosis, no tuvo un efecto significativo sobre las variables largo, peso, diámetro, endocarpio, grados brix, firmeza del fruto y rendimiento. El tratamiento con el efluente con la dosis de *Bacillus toyonensis* 500 kg/ton de alimento influyó de manera significativa en el índice de vegetación de diferencia normalizada, esto indica que ayudo a disminuir el efecto del estrés en las plantas. Los tratamientos con efluente con 250 y 1000 kg/ton aumentaron el contenido de calcio en el extracto celular de peciolo. La aplicación del tratamiento el cual contenía el efluente con 1000 kg/ton de alimento de *Bacillus toyonensis* aumento el contenido de placenta en el fruto del pepino, lo cual puede ser benéfico ya que esto podría aumentar las vitaminas, flavonoides y antioxidantes. En el sistema acuícola la aplicación de diferentes dosis de *Bacillus toyonensis* en el alimento de la tilapia, no influyó de manera significativa sobre las variables de ganancia de peso y largo de la tilapia durante la duración del experimento.

LITERATURA CITADA

- Abraham-Juárez, M.R., Espitia-Vázquez, I., Guzmán-Mendoza, R., Olalde-Portugal, V., Ruiz-Aguilar, G.M.D.L., García-Hernández, J.L., Herrera-Isidró, L. y Núñez-Palenius, H.G. 2018. Development, Yield, and quality of Melon fruit (*Cucumis Melo L.*) inoculated with Mexican native strains of *Bacillus Subtilis* (Ehrenberg). *Agrociencia*. 52(1): 91–102. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952018000100091&lng=es&tlng=en.
- Alonso, L.A., López, C.C.J., Barois, B. I., Palafox, C.A. y Quiñones, M.E. 2017. Evaluación de lombricomposta y tezontle en jitomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) bajo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5):967–975. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.591>
- Alvares, D.S.A., Da Silva, D.N., Dantas, J.G., Costa, R.T., Dantas, F.P., Ferreira, N.M., Dantas, dM.P.L., Pereira, D.P, E., do Santos, F.C. y Silva, S.F.V. 2022. Fertigation with fish farming effluent at the adequate phenological stages improves physiological responses, production and quality of cherry tomato fruit. *International Journal of Phytoremediation*, 24(3): 283–292. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1935444>
- Alvarez-Torres, P., Soto, F., Aviles, Q.S., Díaz, L.C., y Treviño, C.L.M. 2019. Panorama de la investigación y su repercusión sobre la producción acuícola en México. *Avances en Nutrición Acuicola*. <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/321>
- Aponte, A. y Benavides, B.Y. 2018. Evaluación de los residuos orgánicos del exocarpio de pepino cohombro (*Cucumis sativus*) y del mesocarpio de granadilla (*Passiflora ligularis*) como alternativa de materia prima para la obtención de pectinas. Ed. Universidad Nacional Abierta y a Distancia Zona Centro Bogotá.
- Armenta-Bojórquez, A.D., Valenzuela-Castañeda, A.R., Fitzsimmons, K., López-Alvarez, E.S., Rodríguez-Quiroz, G. y Valenzuela-Quiñónez, W. 2021. Pacific white shrimp and tomato production using water effluents and salinity-tolerant grafted plants in an integrated aquaponic production system. *Journal of Cleaner Production*. 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124064>
- Bailey, D. y Nandwani, D. 2013. Producción de pepino (*Cucumis sativus*) en el sistema acuaponico uvi. *Proceedings of the Caribbean Food Crops Society*. 49:134–137. <https://ageconsearch.umn.edu/record/253446>
- Bailey, D.S. y Ferrarezi, R.S. 2017. Valuation of vegetable crops produced in the UVI Commercial Aquaponic System. *Aquaculture Reports*. 7:77–82. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.06.002>
- Barraza-Álvarez, F.V. 2015. Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 9(1): 60. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3746>

