



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Efectividad de fertilizantes orgánicos en el
crecimiento de *Stenocereus queretaroensis* en
Techaluta de Montenegro, Jalisco, México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Bióloga

PRESENTA:

Eloisa Clain Hernández

TUTOR

Dr. Johnattan Hernández Cumplido

Cd. Mx. 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Clain
Hernández
Eloisa
55 76 68 40 86
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
314232366

2. Datos del tutor

Dr.
Johnattan
Hernández
Cumplido

3. Datos del Sinodal 1

Dra,
Guadalupe Judith
Márquez
Guzmán

4. Datos del Sinodal 2

Dr.
Pedro Eloy
Mendoza
Hernández

5. Datos del Sinodal 3

Dra.
Maria Guadalupe
Barajas
Guzmán

6. Datos del Sinodal 4

M. en B.
María Eugenia
Muñiz
Díaz de León

7. Datos del trabajo escrito

Efectividad de fertilizantes orgánicos en el crecimiento de *Stenocereus queretaroensis* en
Techaluta de Montenegro, Jalisco, Mexico
63 pp.
2023

Personalmente considero que he sufrido más que Jesucristo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas (JIMAL) por el financiamiento del proyecto titulado “Efectividad de fertilizantes orgánicos en el crecimiento de *Stenocereus queretaroensis* en Techaluta de Montenegro, Jalisco, México”.

Al proyecto PAPIIT 206422 “Relación de la domesticación de la guayaba (*Psidium guajava* L.) con niveles tróficos superiores” por el apoyo económico que se me otorgó para poder realizar el trabajo.

A los productores de Techaluta, especialmente a Samuel Larios Trill por su atención y por dejarme emplear una parcela de su cultivo de pitayos como objeto de estudio, y a la familia Trill Madrueño que siempre nos recibió con los brazos abiertos en todas las ocasiones.

A los miembros del CIATEC, especialmente a Elizabeth Quintana Rodriguez por realizar los análisis químicos pertinentes a cada uno de los fertilizantes.

A Iván Castellano Vargas.

A Alexis Bernal González, Araceli Romero Pérez y Michelle Ramírez Aguilera por ayudarme en el trabajo de campo y documental, y por apoyarme de todas las formas posibles para poder llevar a cabo el proyecto.

A mi asesor el Dr. Johnattan Hernández Cumplido por aceptarme de imprevisto a media pandemia, darme un lugar y un equipo de trabajo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A Paloma porque le prometí que sería mi agradecimiento número uno, gracias por ser la persona más comprensiva y chistosa, nos unió la cosa más random pero agradezco que se haya quedado porque ahora todo tiene más sentido. Gracias por ser fan de los azulitos, de Taylor y de mis malos chistes.

A Cynthia e Iván que sin ellos mis últimos años hubieran sido muy caóticos, gracias por ser amigos y reconfortarme aun cuando tienen mensajes míos a las 5am preguntando que gusano sería, agradezco mucho haber coincidido con ustedes y tener a los changos satánicos.

A Blanca por ser mi mano derecha en la elaboración de mi tesis y mis presentaciones, por todo el apoyo que me dio en los últimos años, por estar conmigo en taller y sobrevivir, yo no sé qué hubiera sido de mi sin ti.

A Astrid porque a pesar de la distancia siempre estuvo conmigo en todos mis momentos, buenos, bajos y pésimos, por acompañarme en todo el proceso de mi carrera y llegar conmigo hasta el final, espero poder hacer lo mismo por ti. Gracias a ti ahora tengo 8 personas por las cuales me desvivo.

A Irazú porque a pesar de tener momentos donde probablemente me hubiera metido el pie en la calle, se ha quedado conmigo 10 años y me ha enseñado que literalmente todo se puede, aprendí mucho de su valentía y de sus chistes.

A Daniela Iturbide porque me enseñó paciencia durante 8 años de amistad y me vio crecer como persona y como concepto de prepa a universidad, también aprendí que no todos los

ingenieros son feos, te prometo que si one direction regresa ahora si vamos juntas. No me quites a mi primer amor.

