



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TESIS

CON EL TEMA:

“Evaluación del efecto de complejos microbianos en el manejo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en sustrato bajo invernadero”

QUE PRESENTAN:

**KARLA GUADALUPE GONZALEZ ESTRADA
VICTOR AZAEL GONZALEZ DIAZ**

ASESORA

DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ RAMIREZ

REVISORES

**MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA
MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIEROS EN AGRONOMÍA

TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO. MARZO, 2026.



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Tlajomulco
Dirección
Subdirección Académica

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 16/Febrero/2026

No. DE OFICIO: D.SA/DEP/288/2026

ASUNTO: Autorización de impresión definitiva y digitalización.

C. KARLA GUADALUPE GONZALEZ ESTRADA
C. VICTOR AZAEL GONZALEZ DIAZ
PASANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
P R E S E N T E

Dado que el Comité dictaminó como **APROBADA** su TITULACIÓN INTEGRAL: OPCIÓN I (TESIS), con el tema "**Evaluación del efecto de complejos microbianos en el manejo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en sustrato bajo invernadero**" y determinó que dan cumplimiento con los requisitos establecidos, se les notifica que tienen la autorización para su impresión definitiva y digitalización.

Sin otro particular quedo de usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®

C. MARÍA ISABEL BECERRA RODRÍGUEZ
DIRECTORA DEL PLANTEL



Jongalix

ux Glez .D

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio
C.c.p.- ~~X~~ Minutario. -
MIBR/IGL/ATR/mjhc*



2026
año de
Margarita
Maza



KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández Gómez C.P.45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal.
Tel. 33 29 02 11 30 e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx



Educación
Secretaría de Educación Pública



Instituto Tecnológico de Tlajomulco
Dirección
Subdirección Académica
Departamento de Ciencias Agropecuarias

Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 14/Febrero/2026
No. DE OFICIO: D.SA/DCA/095/2026

ASUNTO: Liberación de proyecto para la titulación integral.

ME. ANDREA TORRES RICO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	VICTOR AZAEL GONZALEZ DIAZ
NO. DE CONTROL:	21940170
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
NOMBRE DEL PROYECTO:	"Evaluación del efecto de complejos microbianos en el manejo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en sustrato bajo invernadero"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®



Diana Rivera
DRA. DIANA MARIA RIVERA RODRIGUEZ
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO
DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

<i>[Firma]</i> DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ RAMIREZ Nombre y firma del asesor	<i>[Firma]</i> MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA Nombre y firma del revisor	<i>[Firma]</i> MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO Nombre y firma del revisor
---	---	---

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio
C.c.p.- Minutario. -
DMRR/mjhc*



2026
año de
Margarita Maza



KM. 10 carretera a San Miguel Cuyutlán, Cto. Vicente Fernández Gómez C.P.45640 Tlajomulco de Zúñiga, Jal.
Tel. 33 29 02 11 30 e-mail: plan_tlajomulco@tecnm.mx www.tlajomulco.tecnm.mx



Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, 14/Febrero/2026
No. DE OFICIO: D.SA/DCA/094/2026

ASUNTO: Liberación de proyecto para
la titulación integral.

ME. ANDREA TORRES RICO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE Y/O EGRESADO:	KARLA GUADALUPE GONZALEZ ESTRADA
NO. DE CONTROL:	21940172
PRODUCTO:	OPCIÓN I (TESIS)
CARRERA:	INGENIERÍA EN AGRONOMÍA
NOMBRE DEL PROYECTO:	"Evaluación del efecto de complejos microbianos en el manejo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en sustrato bajo invernadero"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Educando para la sociedad Actual y los Retos del futuro®



Diana Rivera
DRA. DIANA MARIA RIVERA RODRIGUEZ
RESPONSABLE DEL DEPARTAMENTO
DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

<i>[Firma]</i> DRA. MARIA DE JESUS RAMIREZ Nombre y firma del asesor	<i>[Firma]</i> MC. JORGE ARMANDO PERALTA NAVA Nombre y firma del revisor	<i>[Firma]</i> MC. OSVALDO AMADOR CAMACHO Nombre y firma del revisor
---	---	---

C.c.p.- Coordinación Titulación. - Edificio
C.c.p.- Minutario. -



2026
año de
Margarita Maza



Índice

Dedicatoria	7
Agradecimientos	9
Resumen.....	11
Abstrac.....	12
1. Introducción	13
2.Objetivos	15
2.1 Objetivo General	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. Hipótesis	16
4. Antecedentes	17
4.1 Biofertilizantes	17
4.2 Producción de pepino en invernadero	19
5. Materiales y Métodos	21
5.1. Preparación del Invernadero y Material Vegetal	21
5.2. Germinación y Trasplante	21
5.3. Aplicaciones de productos en fases iniciales del cultivo	22
5.4. Adecuación del Invernadero y preparación del consorcio microbiano en zeolita.....	22
5.5. Control y Bioestimulación.....	23
5.6. Tutorado y Aplicaciones Foliares	24
5.7. Poda y Desarrollo del Cultivo	24
5.8. Nutrición	25
5.9. Análisis de drenaje y aplicaciones como control de plagas.....	26
5.10. Medición de variables respuesta	27
5.10.1 Número de frutos por planta.....	27
5.10.2 Peso de frutos (g).....	27
5.10.3 Potencial de Hidrógeno (pH)	27

5.10.4 Conductividad Eléctrica (CE)	27
5.11 Cosechas y Aplicaciones Finales	28
5.12 Análisis de datos	30
6. Resultados y Discusiones	31
6.1. Producción de fruto	31
.....	33
6.2. Peso de frutos	34
6.3. Variable pH	37
6.4. Variable C.E.	40
7. Conclusiones	43
8. Literatura citada	44
9. Anexos	47
.....	59

Índice Tablas

Tabla 1 Tratamientos y dosis	23
Tabla 2 Acomodo de los tratamientos en cada bloque.....	24
Tabla 3 Solución nutritiva para 1.5 CE	25
Tabla 4. Solución nutritiva para 2.0 CE	26
Tabla 5. Cosechas totales obtenidas	29
Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) de los frutos	31
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) del peso de los frutos por tratamiento.....	34
Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) de pH por tratamiento	37
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) de C.E. por tratamiento.....	40

Índice Gráficos

Grafica 1 Prueba de Tukey de los frutos por tratamientos	32
Grafica 2. Distribución de los frutos por tratamientos	32
Grafica 3. Interacción de los frutos por tratamientos	33
Grafica 4. Prueba de Tukey del peso de los frutos por tratamiento	35
Grafica 5. Distribución del peso de los frutos por tratamientos	35
Grafica 6. Interacción del peso de los frutos por tratamiento	36
Grafica 7. Prueba de Tukey del pH por tratamiento	38
Grafica 8. Distribución de PH por tratamientos	38
Grafica 9. Prueba de Tukey de C.E. por tratamiento	41
Grafica 10. Distribución de C.E. por tratamientos	41

Índice Anexos

Anexo 1. Obtención de slabs.....	47
Anexo 2. Semillas de pepino partenocárpico	47
Anexo 3. Procedimiento de germinación de las semillas	48
Anexo 4. Plantas germinadas listas para trasplante.....	48
Anexo 5. Raíz de la planta	49
Anexo 6. Trasplante	49
Anexo 7. Aplicación de Zeolita para mejorar la retención de humedad.....	50
Anexo 8. Medición de la línea de riego	50
Anexo 9. Instalación de los goteros por planta.....	51
Anexo 10. Espinela y Delfan plus.....	51
Anexo 11. Instalación del plástico en el invernadero.....	52
Anexo 12. Instalación de la base del tutorado con alambre	52
Anexo 13. Elaboración del bioestimulante de la Zeolita potásica.....	53
Anexo 14. Aplicación para el control de mosquita blanca	54
Anexo 15. Trichoderma, Muralla Max, Espinela y Delfan Plus.....	54
Anexo 16. Primera aplicación de Zeolita potásica, Compostea y Bacillus subtilis.....	55
Anexo 17. Tutorado con rafia	55
Anexo 18. Aplicación foliar de silicio y algas marinas	56
Anexo 19. Primer deschuponado	56
Anexo 20. Aplicación de fertilizante.....	57
Anexo 21. Segundo deschuponado y corte de las primeras hojas.....	57
Anexo 22. Primeros brotes.....	58
Anexo 23. Desarrollo de los primeros frutos.....	58
Anexo 24. Preparación de la solución nutritiva.....	59
Anexo 25. Muestra de los drenes.....	59
Anexo 26. Aplicación foliar de Cronos.....	60
Anexo 27. Etiquetado de bolsas.....	60
Anexo 28. Primera cosecha de pepino.....	61
Anexo 29. Cosecha del tratamiento II	61
Anexo 30. Peso de la cosecha del tratamiento III	62

Anexo 31. Registro de cosecha.....	62
Anexo 32. Cosecha	63
Anexo 33. Aplicación de Muralla más y Espinela	64

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, por iluminar y poner en mi vida a las personas adecuadas en el momento indicado. Sin su amor incondicional y su presencia constante, este sueño no habría sido posible.

A mis padres, María de Jesús y Fernando, por ser mi pilar fundamental y mi mayor inspiración. Gracias por su esfuerzo infinito, por cada sacrificio hecho en silencio y por enseñarme que con perseverancia y humildad se alcanzan las metas. Este logro es tan mío como suyo. Los amo.