- Bastida, A. 1999. El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para hidroponía y producción de plantas ornamentales. AGRIBOT No. 4. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Preparatoria Agrícola, Chapingo, Mex. 72 p.
- Beltrano, J. y Giménez, D.O. 2015. Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad de Plata.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Benavides, M.A., García, C.J.L., Rodríguez, M.M.N. y Chávez, R.S.M. 2013. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en el cultivo de melón (*Cucumis melo*). Interciencia. 38(12): 857–862.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33929617006>
- Benavides-Mendoza, A., de Alba-Romenus, K., Francisco-Francisco, N. 2021. Relation between soil solution composition and petiole cellular extract of crops in western Mexico. Revista Terra Latinoamericana. 39:1-13.
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.873>
- Cabanzo-Atilano, I., Rodríguez-Mendoza, M.N., García-Cué, J.L, Almaraz-Suárez, J.J. y Gutiérrez-Castorena, M.C. 2020. La biofertilización y nutrición en el desarrollo de plántulas de chile serrano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 11(4):699-712. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2121>.
- Calderón-García, D.M., Olivas-García, J.M., Luján-Álvarez, C., Ríos-Villagómez, S.H. y Hernández-Salas, J. 2019. Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México. Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes. 27(77): 5–11. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2019772086>
- Castañeda, G.C. 2018. Probiotics: an update. Revista Cubana de Pediatría. 90(2). <http://www.revpediatria.sld.cu/index.php/ped/article/view/500/195>
- Castellanos, R.J.Z., Alcántar, G.G., Tijerina, C.L., Vargas, Tapia.P., Ojodeagua, A.J.L., Muñoz, R.J.J. y Enríquez, R.S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. Revista Fitotecnia Mexicana. 31(4): 367–374. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61031409>
- Chacón-Padilla, K. y Monge-Pérez, J. E. 2020. Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: comparación entre tipos de pepino. Revista Tecnología en Marcha. 33(1): 17-35. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5018>
- Church, D. y Pond. W. 1982. Basic animal nutrition and feeding. Ed. John Wiley and Sons.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). 2018. Comunicado. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuacultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). 2020. Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2020. https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2020/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2020.pdf

- Corrales, R.C.L., Caycedo, L.L., Gómez, M.M.A., Ramos, R.S.J. y Rodríguez, T.J.N. 2017. *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. Nova (online).15(27): 46-65. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-24702017000100046&lng=en&nrm=iso&tlng=es#:~:text=El%20g%C3%A9nero%20Bacillus%20es%20secretor,fijaci%C3%B3n%20de%20nitr%C3%B3geno%20cuando%20hace
- Díaz-Méndez, H.A., Preciado-Rangel, P., Sánchez, C.E., Esparza, R. J.R., Fortis, H.M., y Álvarez-Reyna, V.DP. 2018. El potasio en la calidad nutraceutica de frutos de pepino hidropónico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 20: 4245-4250 <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.994>
- Diver, S. 2006. Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture. ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service. <https://attra.ncat.org/>
- Dome, J. 2021. Biología Aplicada a la Producción Vegetal. Curso online. <https://sra.campusinstituto.com.ar/course/view.php?id=653>
- Eknath, A.E. y Hulata, G. 2009. Use and exchange of genetic resources of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Reviews in Aquaculture. 1(3):197–213. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2009.01017.x>
- Florez-Jalixto, M., Roldán-Acero, D., Omote-Sibina, J.R. y Molleda-Ordoñez, A. 2021. Biofertilizers and biostimulants for agricultural and aquaculture use: Bioprocesses applied to organic by-products of the fishing industry. Scientia Agropecuaria. 12(4): 635–651. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.067>
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2009. Cultured aquatic species fact sheets. https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletilapia.htm
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2014. Pesca y Acuicultura. <https://www.fao.org/fishery/es/aquaculture>
- Gobi, N., Malaikozhundan, B., Sekar, V., Shanthi, S., Vaseeharan, B., Jayakumar, R. y Khudus, N.A. 2016. GFP tagged *Vibrio parahaemolyticus* Dahv2 infection and the protective effects of the probiotic *Bacillus licheniformis* Dahb1 on the growth, immune and antioxidant responses in *Pangasius hypophthalmus*. Fish and Shellfish Immunology. 52:230–238. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.03.006>
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, H. y Thorarinsdottir, R. 2015. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. Sustainability. 7(4): 4199–4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Gutiérrez, R.L.A., Montoya, O.I. y Zea, V.J.M. 2013. Probióticos: una alternativa de producción limpia y de reemplazo a los antibióticos promotores de crecimiento en la alimentación animal. Producción + limpia. 8(1):135-146. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v8n1/v8n1a10.pdf>