A los amigos que hice en la carrera que se han quedado o que han tomado caminos distintos, para ustedes que fueron parte principal de mi formación Carlos, Denisse, Franckie, Erick, Zaira, Andrea, Memo, Fer y Andy.

A los extraños que terminaron siendo parte integral de mi vida aun estando separados por barreras geográficas y de idiomas, Ela, Alejandra, Luisa, Fede, Mika, Maye, Sam, Addy, Bel, gracias por apoyarme siempre.

A las dos Andreas más importantes, Andrea Ramírez alias tenis por apoyarme desde un inicio diciendo que podía lograrlo, te admiro mucho, y Andrea alias H3000 por siempre comprenderme y darme ánimos desde los momentos más extraños hasta los momentos más serios, un día tendrás a tu omega.

A los compañeros de laboratorio que me acompañaron en todo este proceso, Araropeko, Alexis, Aysha, Cárol, Jaime, Fabs, Bruno, Mich y Lau, gracias por hacer mi estadía amena. Araceli y Laura gracias por siempre estar en mis momentos kpop y disfrutarlos conmigo.

A John que si bien es parte del laboratorio, gracias por ser mi asesor y darme cobijo cuando lo necesitaba esta alma en pena, gracias por ser tan comprensivo y por apoyarme y confiar en mí.

Finalmente, a mi familia, a mis papás por no dudar de mi y apoyarme en los años que transcurrió todo, por siempre dejarme tomar las decisiones y aprender de mis aciertos y errores; a mis hermanos por siempre hacerme reír y estar ahí en los momentos necesarios. Gracias por ser mi familia, la naturaleza lo dice no yo.

RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
Fertilizantes inorgánicos	11
Fertilizantes orgánicos	11
Plantas CAM.....	13
Cultivo de Pitaya.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	17
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	18
OBJETIVOS.....	18
General	18
Particulares	18
PREDICCIONES	18
MATERIAL Y MÉTODO.....	19
ZONA DE ESTUDIO.....	19
ESPECIE DE ESTUDIO	20
DISEÑO EXPERIMENTAL	22
<i>Escala macro</i>	22
Biol.....	25
Super T	25
Biol + Guano	26
Green.....	26
Medición de pitayos maduros.....	26
Estructuras reproductivas	26

Colecta.....	26
Caracteres de los frutos	27
Análisis químico de los fertilizantes orgánicos	28
<i>Escala micro</i>	29
Colecta y siembra de semillas	29
Aplicación de tratamientos	30
Medición de plántulas	31
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	33
Escala Macro	33
Escala Micro	34
RESULTADOS	35
ESCALA MACRO	35
ESCALA MICRO	39
DISCUSIÓN.....	41
CONCLUSIÓN.....	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS.....	61

RESUMEN

La pitaya *Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber & Buxbaum, 1961) ha sufrido una expansión acelerada en la región de Sayula, Jalisco en los últimos 20 años, por lo que la relevancia en el uso de fertilizantes es vital para sostener la producción a gran escala que existe actualmente. Los fertilizantes orgánicos estimulan el aumento en la calidad biológica, física y química del suelo, así como de algunos aspectos de crecimiento y fructificación de la planta, y han mostrado un efecto positivo en la calidad del suelo además de constituir soluciones amigables con el ambiente. El objetivo de la presente investigación fue 1) identificar la efectividad de cuatro fertilizantes orgánicos (Biol, Super T, Green y Biol + Guano) en la tasa de crecimiento y la producción de frutos en el cultivo de pitaya, y 2) identificar el fertilizante más efectivo en el crecimiento de las plántulas. Los resultados obtenidos en el experimento mostraron que la producción de frutos de las plantas tratadas con Biol fue la mayor de todas, sin embargo, la dulzura obtenida en el control (agua), así como el peso de los frutos, fue la más alta comparada con Biol y los demás tratamientos. La tasa de crecimiento en plántulas fue mayor con Biol seguido de Biol+Guano, ambos fertilizantes pese a ser los más efectivos en la calidad y cantidad de frutos no fueron los fertilizantes con la mayor concentración de macroelementos (carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre). Los resultados obtenidos muestran que los valores intermedios en la concentración de los macroelementos son los óptimos para una mayor tasa de crecimiento y productividad (crecimiento reproductivo), ya que, una mayor concentración de los macroelementos presentes en los fertilizantes que se aplican a las plantas no le asegura una mejor producción a la planta. En conclusión, se prueba el rendimiento de los fertilizantes orgánicos en las plantas de pitaya, siendo Biol el fertilizante más efectivo para una mayor tasa de crecimiento y crecimiento reproductivo en la planta, aunque con menos peso y dulzor que el tratamiento control.