A mi hermana, por ser mi cómplice, mi confidente, gracias por tus palabras de aliento en los días grises y por celebrar conmigo cada pequeño avance como si fuera tuyo.

A mi novio, Azael, por tu amor paciente y tu apoyo incondicional, gracias por sostener mi mano en el estrés, por creer en mí cuando yo dudaba y por alegrar mis noches de desvelo con tu compañía. Este camino fue más fácil gracias a ti, este triunfo también es tuyo.

A mis padrinos, María y Salvador, por su cariño sincero y su guía constante, gracias por estar siempre presentes, por sus consejos sabios y por ser ese soporte incondicional en los momentos importantes de mi vida. Los llevo siempre en mi corazón.

A mi asesora, la Dra. María de Jesús Ramírez, mi más sincero agradecimiento por su incondicional dedicación y valiosa guía. Su paciencia y conocimiento fueron fundamentales en mi formación profesional, siempre motivándome a superar mis propios límites. Admiro y valoro profundamente su entrega y pasión por la enseñanza.

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Por iluminar mi mente en los momentos de duda y poner en mi vida a las personas adecuadas en el momento indicado. Sin su amor incondicional y su presencia constante, este sueño no habría sido posible.

A mis padres, Víctor y Nelly, por ser mi pilar fundamental y mi mayor inspiración. Gracias por su esfuerzo infinito, por cada sacrificio hecho en silencio y por enseñarme que con perseverancia y humildad se alcanzan las metas. Este logro es tan mío como suyo. Los amo.

A mi hermano, Allan, por ser mi compañero de vida y un ejemplo a seguir. Gracias por tus palabras de aliento, por tu apoyo incondicional y por estar siempre presente en los momentos importantes.

A mi novia, Karla por tu amor incondicional y tu paciencia infinita, gracias por caminar a mi lado durante todo este proceso, por motivarme a seguir adelante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Este triunfo también es tuyo.

A mi sobrino, Dylan, por llegar a mi vida a llenarla de luz y alegría. Que este logro sea un ejemplo de que con dedicación y esfuerzo los sueños se cumplen. Todo esto es también para ti, con la esperanza de que algún día sigas tus propios sueños con la misma pasión.

Y a mi asesora, la Dra. María de Jesús Ramírez, por su dedicación, paciencia y conocimiento. Gracias por compartir su sabiduría conmigo, por guiarme con tanta entrega y por retarme a dar siempre lo mejor de mí. Admiro profundamente su pasión por la enseñanza.

Agradecimientos

Dedico este Trabajo principalmente a Dios, por permitirme lograr este gran paso de realizar esta Investigación para mi Formación Profesional. A mis padres por brindarme su apoyo incondicional, por ser mi pilar más grande, demostrarme su cariño y brindarme su total confianza, creyendo en mí día a día desde pequeña para formar la persona profesional que ahora soy, siempre estaré eternamente agradecida con ustedes por darme todo, por cada uno de sus sacrificios, los amo. A mi hermana Fernanda por estar a mi lado apoyándome cuando necesitaba de su ayuda, por creer en mí y escucharme en cualquier momento, dándome su cariño y confianza, te amo hermana. A mi novio Azael por siempre estar a mi lado, por ser la persona que más confiaba en mí, por hacerme crecer y tener más confianza al realizar las cosas, hacerme crecer como persona y profesional, por siempre cuidar de mí y apoyarme en todo momento, te amo. A mis padrinos que amo con todo mi corazón y que siempre me han brindado todo su apoyo, su cariño y por creer en mí desde pequeña, dándome su confianza, sé que, aunque no está físicamente mi papa chava, siempre me acompañara en cada meta que cumpla. A mi tío Juan que, aunque no está físicamente, siempre lo llevo en mi corazón y darme su cariño desde pequeña, sé que está orgulloso de mí, por concluir mi formación profesional, lo quiero.

Quiero agradecer a mi asesora la Dra. María de Jesús Ramírez Ramírez, por brindarme su apoyo todos estos años de carrera, por apoyarme a culminar esta etapa tan importante para mí, gracias por brindándome de su valioso tiempo y conocimientos, más que nuestra asesora gracias por ser como una amiga para nosotros.

Quiero agradecer principalmente a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida y ayudarme a culminarla, también quiero agradecer a mis padres por darme la oportunidad de estudiar y el apoyo brindado durante estos años no solo de carrera universitaria si no a mi formación educativa y como persona quiero recalcar que gracias a ellos soy quien soy y como soy muchas gracias los amo, también quiero agradecer a mi hermano Allan por estar conmigo en este camino, a mi ahijado Dylan por ser ese espacio de juego y relajación cuando más lo necesitaba en momentos de estrés, también quiero agradecer a mi novia Karla por ayudarme y estar a mi lado por siempre darme ánimos y siempre ayudarme a superar obstáculos tanto de manera académica como de manera personal, te amo, también a mis profesores que más marcaron mi estancia en la carrera al profesor Peralta y al profesor Osvaldo, principalmente a la maestra y asesora la Dra. María de Jesús Ramírez Ramírez, la cual me ayudo durante varios semestres a mi formación y a mi titulación en la carrera muchas gracias.

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo general evaluar el efecto de la aplicación de complejos microbianos (INOBAC, té de compost y *Bacillus subtilis*) en el cultivo de pepino partenocárpico (*Cucumis sativus* L.) establecido en sustrato de fibra de coco bajo condiciones de invernadero en el Instituto Tecnológico de Tlajomulco. Los tratamientos se aplicaron en dos momentos diferentes (15 y 30 días después del trasplante) para evaluar su impacto en el rendimiento del cultivo.

El experimento estuvo constituido por 7 tratamientos incluyendo el testigo, distribuidos en 5 bloques con 3 repeticiones por tratamiento en cada bloque, utilizando para su desarrollo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Los tratamientos fueron: T1 Testigo, T2 INOBAC (primera aplicación), T3 INOBAC (segunda aplicación), T4 Té de compost (primera aplicación), T5 Té de compost (segunda aplicación), T6 *Bacillus subtilis* (primera aplicación) y T7 *Bacillus subtilis* (segunda aplicación). Las variables evaluadas fueron: número de frutos por planta, peso de frutos, pH y conductividad eléctrica (CE). Para la valoración estadística se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Los resultados mostraron que, para número de frutos, los tratamientos T3 (14.71), T2 (14.61) y T4 (14.01) fueron superiores, mientras que T5 (11.53) y T1 (11.00) fueron los más bajos. Para peso de frutos, T4 destacó con 2027.66 g, seguido de T2 (1907.98 g) y T7 (1873.72 g), siendo T6 el de menor peso con (1679.24 g). En las variables de calidad, no hubo diferencias significativas en pH, se mantuvieron rangos de 6.0-6.5) y en conductividad eléctrica, aunque esta última presentó alta variabilidad de 19.65, por lo que se concluye que los tratamientos con complejos microbianos (INOBAC, compost tea y *Bacillus subtilis*) no alteraron las condiciones químicas del sustrato, permitiendo mantener la estabilidad del medio de cultivo mientras se mejoraba el rendimiento productivo.

Palabras clave: Pepino partenocárpico, bioestimulantes, rendimiento, INOBAC, té de compost, *Bacillus subtilis*.

Abstrac

This research aimed to evaluate the effect of applying microbial complexes (INOBAC, compost tea, and *Bacillus subtilis*) on the cultivation of parthenocarpic cucumber (*Cucumis sativus* L.) established in coconut fiber substrate under greenhouse conditions at the Instituto Tecnológico de Tlajomulco. The treatments were applied at two different times (15 and 30 days after transplanting) to assess their impact on crop yield.

The experiment consisted of 7 treatments including the control, distributed in 5 blocks with 3 replicates per treatment in each block, using a randomized complete block design (RCBD). The treatments were: T1 Control, T2 INOBAC (first application), T3 INOBAC (second application), T4 Compost tea (first application), T5 Compost tea (second application), T6 *Bacillus subtilis* (first application), and T7 *Bacillus subtilis* (second application). The variables evaluated were: number of fruits per plant, fruit weight, pH, and electrical conductivity (EC). Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at 5% probability were used for statistical evaluation.

The results showed that, for the number of fruits, treatments T3 (14.71), T2 (14.61), and T4 (14.01) were superior, while T5 (11.53) and T1 (11.00) were the lowest. For fruit weight, T4 stood out with 2027.66 g, followed by T2 (1907.98 g) and T7 (1873.72 g), with T6 having the lowest weight (1679.24 g). Regarding the quality variables, there were no significant differences in pH, which remained within the range of 6.0-6.5, nor in electrical conductivity, although the latter showed high variability of 19.65. Therefore, it is concluded that the treatments with microbial complexes (INOBAC, compost tea, and *Bacillus subtilis*) did not alter the chemical conditions of the substrate, allowing the stability of the growing medium to be maintained while improving productive yield.

Keywords: Parthenocarpic cucumber, biostimulants, yield, INOBAC, compost tea, *Bacillus subtilis*.

1. Introducción

El pepino partenocárpico (*Cucumis sativus* L.) es una variedad mejorada genéticamente para producir frutos sin semillas y sin necesidad de polinización, lo que lo convierte en un cultivo altamente eficiente en invernaderos y sistemas controlados (Kumar et al., 2021). Esta característica no solo asegura una producción más uniforme y predecible, sino que también reduce la dependencia de polinizadores, un factor crítico en zonas con declive de insectos benéficos (Klein et al., 2007). La producción en invernadero de esta hortaliza, de gran importancia económica a nivel mundial, permite controlar las condiciones ambientales y extender los ciclos de cultivo para satisfacer una demanda creciente durante todo el año.