- Heise, J., Müller, H., Probst, A.J. y Meckenstock, R.U. 2021. Ammonium Removal in Aquaponics Indicates Participation of Comammox *Nitrospira*. *Current Microbiology*. 78(3): 894–903. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02358-3>
- Hong, H.A., Duc, L.H. y Cutting, S.M. 2005. The use of bacterial spore formers as probiotics: Table 1. *FEMS Microbiology Reviews*. 29(4): 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2004.12.001>
- Huitztl-López, M.G., Monroy-Dosta, M.DC., Castro Mejía, J., Vázquez Silva, G. y Chavez, S.E.M. 2018. Evaluación del crecimiento de *Ambystoma mexicanum* y *Ocimum basilicum* con la aplicación del probiótico *Bacillus subtilis* en sistema acuapónico. *International Journal of Aquatic Science*. 9(2): 93–98. https://www.researchgate.net/publication/329427949_Growth_evaluation_of_Ambystoma_mexicanum_and_Ocimum_basilicum_with_application_of_Bacillus_subtilis_probiotic_in_aquaponic_system
- Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). 2018. Acuacultura Tilapia. *Diario Oficial*. 66-69 pp. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-tilapia>
- Jabardo, P.V. y Padilla, S.L.S. 2016. La escasez de agua en la Huasteca Potosina (México): conflictos locales. *Revista Universitaria de Geografía*. 25(2): 133–165. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383249118006>
- Jiménez, G., Urdiain, M., Cifuentes, A., López-López, A., Blanch, A.R., Tamames, J., Kämpfer, P., Kolstø, A.-B., Ramón, D., Martínez, J.F., Codoñer, F.M. y Rosselló-Móra, R. 2013. Description of *Bacillus toyonensis* sp. nov., a novel species of the *Bacillus cereus* group, and pairwise genome comparisons of the species of the group by means of ANI calculations. *Systematic and Applied Microbiology*. 36(6): 383–391. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2013.04.008>
- Kaneshima, G.K., de La Cruz, B.K.N., Ponciano, Q.M.Á., Toledo, M.N. y Culquichicón, M.Z.G. 2022. Effect of temperature on the growth of Juveniles of *Oreochromis niloticus* tilapia in an aquaculture exchange system (RAS). *Manglar*. 19(1):39–44. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.005>
- Kasozi, N., Kaiser, H. y Wilhelmi, B. 2021. Effect of *Bacillus* spp. on Lettuce Growth and Root Associated Bacterial Community in a Small-Scale Aquaponics System. *Agronomy*. 11(5): 947-967. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050947>
- Khater, E.-S.G., Bahnasawy, A.H., Shams, A.E.-H.S., Hassaan, M.S. y Hassan, Y.A. 2015. Utilization of effluent fish farms in tomato cultivation. *Ecological Engineering*. 83: 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.06.010>
- Klein, G. 2011. Molecular Characterization of the Probiotic Strain *Bacillus cereus* var. *toyoi* NCIMB 40112 and Differentiation from Food Poisoning Strains. *Journal of Food Protection*. 74(7): 1189–1193. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-574>
- König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M. y Junge, R. 2018. Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production*. 180: 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>

- Kumar, D., Agarwal, M. y Dheeman, S. 2014. Trends and Prospects of Microbial Diversity in Rhizosphere. In *Bacterial Diversity in Sustainable Agriculture. Sustainable Development and Biodiversity*. 1:1-22. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05936-5_1
- Majid, M., Khan, J.N., Ahmad, S.Q.M., Masoodi, K.Z., Afroza, B., Parvaze, S. 2021. Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa L., var. Longifolia*) and comparison with protected soil-based cultivation. *Agricultural Water Management*. 245. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106572>
- Marcano, C., Acevedo, I., Contreras, J., Jiménez, O., Escalona, A. y Pérez, P. 2012. Crop growth and development of cucumber (*Cucumis sativus L.*) in Humocaro bajo, Lara State, Venezuela. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(8): 1629-1636. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000800012&lng=es&tlng=es.
- Martínez, G.Á., Gavi, R.F., Leyva, R.G., Sánchez, G.P., Valenzuela, U.J.G. y Alcántar, G.G. 2005. Contenido de nitratos en extractos celulares de pecíolos y frutos de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28(2): 145–150. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028208>
- Meza, K., Ruales, B., Maiguashca, J. y Rivadeneira, G.J.L. 2020. Spectral characterization of water stress in the crop of sweet cucumber (*Solanum muricatum*). *Revista Geospacial*. 17(1): 14–24. <https://www.researchgate.net/publication/342881091>
- Muy, R.D., Siller, C. J., Díaz, P.J. y Torres, V.B. 2004. Effect of storage conditions and waxing on water status and postharvest quality of cucumber. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(2):157-165. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027206>
- Nelson, R.L. 2004. Fast growing, hardy and tasty. *Aquaponics Journal*. 35: 16–17.
- Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M. y Sahin, F. 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientia Horticulturae*. 111(1): 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.09.002>
- Ortega-Torres, A.E., Flores, T.L.B., Guevara-González, R.G., Rico-García, E. y Soto-Zarazúa, G.M. 2020. Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(6): 1447–1455. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2222>
- Palm, H., Seidemann, R., Wehofsky, S. y Knaus, U. 2014. Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part I: System design, chemo-physical parameters and general aspects. *AACL Bioflux*. 7(1):20–32. <http://www.bioflux.com.ro/aac1>
- Pastor, J. N. (1999). Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana*. 17(3): 231–235. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317307>
- Pérez, R.P., Trujillo, Z.G., Concepción, E. y Borroto, D. 2003. Efectividad de hongos entomopatógenos y *Bacillus thuringiensis* sobre *Thrips palmi karny* en el