INTRODUCCIÓN

La Agroecología es una disciplina científica la cual estudia la interacción de los distintos componentes de los agroecosistemas (FAO, 2021) y, se basa en conjuntos de prácticas agrícolas sostenibles que optimicen y establezcan la producción en los sistemas de cultivo. También funge como movimiento social al perseguir papeles multifuncionales para la agricultura, tal como el reforzar la viabilidad económica de las zonas rurales (FAO, 2021). La principal característica de la Agroecología entonces es el buscar soluciones locales y vínculos con la economía (Gutiérrez Cedillo et al., 2008) y los mercados locales sin sacrificar el medio ambiente.

Burbano-Orjuela (2016), menciona que del suelo depende aproximadamente el 95% de los alimentos producidos ya sea de forma directa o indirecta, del cual poco más de la tercera parte está dedicado a la agricultura. En las últimas décadas se ha intensificado el uso de pesticidas y fertilizantes inorgánicos, los cuáles se ha demostrado que tienen efectos negativos en el suelo a mediano y largo plazo (Gutiérrez Cedillo et al., 2008; Zhang et al., 2011). Históricamente los fertilizantes se han utilizado para tener un aumento en la producción, para mejorar la calidad de los productos y las características del suelo para un mayor desarrollo de los cultivos agrícolas (Finck, 2012). Todo lo anterior, rompe con los planteamientos iniciales de la utilidad y viabilidad ecológica y funcional de la agroecología. Por ello, la conciencia sobre el impacto de la contaminación por agentes tóxicos en distintas áreas (ambiental, social y cultural) de las prácticas agrícolas modernas han llevado al planteamiento de un cambio hacia un modelo de agricultura sustentable (Sarandón & Flores, 2009) mediante el uso adecuado de los recursos naturales y medidas para preservar el ambiente (Grageda-Cabrera et al., 2012).

Fertilizantes inorgánicos

El o los tipos de fertilizantes más utilizados en la agricultura actual son los inorgánicos (Wang et al., 2019; Singh et al., 2020), no obstante, estos han comenzado a ser sustituidos por fertilizantes orgánicos. Los fertilizantes inorgánicos son aquellos producidos en fábricas por distintos medios tal como la transformación química o la síntesis de materiales elementales y, son adquiridos únicamente de forma comercial, mientras que los fertilizantes orgánicos son aquellos formados por materiales naturales (Finck, 2012).

El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos afecta al ambiente ocasionando problemas como lo son la eutrofización, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (FAO, 2002, Singh et al., 2020), de la misma manera los fertilizantes inorgánicos afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo al desequilibrar los nutrientes presentes y reponiendo solo tres de ellos (N, P, K) (Karlidag et al., 2010; INIAF, 2012; Toalombo Yumbopatin, 2013; Cabrera Verdesoto et al., 2018). El cultivo se ve directamente afectado por el uso excesivo de los compuestos inorgánicos, impidiéndole a la planta la formación de sustancias naturales como método de defensa (INIAF, 2012; Toalombo Yumbopatin, 2013; Cabrera Verdesoto et al., 2018).