A pesar de sus ventajas, el pepino partenocárpico demanda un manejo agronómico preciso, especialmente en lo relacionado con el sustrato y la nutrición vegetal. Los sustratos de fibra de coco y chip de coco han surgido como alternativas sostenibles debido a su capacidad para retener humedad, proporcionar oxigenación radicular y reducir enfermedades del suelo (Barrett et al., 2016). Sin embargo, su baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) puede limitar la disponibilidad de nutrientes, lo que hace necesario el uso de bioestimulantes que mejoren la eficiencia nutricional. En este contexto, los productores se enfrentan al desafío constante de maximizar el rendimiento y la calidad, mientras son presionados a reducir el uso de insumos químicos debido a las demandas de los consumidores y a las regulaciones ambientales.

México presenta una gran diversidad de climas a lo largo del año, lo que favorece el cultivo de una amplia variedad de plantas, semillas y frutos. Sin embargo, las estrategias convencionales para mejorar la productividad agrícola, basadas en el uso indiscriminado de fertilizantes químicos y pesticidas, han traído consecuencias ambientales como la acidificación de suelos, daños a la salud, eutrofización de cuerpos de agua y calentamiento global (Aguirre, 2001; Muñoz et al., 2004). Por lo

anterior, se han buscado alternativas de fertilización no perjudiciales y amigables con el ambiente, como los biofertilizantes, los cuales se definen como preparados de microorganismos que adicionan, conservan y movilizan los nutrimentos en el suelo (Goyal, 2002). Los bioestimulantes han emergido, por tanto, como una herramienta prometedora dentro de las estrategias de agricultura sostenible.

A pesar del creciente interés y la amplia oferta comercial, existe una falta de información específica y validada científicamente sobre la eficacia real de muchos de estos productos en cultivos de pepino partenocárpico bajo las condiciones particulares de invernadero. Los agricultores y técnicos carecen de datos comparativos que les permitan seleccionar el bioestimulante más adecuado para mejorar parámetros clave. La relevancia de este proyecto radica en su potencial para generar recomendaciones concretas y basadas en evidencia, sustituyendo la actual incertidumbre en la selección de productos. Al validar tecnologías que permitan producir de manera más limpia y eficiente, se busca una agricultura más sostenible que responda a las exigencias del mercado y las normativas, además de identificar la inversión en bioestimulantes que realmente se traduzca en un retorno económico para el productor a través de un mayor rendimiento o una mejor calidad del fruto.

En este estudio, se evalúo el efecto de consorcios microbianos sobre parámetros agronómicos del cultivo de pepino establecido en sustrato bajo condiciones de invernadero. Los resultados podrían aportar estrategias innovadoras para optimizar la producción de este cultivo bajo sistemas protegidos, contribuyendo a una agricultura más eficiente y sostenible.

2.Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la aplicación de complejos microbianos sobre parámetros agronómicos del cultivo de pepino establecido en sustrato bajo condiciones de invernadero.

2.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de los complejos microbianos en variables de crecimiento y rendimiento del pepino.

Documentar diferencias en la dinámica de pH y conductividad eléctrica del sustrato entre el tratamiento microbiano y el testigo.

Correlacionar las variaciones en pH y CE con los indicadores de rendimiento para identificar patrones de respuesta del cultivo al tratamiento microbiano.

3. Hipótesis

H0. La evaluación de complejos microbianos en sustrato, no generará diferencias significativas en variables de crecimiento y rendimiento del pepino bajo condiciones de invernadero.

H1. La evaluación de complejos microbianos, producirá efectos significativos en al menos una de las variables de crecimiento y rendimiento del pepino bajo condiciones de invernadero.

4. Antecedentes

4.1 Biofertilizantes

Esta investigación tuvo como objetivo general evaluar la aplicación del *Bacillus subtilis* como protector de enfermedades en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), en el cantón La Troncal. El experimento estuvo constituido por 5 tratamientos incluyendo el testigo, cada uno evaluado a través de 4 repeticiones, para lo cual se consideraron 20 unidades experimentales comprendidas por un bloque; utilizando para su desarrollo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Los tratamientos fueron T1 *Bacillus subtilis* 0.5 l/ha, T2 *Bacillus subtilis* 1 l/ha, T3 *Bacillus subtilis* 1.5 l/ha, T4 *Bacillus subtilis* 2 l/ha y T5 Testigo. Las variables fueron: % de incidencia de patógenos, altura de planta, diámetro del fruto, longitud del fruto, número de frutos, peso del futo, rendimiento kg/ha y costo beneficio. Para la valoración estadística se utilizó el análisis de varianza y la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. En los resultados obtenidos, se observó que el tratamiento 4 obtuvo un rendimiento estadísticamente alto a diferencia de los demás tratamientos kg/ha (Zambrano, 2021).

Con el objetivo de determinar los efectos de fuentes endógenas de fertilización orgánica y biofertilizantes a partir de combinar compost con biochar, zeolita y organismos benéficos en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). se llevó a cabo un experimento donde se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con siete tratamientos (T1: Tierra ferralítica roja; T2: fertilización química; T3: compost de EEPFIH; T4: compost + zeolita; T5: compost + carbón vegetal; T6: semillas inoculadas en HMA y T7: compost + dos aplicaciones de *Trichoderma*. Se midieron los siguientes indicadores: emergencia, altura de la planta, número de hojas, rendimiento por cosecha y totales y peso de los frutos. Las medias se compararon mediante la décima de Duncan (1955). los productos orgánicos y biofertilizantes evaluados, estimularon la emergencia y la altura de las plantas a los 8, 15 y 22 días destacándose entre ellos el Compost y *Trichoderma* combinado con compost. La

aplicación de *Trichoderma* y zeolita ambas combinadas con compost, alcanzaron valores superiores en el número de hojas, sin embargo, los HMA y zeolita combinada con compost mostraron resultados similares a la fertilización química en el peso de los frutos. Se concluye que la aplicación de la fertilización orgánica y biofertilizantes mostraron resultados similares a la fertilización química en la respuesta productiva del cultivo del pepino (Ulloa, 2024).

El objetivo de este trabajo se centró en evaluar el potencial biotecnológico de un consorcio microbiano obtenido del sureste Coahuilense, identificado vía secuenciación masiva del gen 16SrARN y el gen 18SrARN conformado principalmente por los géneros de levaduras *Meyerozyma spp.*, *Debaryomyces spp.* y *Kurtzmaniella spp.*; así como, bacterias del género *Bacillus*. La evaluación como biofertilizante se realizó con tres formulados, medio de cultivo con consorcio [Med+C] y dos alternativos, melaza con consorcio y medio de cultivo más melaza con consorcio [Mel+C y Med+Mel+C], se evaluaron en condiciones de invernadero en *Spinacea oleracea* (espinaca) teniendo además un control (agua) y un producto comercial (Inobac, BioJal®) como tratamientos. Obteniendo que la aplicación de los diferentes formulados, en particular Med+C tiende a incrementar las variables agronómicas del cultivo (altura, diámetro de tallo, largo y ancho de hoja, peso fresco y peso seco) y la cantidad de minerales (Fe, K y Cu) respecto al tratamiento control. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de consorcios microbianos, logran reducir de manera significativa el uso de fertilizantes químicos (Marín et al., 2025).

4.2 Producción de pepino en invernadero

El objetivo de este trabajo fue, evaluar fisicoquímicamente la fibra de agave no composteada proveniente de la industria de tequila (FT) y de inulina (FI) para evaluar su potencialidad como sustrato en la producción de pepino bajo condiciones de invernadero y sus efectos en la calidad poscosecha de los frutos en comparación con fibra de coco (FC). Las fibras húmedas se secaron en condiciones controladas. La FC presentó la mayor capacidad de retención de agua (84%), seguida de FT (67%) y FI (41%). Los valores de pH estuvieron dentro del rango óptimo (FC=5.06, FT=4.05, FI=5.18), la conductividad eléctrica fue relativamente baja pero dentro de los rangos óptimos (FC= 0.76, FT= 0.46, FI= 0.40), la FC presentó la mayor capacidad de intercambio catiónico (FC=68.54, FT=25.21, FI=33.54), la relación C/N fue alta en las fibras de agave (FT= 109.2, FI= 97.5) pero significativamente diferente a la FC (206.9). El desempeño de las fibras de agave (FT y FI) como sustrato en el desarrollo de plantas y producción de pepino mostro comportamientos similares a la FC; el rendimiento y la calidad se obtuvieron valores similares (FC=23.935, FI=22,696, FT=22.653 kg/m²/semana), (Calvillo, 2022).

Para evaluar el efecto del sistema de poda en la producción y calidad de pepino partenocarpico se realizó un estudio en un invernadero localizado en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad de Sonora, durante el período comprendido de septiembre de 2009 a enero de 2010. Los tratamientos fueron tres híbridos de pepino (Camán, Esparón y Modán) y dos sistemas de poda (Descuelgue a un tallo, sin eliminar el punto apical del tallo principal y Descuelgue a dos tallos, eliminando al inicio del descuelgue el punto apical del tallo principal, pero dejando dos brazos laterales). El diseño del experimento fue de bloques completos al azar en arreglo factorial, con cuatro repeticiones. Se evaluaron los días a floración, e inicio de cosecha, la producción (número de frutos por planta, peso del fruto y rendimiento),

al igual que la calidad de la producción (longitud, diámetro y firmeza del fruto). El número de frutos por planta en el híbrido Esparón, con descuelgue a un tallo, fue mayor respecto de Camán y Modán, con 17,7 frutos planta⁻¹, recomendándose su implementación por presentar también bajo porcentaje de flores masculinas y menor cuateo. El peso del fruto, al igual que los parámetros de calidad, estuvo dentro de los estándares establecidos para pepino tipo americano, con un peso promedio de 330 g en la categoría Fancy, longitud de 23,2 cm, diámetro de 5,0 cm y firmeza de 4,8 kg. (López et al., 2011).

El objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento y la calidad de seis genotipos de pepino de frutos largos (Arioso, Cumlaude, Dreamliner, Kalunga, Paisaje y Roxinante) cultivados bajo condiciones de invernadero en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, en Alajuela, Costa Rica. El cultivo se manejó con fertirrigación, en sustrato de fibra de coco, y con poda a un tallo por planta. La cosecha inició a los 31 días después del trasplante para todos los genotipos. Los datos muestran una amplia variabilidad entre los genotipos en cuanto a longitud del fruto (31,58-35,77 cm), diámetro del fruto (46,60-50,09 mm), número total de frutos por planta (15,03-21,03), peso promedio del fruto (439,75-480,82 g), rendimiento por planta (6940,20-9971,97 g por planta), rendimiento comercial (13,74-19,51 kg m⁻²), rendimiento total (18,03-25,90 kg m⁻²), y porcentaje de sólidos solubles totales (3,38-3,67 °Brix). Los frutos de pepino de primera calidad mostraron mayor longitud y diámetro que los de segunda calidad y de rechazo. Los frutos de primera calidad obtuvieron un menor porcentaje de sólidos solubles totales que los de calidad de rechazo. Los genotipos Roxinante y Dreamliner obtuvieron el mayor rendimiento comercial (19,21 y 19,51 kg m⁻², respectivamente) y de primera calidad (14,62 y 12,95 kg m⁻², respectivamente), por lo que se consideran los mejor adaptados a las condiciones en que se desarrolló la investigación (CHACÓN, MONGE at 2016).

5. Materiales y Métodos

5.1. Preparación del Invernadero y Material Vegetal

El proyecto se llevó a cabo en un invernadero del Instituto Tecnológico de Tlajomulco, donde se implementó un sistema de producción de pepino partenocárpico.

Se realizó la limpieza general del invernadero para eliminar residuos de cultivos anteriores, una vez limpio, se instalaron slabs de fibra de coco de un metro de largo. Posteriormente se procedió a la desinfección de los mismos, con una solución de peroxiacético en una relación (1:1) y de todo el invernadero, con el fin de reducir la presencia de patógenos y garantizar un ambiente sanitario óptimo.

5.2. Germinación y Trasplante

Para la germinación de las semillas de pepino partenocárpico, se colocaron en agua por 15 minutos, posteriormente se preparó una solución de peróxido de hidrógeno (96%), del cual se tomaron 30 ml y se diluyeron en un litro de agua destilada, a partir de esta solución concentradas, se tomaron 3 ml y se adicionaron en 100 mililitros de agua destilada. Una vez transcurrido el tiempo de remojo de la semilla en agua, se sacaron y se sumergieron en la solución antes mencionada durante 30 minutos, para después proceder a su enjuague en agua, durante 4 horas, este procedimiento se realizó para acelerar la germinación. Una vez transcurrido el tiempo de enjuague, se colocaron en una charola con toallitas previamente húmedas y se quedaron en completa oscuridad durante 4 días hasta su trasplante.

Las semillas pregerminadas, se distribuyeron en 15 slabs, colocando 3 semillas en cada uno de ellos a una distancia de 30 cm. Se incorporó zeolita para mejorar la retención de humedad y nutrientes.

Posteriormente, se midió la longitud de cada bloque, para sacar las líneas del riego por goteo que se instaló con la finalidad de una mejor eficiencia del cultivo.

5.3. Aplicaciones de productos en fases iniciales del cultivo

Se instaló por completo el sistema de riego por goteo, colocando un gotero por planta para garantizar una distribución eficiente del agua. Se aplicó una solución de Espinela (Enraizador, 5 ml/L) y Delfan Plus (fertilizante orgánico, 5 ml/L), dosificando 15 ml por planta para estimular el desarrollo radicular y la nutrición inicial.

5.4. Adecuación del Invernadero y preparación del consorcio microbiano en zeolita.

Se realizó el cambio de plásticos del invernadero para evitar la entrada de patógenos y plagas que pudieran afectar las plantas de pepino. Además, se instaló la estructura de tutorado con alambre para un mejor soporte a largo plazo y para guiar el crecimiento vertical de las plantas.

Se aplicaron 450 gr de zeolita y se realizó un aforo con INOBAC (consorcio microbiano benéfico), dejándolo actuar entre 24 y 48 horas. Las muestras fueron secadas en una cámara de secado a 30-40 °C durante 24 horas.

5.5. Control y Bioestimulación

Debido a la presencia de mosquita blanca, se aplicó *Trichoderma* (1 g/L), Muralla Max (1 ml/L), Espinela (5 ml/L) para fortalecer raíces y Delfan Plus (5 ml/L) como fertilizante orgánico.

La solución se preparó en 5 litros de agua y se distribuyó en:

6 hileras de 8 bolsas (48 bolsas = 144 plantas).

4 hileras de 7 bolsas (28 bolsas = 84 plantas).

Se realizó la primera aplicación de bioestimulantes para mejorar el vigor vegetativo, el tratamiento de zeolita potásica, compostea y *Bacillus subtilis* solo se aplicaron en 5 bloques, para comparar la efectividad de los bioestimulantes, los tratamientos y las dosis que se aplicaron se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 1 Tratamientos y dosis

Tratamiento	Bioestimulante	Dosis		Aplicación
I	Testigo			
II	INOBAC	4 gr	1° aplicación	
III		4 gr	2° aplicación	30 días
IV	Compost tea	4 gr	1° aplicación	Cada 15 días
V		4 gr	2° aplicación	Cada 15 días
VI	<i>Bacillus subtilis</i>	10 ml	1° aplicación	Cada 15 días
VII		10 ml	2° aplicación	Cada 15 días
VIII	Testigo			

Tabla 2 Acomodo de los tratamientos en cada bloque

Boque 5	Bloque 4	Bloque 3	Bloque 2	Bloque 1
I	VII	II	III	IV
II	VI	III	V	I
III	IV	I	II	V
IV	V	VI	VII	III
V	III	VII	VI	II
VI	II	V	I	VII
VII	II	IV	III	VI
VIII				

5.6. Tutorado y Aplicaciones Foliares

Se completó el tutorado con rafia para sostener el crecimiento de las plantas y además se aplicó una solución foliar compuesta por 2 L de agua, 10 ml de silicio y 6 ml de extracto de algas marinas como auxiliar contra virosis, fitoplasmas y estrés de las plantas.

5.7. Poda y Desarrollo del Cultivo

Se realizó el deschuponado (eliminación de brotes laterales) para concentrar el crecimiento en los frutos, las plantas ya presentaban al menos 3 inflorescencias, indicando un buen desarrollo floral.

Se aplicó un fertilizante foliar de algas marina 1ml/L y Chronos 2ml/L para un mejor desarrollo.

Posteriormente se realizó un nuevo deschuponado y el corte de las dos primeras hojas para mejorar la aireación y exposición lumínica y concentrar el crecimiento en los frutos, observando un mejor desarrollo de frutos, al contar con una mejor longitud y anchura.

5.8. Nutrición

La solución nutritiva empleada en este proyecto se formuló considerando los requerimientos del cultivo de pepino, al inicio se preparó para una CE de 1.5 (Tabla 3). Pero al iniciar las inflorescencias y llenado de fruto, la solución se modificó a una C.E. de 2.0 (Tabla 4). La composición nutricional se expresó inicialmente en miliequivalentes por litro (meq L⁻¹) y posteriormente se convirtió a gramos por metro cúbico (g m⁻³) para su aplicación (Tabla 3 y 4).

Tabla 3 Solución nutritiva para 1.5 CE

Fertilizante	meq L ⁻¹	Peq mg/1meq	δ g/ml	Riqueza %	Calculo para pasar de meq L ⁻¹ a ml m ⁻³ o gr m ⁻³	ml m ⁻³ o gr m ⁻³
HNO ₃	0.00	63	1.42	70	$A \times B / (D/100) / C$	0
H ₃ PO ₄	0.00	98	1.6	75		0
H ₂ SO ₄	1.00	98	1.85	98		54
Ca(NO ₃) ₂	5.80	124			$A \times B$	719
KNO ₃	3.20	101				323
K ₂ SO ₄	0.50	87				44
MgSO ₄ 7H ₂ O	2.50	123				308
NH ₄ NO ₃	0.00	80				0
KH ₂ PO ₄	1.50	136				204
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.00	115				0
Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	0.00	128				0
KCl	0.00	74.56				0

Tabla 4. Solución nutritiva para 2.0 CE

Fertilizante	meq L ⁻¹	Peq	d	Riqueza	Calculo para pasar de			ml m ⁻³
		mg/1 meq	g/ml	%	meq L ⁻¹ a ml m ⁻³ o gr m ⁻³			o gr m ⁻³
HNO ₃	0.00	63	1.42	70	$A \times B / (D/100) / C$			0
H ₃ PO ₄	0.00	98	1.6	75				0
H ₂ SO ₄	1.00	98	1.85	98				54
Ca(NO ₃) ₂	8.00	124			$A \times B$			992
KNO ₃	3.20	101						323
K ₂ SO ₄	0.50	87						44
MgSO ₄ 7H ₂ O	2.50	123						308
NH ₄ NO ₃	0.00	80						0
KH ₂ PO ₄	1.50	136						204
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.00	115						0
Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	0.00	128						0
KCl	0.00	74.56						0

5.9. Análisis de drenaje y aplicaciones como control de plagas

Se tomaron muestras de drenaje para medir pH y conductividad eléctrica (CE) para su análisis en el laboratorio de suelos.