- cultivo del pepino. *Fitosanidad*. 7(4): 13–18.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209118173003>
- Pérez-Montaña, F., Alías-Villegas, C., Bellogín, R.A., del Cerro, P., Espuny, M.R., Jiménez-Guerrero, I., López-Baena, F.J., Ollero, F.J. y Cubo, T. 2014. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: From microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research*. 169(5–6): 325–336. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.011>
- Pinho, S.M., de Mello, G.L., Fitzsimmons, K.M. y Emerenciano, M.G.C. 2018. Integrated production of fish (pacu *Piaractus mesopotamicus* and red tilapia *Oreochromis* sp.) with two varieties of garnish (scallion and parsley) in aquaponics system. *Aquaculture International*. 26(1): 99–112. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0198-y>
- Rakocy, J.E. y McGinty, A.S. 1989. Pond Culture of Tilapia. Southern Regional Aquaculture Center. 280(1). <https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/166861/2408/Leaf2408.pdf?sequence=4>
- Rasko, D.A., Altherr, M.R., Han, C.S. y Ravel, J. 2005. Genomics of the *Bacillus cereus* group of organisms *FEMS Microbiology Reviews*. 29(2): 303–329.
- Rojas-Badía, M.M., Bello-González, M.A., Ríos-Rocafull, Y., Lugo-Moya, D. y Rodríguez, S.J. 2020. Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales. *Acta Agronómica*. 69(1): 54–60. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79606>
- Rojas-Solis, D., Vences-Guzmán, M.Á., Sohlenkamp, C. y Santoyo, G. 2020. Antifungal and Plant Growth-Promoting *Bacillus* under Saline Stress Modify their Membrane Composition. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 20(3): 1549–1559. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00246-6>
- Romagosa, E., Bernardoni, N.I., Tavares, R-P.M. J., Tachibana, L., Pieroni, I.M.K. y de Carla, D.D. 2013. Growth performance and intestinal histomorphology of Nile tilapia juveniles fed probiotics. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 35(4): 365–370. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303128707004>
- Sánchez, DC.F. y Escalante, R.E.R. 1988. Hidroponía. Ed. Universidad Autonoma de Chapingo.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Panorama agroalimentario 2020. México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 110-173 pp. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020
- Sobrino, I.E. y Sobrino, V.E. 1989. Tratado de Horticultura Herbácea. Ed. Aedos. 3:1-352.
- Solano-Alvarez, N., Valencia-Hernández, J.A., Rico-García, E., Torres-Pacheco, I., Ocampo-Velázquez, R.V., Escamilla-Silva, E.M., Romero-García, A.L., Alpuche-Solís, Á. G. y Guevara-González, R.G. 2021. A Novel Isolate of

Bacillus cereus Promotes Growth in Tomato and Inhibits *Clavibacter michiganensis* infection under Greenhouse Conditions. *Plants*. 10(3): 506-518. <https://doi.org/10.3390/plants10030506>

- Tejera-Hernández, B., Rojas-Badía, M.M. y Heydrich-Pérez, M. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. 42(3): 131–138. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181222321004>
- Trejo-Téllez, L.I., Ramírez-Martínez, M., Gómez-Merino, F.C., García-Albarado, J.C., Baca-Castillo, G.A. y Tejeda-Sartorius, O. 2013. Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5: 863–876. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263128352001>
- Walsh, P. 1998. Nitrogen excretion and metabolism. *The physiology of fishes*. Ed. CRC Press. 9: 199-214 pp.
- Williams, L.D., Burdock, G.A., Jiménez, G. y Castillo, M. 2009. Literature review on the safety of Toyocerin®, a non-toxicogenic and non-pathogenic *Bacillus cereus* var. *toyoi* preparation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 55(2): 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2009.07.009>
- Yep, B. y Zheng, Y. 2019. Aquaponic trends and challenges- A review. *Journal of Cleaner Production*. 228: 1586–1599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>
- Yuji, T.C., Bayer, W.M., Pletsch S.V.M.M., de Moura, M.C. y Garcia, M.N. 2014. Probiótico dietético em sistemas de produção de tilápia do Nilo: efeitos sobre o crescimento, balanço de N e P, retenção de nutrientes e viabilidade econômica. *Semina: Ciências Agrárias*. 35(1): 477–489. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744139036>