Ejemplos de las afecciones provocadas por los fertilizantes inorgánicos incluyen la alta susceptibilidad de los suelos agrícolas a la acidificación de suelos (Parker et al., 2021), así como, la disminución de la productividad y salud del suelo por la aplicación constante de los fertilizantes inorgánicos (Dogbatse et al., 2021).

Fertilizantes orgánicos

El reemplazo de fertilizantes inorgánicos por orgánicos se hace vital en distintos ámbitos (Chen et al., 2022), para el área agroecológica los factores ambientales, fisiológicos y económicos

son los ámbitos más destacables. El reemplazo de los fertilizantes busca que las alternativas orgánicas permitan contribuir a mantener un equilibrio sustentable, permitiendo así mantener una producción a mediano y largo plazo (Sarandón & Flores, 2009; Cabrera Verdesoto et al., 2018). La forma de obtención de los fertilizantes orgánicos puede ser comercial o casera, sin embargo, ambos cumplen con la función de la nutrición para la planta y el fortalecimiento de la fertilidad del suelo (Rivera & Hensel, 2009).

El aporte que otorgan los fertilizantes orgánicos se da al interior de las plantas activando el fortalecimiento del equilibrio nutricional mediante ácidos orgánicos, vitaminas, aminoácidos, carbohidratos, entre otros, presentes en la relación bioquímica, física y energética establecida entre plantas y suelo (Gana, 2008; Rivera & Hensel, 2009). Los fertilizantes orgánicos pueden ser aplicados de manera foliar o directamente al suelo, al ser aplicados en el follaje de los cultivos en concentraciones no mayores al 50% estimulan el crecimiento y calidad de los frutos (Toalombo Yumbopatin, 2013), y su aplicación se realiza en el momento en el que hay una mayor apertura de estomas en la planta (Rivera & Hensel, 2009), en el caso de las cactáceas sería en por la noche. La aplicación de compuestos orgánicos en el suelo incrementará la concentración de los minerales en el mismo, favoreciendo así la formación de suelos fértiles que tendrán mayor concentración de nutrientes (Rivera & Hensel, 2009).

El uso de los fertilizantes orgánicos modifica positivamente algunas propiedades del suelo (Shi et al., 2020; Chen et al., 2022) tal como, el incremento de la retención de humedad, aumento de materia orgánica, aumento de nitrógeno y energía para el crecimiento y reproducción de la planta. De igual manera, se ha reportado que inducen en la planta un mayor desarrollo radicular, crecimiento, aumento de la biomasa vegetal y de frutos (IFA, 2002; González-Mancilla et al., 2013), y aumento en el rendimiento de varios cultivos (Grageda-Cabrera et al., 2012).

Plantas CAM

Los diferentes tipos de fotosíntesis o asimilación de carbono que tienen las plantas son tres los cuales son C3, C4 y CAM. La principal diferencia entre los tres distintos tipos se da por la incorporación inicial de CO₂ (Nobel, 1991).

Las plantas CAM o “Crassulacean Acid Metabolism” son aquellas con un metabolismo en el cual asimilan el CO₂ atmosférico en ácidos de cuatro carbonos predominantemente de noche y lo metabolizan al día siguiente mediante el ciclo de Calvin (Geydan & Melgarejo, 2005), este se ve afectado por diferentes factores como la disponibilidad de agua, la temperatura y la luz (Nobel, 1983). La fijación de carbono que tienen las plantas CAM es 15% más eficiente que las plantas C3 y 10% por debajo de las C4 (Nobel, 1991). Las plantas CAM han reportado una mayor productividad de biomasa, una mínima pérdida de agua durante el día y se encuentran predominantemente en ambientes más extremos (Griffiths, 1988; Geydan & Melgarejo, 2005; Flores et al., 2022), lo cual les confiere ventaja competitiva, especialmente en el contexto del calentamiento global.