Se aplicó un fertilizante foliar con 2 ml/L de Chronos (bioestimulante), 5 ml/L de extracto de algas y 1 ml/L de abamectina para control de plagas.

5.10. Medición de variables respuesta

5.10.1 Número de frutos por planta

Se contabilizó el total de frutos cosechados por cada planta individualmente durante las tres cosechas realizadas.

Los frutos se separaron y registraron por planta, por tratamiento y por bloque, utilizando el etiquetado previamente establecido (Anexo 27).

5.10.2 Peso de frutos (g)

Cada fruto cosechado fue pesado individualmente utilizando una báscula digital de precisión (modelo previamente calibrado).

Se registró el peso fresco (g) por planta y por tratamiento en cada una de las tres cosechas realizadas (Anexos 29, 30 y 32).

Los datos fueron digitalizados para su análisis estadístico.

5.10.3 Potencial de Hidrógeno (pH)

Se midió el pH de los frutos utilizando un potenciómetro previamente calibrado.

Las mediciones se realizaron en el laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico de Tlajomulco, utilizando muestras representativas de cada tratamiento por bloque.

5.10.4 Conductividad Eléctrica (CE)

Se determinó la conductividad eléctrica (expresada en dS/m) utilizando un potenciómetro calibrado.

Las muestras de frutos fueron procesadas en el laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico de Tlajomulco para realizar la medición.

Al igual que el pH, la CE se midió por tratamiento y bloque para mantener la consistencia del diseño experimental.

5.11 Cosechas y Aplicaciones Finales

Se realizó una aplicación del enraizador Espinela (5 ml L^{-1}) y el insecticida Muralla Max (1 ml L^{-1}), con el objetivo de fortalecer el sistema radicular y controlar la incidencia de mosca blanca en el cultivo.

Para garantizar la trazabilidad y precisión en el registro de datos, los frutos cosechados fueron separados y clasificados individualmente por planta, tratamiento y bloque. Este procedimiento permitió tener un mejor control de la información y facilitó la posterior comparación del rendimiento entre los diferentes tratamientos evaluados.

A continuación, se presenta la Tabla 5, la cual contiene el registro completo de los datos obtenidos de todas las cosechas evaluadas. En ella se detallan, para cada bloque (B1 a B5) y tratamiento, el número de plantas contabilizadas por repetición (Planta A, B y C) así como el peso correspondiente a cada una de ellas (Peso P A, Peso P B, Peso P4). La última columna de cada bloque (Total) representa la suma de los pesos de las tres plantas para cada tratamiento, ofreciendo una visión consolidada del rendimiento por unidad experimental.

Tabla 5.Cosechas totales obtenidas

Tratamientos	Planta A	Planta B	Planta C	Peso P A	Peso P B	Peso P4	Total	B1
1	11	11	11	12.835	1389	1550	42.225	
2	10	8	12	17.135	1009	14.715	4194	
3	4	8	7	523	871	707	2101	
4	9	9	17	1396	1507	2246	5149	
5	9	8	11	1306	1252	1586	4144	
6	13	6	10	1292	850	1209	3351	
7	9	8	14	1109	1059	1803	3971	
	65	58	82	8623	7937	105.725	271.325	
Tratamientos	Planta A	Planta B	Planta C	Peso P A	Peso P B	peso P4		B2
1	16	10	9	2030	1660	2090	5780	
2	20	4	17	2398	617	2672	5687	
3	14	21	15	1754	2492	1694	5940	
4	13	16	8	2006	1861	1359	5226	
5	17	15	4	1945	2432	778	5155	
6	11	10	13	1218	1413	1817	4448	
7	11	13	14	1503	1337	1679	4519	
	102	89	80	12854	11812	12089	36755	
Tratamientos	Planta A	Planta B	Planta C	Peso P A	Peso P B	Peso P4		B3
1	11	9	8	1715	1276	1034	4025	
2	17	12	6	1926	1306	724	3956	
3	12	8	4	1937	1123	753	3813	
4	12	16	15	1700	2286	2289	6275	
5	17	11	15	2192	2066	1768	6026	
6	17	18	0	2105	2779	0	4884	
7	20	23	20	286.331.429	299.565.714	303.532.857	88.943	
	106	97	68	144.383.143	138.316.571	960.332.857	378.733	

Tratamientos	Planta A	Planta B	Planta C	Peso P A	Peso P B	Peso P4		B4
1	13	11	12	2257	250.428	1811	657.228	
2	10	11	11	1586	1812	1779	5177	
3	15	8	11	1589	1132	2050	4771	
4	16	13	7	2446	2007	866	5319	
5	12	10	10	1914	1640	1739	5293	
6	12	9	19	1654	1476	2174	5304	
7	0	16	10	0	1923	1812	3735	
	78	78	80	11446	1.249.428	12231	3.617.128	
Tratamientos	Planta A	Planta B	Planta C	Peso P A	Peso P B	Peso P4		B5
1	9	12	15	1636	1435	1916	4987	
2	12	8	10	1687	1325	1383	4395	
3	6	14	17	1003	1839	2453	5295	
4	15	10	10	1764	1628	1597	4989	
5	9	13	8	1510	1931	1092	4533	
6	18	13	11	2351	1811	1702	5864	
7	9	8	8	1222	1331	1247	3800	
8	0	0	0	0	0	0	0	
	69	66	64	9537	9865	9474	28876	
						Total	16.680.808	

5.12 Análisis de datos

El análisis de datos se realizó en el Software SAS® OnDeman for Academics versión en línea.

6. Resultados y Discusiones

6.1. Producción de fruto

El modelo estadístico fue significativo (Valor F = 4.62; p = 0.0010), lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas en la producción de frutos en al menos dos de los tratamientos evaluados.

Variable dependiente: FRUT					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	10	100.0937143	10.0093714	4.62	0.0010
Error	24	52.0331429	2.1680476		
Total corregido	34	152.1268571			

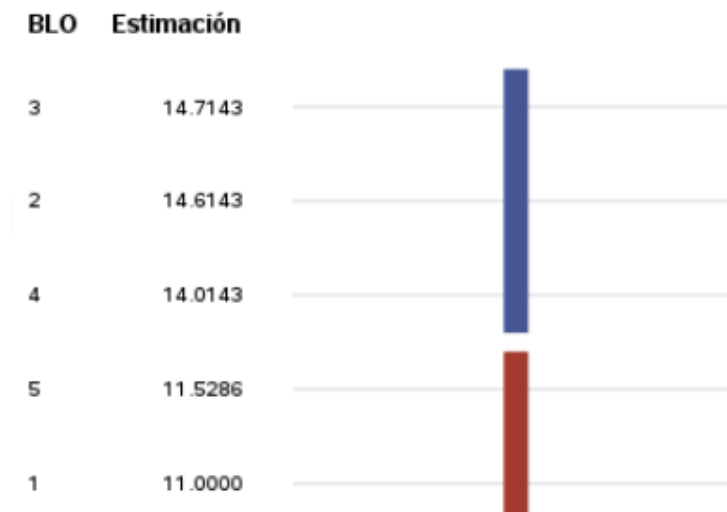
R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de FRUT
0.657962	11.17654	1.472429	13.17429

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) de los frutos

La prueba de Tukey revela la formación de dos grupos principales. Los tratamientos 3, 2 y 4 presentaron las medias de frutos más altas (14.71, 14.61 y 14.01, respectivamente) y son estadísticamente similares entre sí, formando el grupo con mayor producción, cuyos tratamientos es INOBAC y compostea. Por otro lado, los tratamientos 5 (Compostea) y 1 (Testigo) mostraron las medias más bajas (11.53 y 11.00, respectivamente) y son estadísticamente similares entre sí, formando el grupo de menor producción. Es importante destacar que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos dentro de cada grupo, pero sí entre los tratamientos de un grupo y otro.

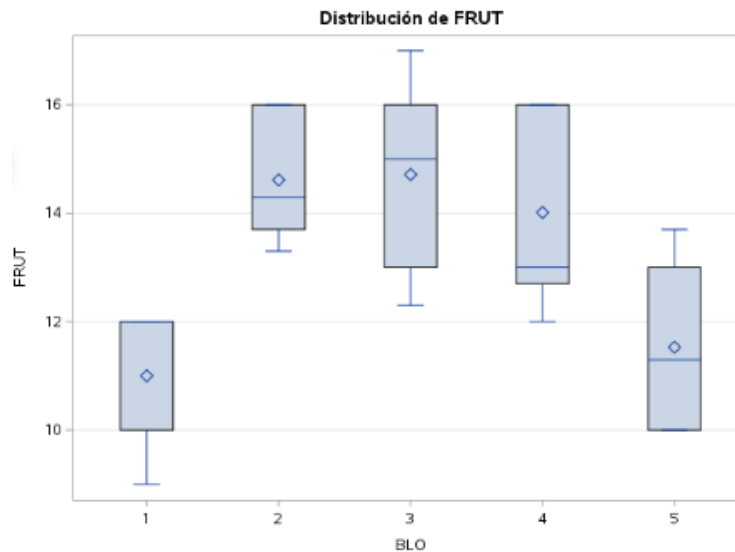
FRUT Tukey Grouping for Means of BLO (Alfa = 0.05)

Means cubiertas por la misma barra no son significativamente diferentes.



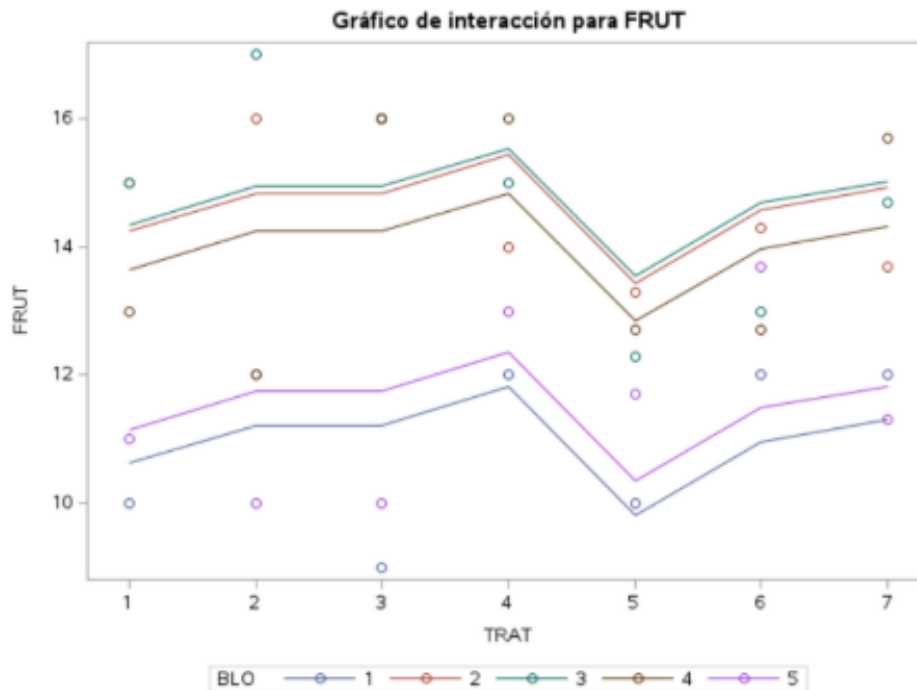
Grafica 1 Prueba de Tukey de los frutos por tratamientos

En la gráfica 2 observar la distribución de los datos de FRUT para cada tratamiento y confirma los resultados de la prueba de Tukey, mostrando que los tratamientos 2, 3 (INOBAC) y 4 (Compostea) tienen medianas y rangos de valores superiores en comparación con los tratamientos 1 (Testigo) y 5 (Compostea), cuyas distribuciones se concentran en valores más bajos.



Grafica 2. Distribución de los frutos por tratamientos

El gráfico 3 revela que la producción de frutos de cada tratamiento (BLO) no es consistente a través de los diferentes niveles de TRAT, lo que se evidencia en el cruce constante de las líneas.



Grafica 3. Interacción de los frutos por tratamientos

Los tratamientos T3 (INOBAC con dos aplicaciones) y T2 (INOBAC con una aplicación) presentaron los mayores promedios de frutos por planta (14.71 y 14.61), superando estadísticamente al testigo (T1=11.00). Esto demuestra que INOBAC estimula eficazmente la floración y el cuaje, independientemente del momento de aplicación. Estos resultados coinciden con Marín et al. (2025), quienes reportaron incrementos en variables agronómicas de espinaca al aplicar consorcios de *Bacillus spp.*, y con Zambrano (2021), que observó mayor rendimiento en pepino con *Bacillus subtilis*. El T5 (compostea con dos aplicaciones) fue el menos efectivo (11.53 frutos), similar al testigo.

6.2. Peso de frutos

El modelo estadístico aplicado resultó ser altamente significativo (Valor F = 7.02; $p < 0.001$), lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas en el peso de los frutos entre al menos dos de los tratamientos evaluados.

Variable dependiente: PESO					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	10	4179596.408	417959.641	7.02	<.0001
Error	24	1428547.567	59522.815		
Total corregido	34	5608143.975			

R-cuadrado	Var Coef.	Raiz MSE	Media de PESO
0.745273	13.30110	243.9730	1834.231

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) del peso de los frutos por tratamiento

Dado que el ANOVA resultó significativo, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para identificar qué tratamientos específicos difieren entre sí. Los resultados se muestran en la tabla de agrupación de Tukey para PESO por TRAT y en la Gráfica 4. El TRAT 4 (Compostea) presenta la media de peso más alta (2027.66), situándose en el extremo superior del rango. Le siguen los tratamientos TRAT 2 (INOBAC) (1907.98) y TRAT 7 (*Bacillus subtilis*) (1873.72), cuyas medias son estadísticamente similares entre sí y con el TRAT 4, formando parte del grupo de tratamientos con mayor peso. Los tratamientos TRAT 1 (Testigo) (1839.80), TRAT 5 (Compostea) (1787.28) y TRAT 3 (INOBAC) (1723.94) presentan medias intermedias que no difieren significativamente entre ellos. El TRAT 6 (*Bacillus subtilis*) registra la media más baja (1679.24), ubicándose en el extremo inferior.

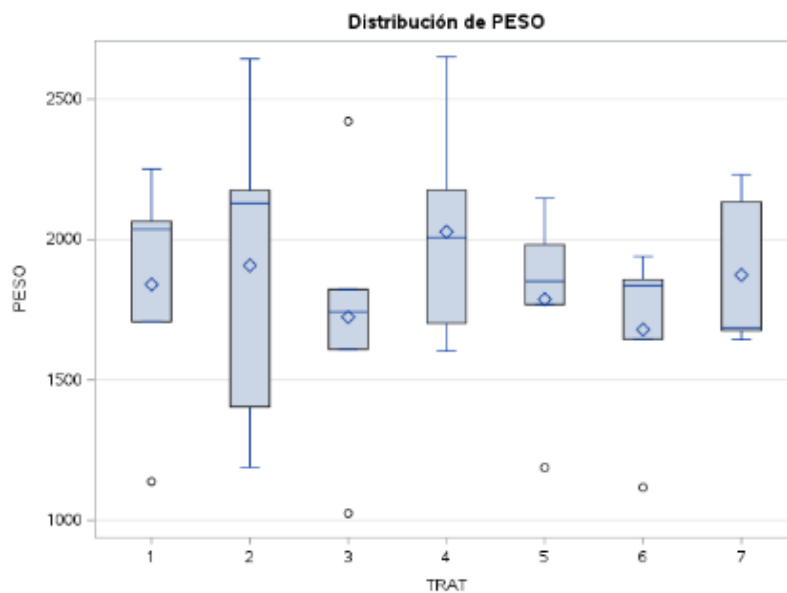
PESO Tukey Grouping for Means of TRAT (Alfa = 0.05)

Means cubiertas por la misma barra no son significativamente diferentes.



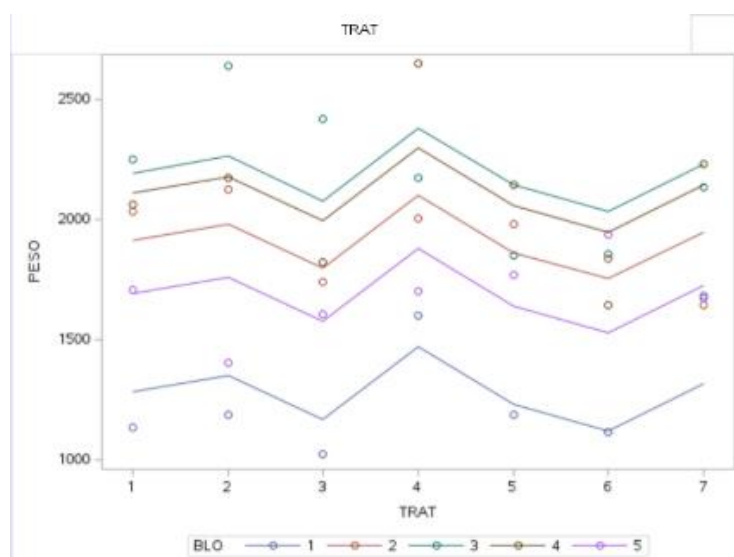
Grafica 4. Prueba de Tukey del peso de los frutos por tratamiento

Se observa que el TRAT 4 (Compostea) no solo tiene la media más alta, sino que también presenta una mediana elevada, aunque con una dispersión considerable. En contraste, el TRAT 6 (*Bacillus subtilis*) muestra una mediana baja y un rango intercuartílico que confirma su consistencia en la producción de frutos de menor peso.



Grafica 5. Distribución del peso de los frutos por tratamientos

Este gráfico de líneas explora la interacción entre los factores sobre el peso de los frutos. Las líneas representan los diferentes niveles de BLO a lo largo de los tratamientos (TRAT). Se observa un claro patrón de líneas no paralelas y con múltiples cruces, lo que evidencia una interacción significativa entre los factores.



Grafica 6. Interacción del peso de los frutos por tratamiento

Estos hallazgos coinciden con Calvo et al. (2014), en donde se demostró que T4 (compost tea 1ra aplicación) registró el mayor peso promedio (2027.66 g), aunque estadísticamente similar a T2 (INOBAC) y T7 (*Bacillus subtilis* con dos aplicaciones). El compostea demostró el mejor equilibrio entre cantidad y peso de frutos, probablemente por su diversidad microbiana que mejora la asimilación de nutrientes. Ulloa (2024) respalda estos hallazgos al encontrar que compost combinado con microorganismos igualó el rendimiento de la fertilización química en pepino. El T6 (*Bacillus subtilis* con una aplicación) presentó el menor peso (1679.24 g), sugiriendo que el momento de aplicación influye en la respuesta.

6.3. Variable pH

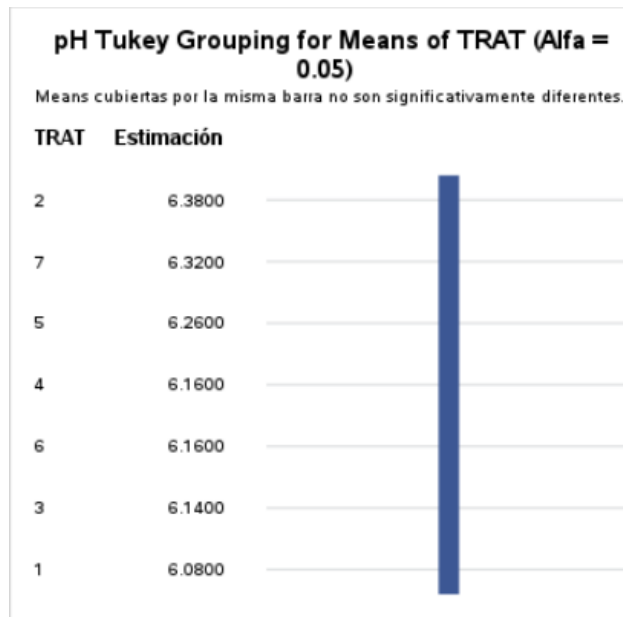
El modelo estadístico aplicado no resultó ser significativo (Valor F = 1.07; p = 0.4044). Dado que el valor de probabilidad ($Pr > F$) es superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se acepta la hipótesis nula. Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en el pH de los drenes obtenidos de los tratamientos evaluados.

Variable dependiente: pH					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	6	0.35085714	0.05847619	1.07	0.4044
Error	28	1.53200000	0.05471429		
Total corregido	34	1.88285714			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de pH
0.186343	3.764083	0.233911	6.214286

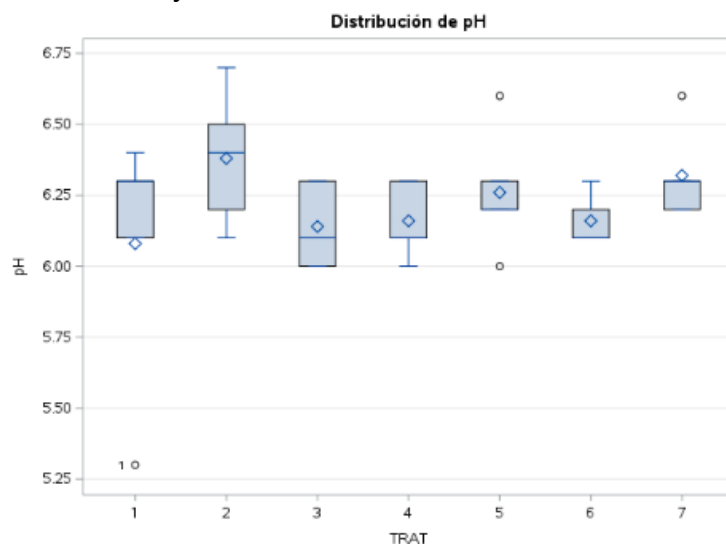
Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) de pH por tratamiento

Aunque el ANOVA no resultó significativo, se presenta la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para observar las estimaciones puntuales de cada tratamiento. Todas las medias están cubiertas estadísticamente por la misma barra de agrupación, lo que indica que pertenecen a un mismo grupo homogéneo, por lo tanto, ningún microorganismo altera el Ph. Los resultados se muestran en la tabla de agrupación de Tukey para pH por TRAT y en la Gráfica 7.



Grafica 7. Prueba de Tukey del pH por tratamiento

La gráfica de distribución confirma visualmente los resultados del análisis estadístico: el pH de los drenes es una característica estable que no se ve afectada significativamente por los tratamientos aplicados. Aunque existen ligeras variaciones en las medias y en la dispersión de los datos (con los tratamientos 5 y 6 mostrando mayor variabilidad y valores más extremos), todos los tratamientos presentan un rango de pH esencialmente equivalente, comprendido mayoritariamente entre 6.0 y 6.5.



Grafica 8. Distribución de PH por tratamientos

Este resultado coincide con lo establecido por Cadahía (2008) en La fertirrigación de cultivos hortícolas, donde señala que el rango ideal de pH para la absorción equilibrada de nutrientes en la mayoría de las hortalizas, incluyendo el pepino, se sitúa entre 5.5 y 6.5. La ausencia de diferencias significativas indica que los bioestimulantes evaluados no alteran las condiciones químicas del sustrato, lo cual es positivo desde una perspectiva agronómica, ya que permiten mejorar el rendimiento sin comprometer la estabilidad del medio de cultivo ni la disponibilidad de nutrientes.

6.4. Variable C.E.

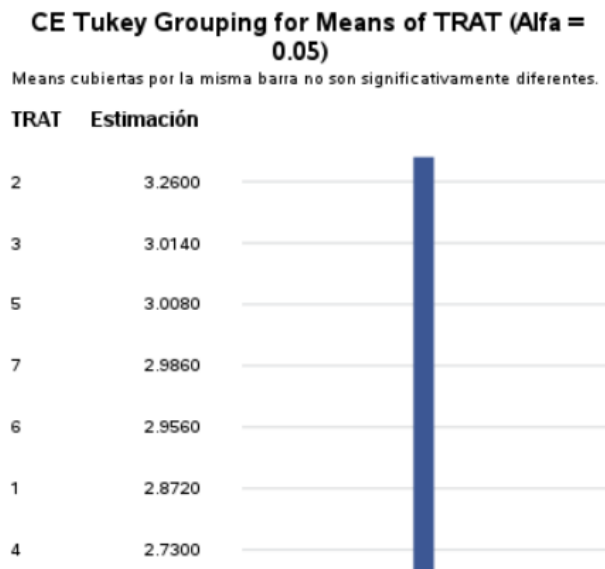
El modelo estadístico aplicado no resultó ser significativo (Valor F = 0.38; p = 0.8870). Dado que el valor de probabilidad ($Pr > F$) es muy superior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la conductividad eléctrica de los drenes obtenidos del sustrato entre los tratamientos evaluados.

Variable dependiente: CE					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	6	0.77475429	0.12912571	0.38	0.8870
Error	28	9.57432000	0.34194000		
Total corregido	34	10.34907429			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de CE
0.074862	19.65473	0.584756	2.975143

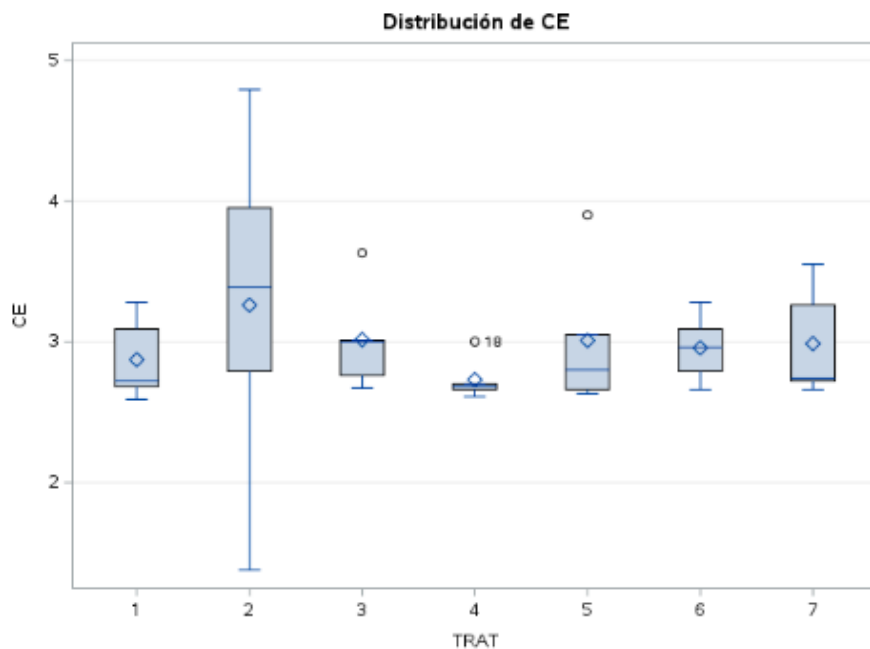
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) de C.E. por tratamiento

Aunque el ANOVA no resultó significativo, se presenta la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) para observar las estimaciones puntuales de cada tratamiento. Es fundamental destacar que, al no ser significativo el modelo, todas las medias pertenecen estadísticamente al mismo grupo homogéneo. Las diferencias observadas entre las medias no son estadísticamente significativas.



Grafica 9. Prueba de Tukey de C.E. por tratamiento

Este diagrama permite visualizar la dispersión de los datos de C.E. para cada uno de los 7 tratamientos. Se observa claramente que tiene múltiples valores atípicos (puntos fuera), especialmente en los tratamientos 2, 3 (INOBAC) y 7 (*Bacillus subtilis*), lo que contribuye a la alta variabilidad y explica por qué el modelo no puede detectar diferencias significativas.



Grafica 10. Distribución de C.E. por tratamientos

Este resultado coincide con lo reportado por Urrestarazu (2015) en su Tratado de cultivo sin suelo, quien explica que las mediciones de drenaje en sustratos como la fibra de coco presentan inherentemente una alta variabilidad debido a factores como la heterogeneidad del sustrato, el punto de muestreo y la interacción individual de cada planta con su entorno. A pesar de la falta de significancia estadística, el resultado es relevante porque confirma que los tratamientos microbianos no afectaron negativamente la salinidad del sustrato, manteniéndose dentro de niveles funcionales para el cultivo y permitiendo que las diferencias en rendimiento se atribuyan al efecto de los microorganismos y no a un estrés salino diferencial entre tratamientos.

7. Conclusiones

- No hubo diferencias estadísticamente significativas en los valores de pH y Conductividad Eléctrica (CE) de los drenes obtenidos de los diferentes tratamientos con complejos microbianos (INOBAC, compostea y *Bacillus subtilis*) y el grupo testigo. Los análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas de Tukey mostraron que todos los tratamientos se comportaron de manera similar, formando un solo grupo estadístico en estos parámetros.
- Se determinó que los complejos microbianos no tuvieron un impacto significativo en la eficiencia productiva. No se encontraron diferencias estadísticas en el número de frutos por planta ni en el peso promedio de los frutos entre los tratamientos con bioestimulantes y el testigo. El factor que realmente influyó en la producción fue la ubicación de los bloques dentro del invernadero, donde los Bloques 2 y 3 (estadísticamente superiores) superaron significativamente en rendimiento a los Bloques 1 y 5.
- No fue posible establecer una correlación directa entre las variaciones de pH y CE con el rendimiento del cultivo en respuesta a los tratamientos microbianos. Dado que ni los parámetros de pH/CE ni los de rendimiento (número y peso de frutos) mostraron diferencias significativas atribuibles a los tratamientos, no se identificó un patrón de respuesta específico. La principal correlación observada fue de tipo espacial, donde los bloques con mejores condiciones micro climáticas (Bloques 2 y 3) presentaron los rendimientos más altos, independientemente del tratamiento microbiano aplicado.

Se acepta la hipótesis nula (H0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H1)

Porque los análisis estadísticos (ANOVA y pruebas de Tukey) demostraron que no hubo diferencias significativas en ninguno de los parámetros evaluados (pH, CE, número de frutos y peso de frutos) entre los tratamientos con complejos microbianos (INOBAC, compostea y *Bacillus subtilis*) y el testigo.

8. Literatura citada

Aguirre A. G. (2001). Química de los suelos ácidos, templados y tropicales. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. 272 pp

Barrett, G. E., Alexander, P. D., Robinson, J. S., & Bragg, N. C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. *Scientia Horticulturae*, 212, 220-234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.030>

Cadahía, C. (2008). La fertirrigación de cultivos hortícolas. Ediciones Mundi-Prensa.

Cadahía, C. (2008). La horticultura mediterránea en el siglo XXI. Ediciones Mundi-Prensa.

Calvillo, E. N. M. (2022). Efecto de la fibra de agave (Agave tequilana Weber var. Azul) como sustrato en la producción bajo invernadero de pepino (Cucumis sativus) y su calidad poscosecha.

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1-2), 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

Chacón-Padilla, K., & Monge-Pérez, J. E. (2016). Evaluación del rendimiento y la calidad de seis genotipos de pepino (Cucumis sativus L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(2), 323-332.

Goyal S. K. (2002). A profile on algal biofertilizer. En: Kannaiyan, S. (Ed.) *Biotechnology of Biofertilizers*. Narosa Publishing House, New Delhi, India. 250- 258 pp

Javier, z. V. L. (2021). Efecto del bacillus subtilis usado como protectante en el control de enfermedades en el cultivo de pepino (cucumis sativus), la troncal, cañar (doctoral dissertation, universidad agraria del ecuador).

Kader, A. A. (2002). Calidad postcosecha de cultivos hortofrutícolas (3ª ed.). Editorial Acribia.

Kumar, R., Khurana, A., & Sharma, A. K. (2021). Role of plant hormones and their interplay in development and ripening of fleshy fruits. *Journal of Experimental Botany*, 72(6), 2247-2267. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa526>

lein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>

López-Elías, J., Rodríguez, J. C., Huez, M. A., Garza, S., Jiménez, J., & Leyva, E. I. (2011). Producción y calidad de pepino (Cucumis sativus L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *Idesia (Arica)*, 29(2), 21-27.

Marín-Cortez, A. R., Mendoza-Villarreal, R., Robledo-Torres, V., Benavides-Mendoza, A., Ramírez-Rodríguez, H., & González-Reséndiz, M. L. (2025). Uso de un consorcio microbiano del sureste coahuilense con potencial para su aplicación como biofertilizante. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 16(SPE30).

Mendoza, R., & García, J. (2017). Uso de zeolitas naturales en la agricultura sostenible. *Terra Latinoamericana*, 35(4), 367-379.

Molina, J. P., & Borda, E. A. (2020). Desarrollo fenológico y requerimientos de clima y suelo en cucurbitáceas bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *14*(2), 245-258. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i2.10892>

Muñoz H., Armienta M. A., Vera A., Cenicerros N. (2004). Nitrato en el agua subterránea del Valle de Huamantla, Tlaxcala, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 20: 91-97.

Nuez, F., & Cuartero, J. (Eds.). (2001). Los cultivos hortícolas en invernadero. Ediciones de Horticultura, S.L.

Pérez, J. J., & Santamaría, C. (2019). *Bacillus subtilis* como agente de control biológico y promotor del crecimiento en plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37(1), 95-117.

Remache Idesa, M. A. (2024). Evaluación de la aplicación de elicitores y bioproductos para el control de mildiu (*Pseudoperonospora cubensis* berk. & ma curtis) en pepino (*Cucumis sativus* L.).

Sanchez, E., Sanchez, E., Acosta, A., & González, E. (2021, June). Sistema de riego automatizado IoT aplicado en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus*). In *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología–APANAC* (pp. 523-529).

Soza Álvarez, E. N. (2023). Efecto de combinaciones de sustratos en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero.

Ulloa Frómeta, Y. (2024). Alternativas de fertilización en distintas fases de crecimiento y de cosecha en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Agropecuarias.).

Urrestarazu, M. (2015). *Tratado de cultivo sin suelo* (4ª ed.). Editorial Mundi-Prensa.

9. Anexos



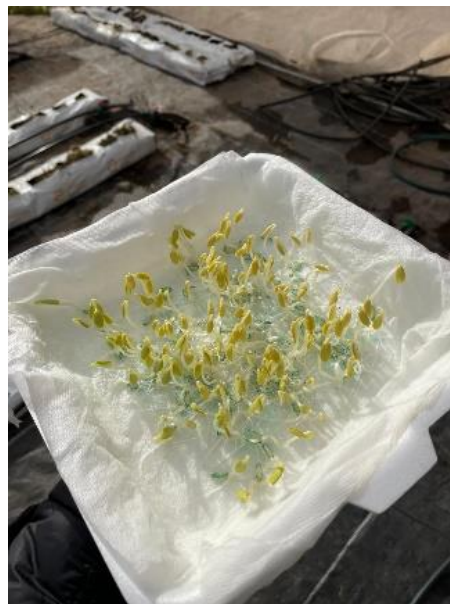
Anexo 1. Obtención de slabs



Anexo 2. Semillas de pepino partenocárpico



Anexo 3. Procedimiento de germinación de las semillas



Anexo 4. Plantas germinadas listas para trasplante



Anexo 5. Raíz de la planta



Anexo 6. Trasplante



Anexo 7. Aplicación de Zeolita para mejorar la retención de humedad



Anexo 8. Medición de la línea de riego



Anexo 9. Instalación de los goteros por planta



Anexo 10. Espinela y Delfan plus



Anexo 11. Instalación del plástico en el invernadero



Anexo 12. Instalación de la base del tutorado con alambre



Anexo 13. Elaboración del bioestimulante de la Zeolita potásica



Anexo 14. Aplicación para el control de mosquita blanca



Anexo 15. Trichoderma, Muralla Max, Espinela y Delfan Plus



Anexo 16. Primera aplicación de Zeolita potásica, Compostea y Bacillus subtilis



Anexo 17. Tutorado con rafia



Anexo 18. Aplicación foliar de silicio y algas marinas



Anexo 19. Primer deschuponado



Anexo 20. Aplicación de fertilizante



Anexo 21. Segundo deschuponado y corte de las primeras hojas



Anexo 22. Primeros brotes



Anexo 23. Desarrollo de los primeros frutos



Anexo 24. Preparación de la solución nutritiva



Anexo 25. Muestra de los drenes



Anexo 26. Aplicación foliar de Cronos



Anexo 27. Etiquetado de bolsas



Anexo 28. Primera cosecha de pepino



Anexo 29. Cosecha del tratamiento II



Anexo 30. Peso de la cosecha del tratamiento III



Anexo 31. Registro de cosecha



Anexo 32. Cosecha



Anexo 33. Aplicación de Muralla más y Espinela