Las plantas con C3 incorporan el CO₂ en los cloroplastos del mesófilo, la ruta del CO₂ para estas plantas se da durante el día empleando los poros estomáticos y eventualmente el estroma de los cloroplastos (Nobel, 1991). Las plantas C4 incorporan el CO₂ inicialmente en el citosol del mesófilo y continúa hasta las células de la vaina del haz, al igual que las plantas C3, la ruta se da durante el día empleando los poros estomáticos y continúan hasta el citosol del mesófilo teniendo acción también en los cloroplastos (Nobel, 1991). Las plantas CAM entonces a diferencia de las plantas C3 y C4 llevan a cabo el proceso de asimilación de carbono por la noche y si las condiciones de las CAM son óptimas pueden alcanzar un nivel de fijación diario similar al de las plantas C4 (Nobel, 1991, Niechayev et al., 2019).

Cultivo de Pitaya

El cultivo de pitaya está expandiéndose a nivel nacional de una manera acelerada debido a su sabor y los atractivos colores de las distintas variedades (Pimienta-Barrios et al., 2004; Quiroz-González et al., 2018). La expansión del cultivo ha sido más marcada en la zona de Sayula, Jalisco, ya que es altamente apreciado por los consumidores de la región y constituir una alternativa para el desarrollo económico regional (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), 2017), ya que es un cultivo que presenta una baja inversión monetaria y energética para el productor, y la demanda de agua que necesita es baja (Pimienta-Barrios et al., 2004; Quiroz-González et al., 2018). Para el caso de Techaluta de Montenegro, la agricultura es el segundo sector económico con mayor generación de empleos IIEG (2018) y el cultivo de *S. queretaroensis* el principal sustento económico. En el cultivo de pitaya en la región, los productores generalmente podan con regularidad los pitayos para obtener plantas con mayor número de brazos, la variedad más trabajada en los cultivos es la variedad mamey, la cual es la más domesticada. En esta práctica, los productores no aplicaban fertilizantes químicos o no se hacía uso de prácticas agrícolas estandarizadas (podas, fertilización, abonado) (Corrales-García et al., 2003); sin embargo, a partir de la expansión del mercado de la pitaya en los últimos 20 años, los productores están en búsqueda de mejorar la producción mediante el uso de agroquímicos para el aumento de la nutrición (protección) de la planta (Zamora-Gutiérrez et al., 2022). La variedad mamey representa el 80% de la producción local (Pimienta-Barrios et al., 1997; Bernal González, 2022); las características destacadas de la variedad mamey son las más cotizadas en el mercado por lo que se vuelve también la más trabajada.

La relevancia para el productor del uso de fertilizantes para la agricultura en el cultivo de la pitaya se vuelve esencial por la producción a gran escala que se tiene, la cual se pretende

incrementar a corto plazo, el aumento de frutos que se espera obtener en la época de colecta requiere la ayuda de activadores biológicos que faciliten el crecimiento y producción de la planta. Igualmente, en la zona se han implementado prácticas agroecológicas como lo son las escuelas de campo, las cuales capacitan a los agricultores de tal manera que puedan tener un cultivo más sostenible que les ayude a producir más mediante el proceso de “aprender haciendo”(FAO, 2016).

A pesar de que existen los cultivos extensivos de pitaya, no se dispone de información suficiente para el cultivo de las plantas bajo este tipo de procesos y que presentan metabolismo tipo CAM.

Existen pocos sistemas de cultivo en cactáceas similares a *S. queretaroensis*, dentro de los que se encuentra el sistema de cultivo del género *Hylocereus*, comúnmente llamado pitahaya o “dragón fruit”, el cultivo del género *Agave* del cual se obtienen licores como lo es el tequila y el mezcal, y el cultivo del género *Opuntia* conocido en México como nopal. Las especies del género *Opuntia* y *Agave* son de los pocos cactus explotados económicamente en zonas áridas, *Opuntia* es utilizado principalmente como alimento para humanos y rumiantes (Ferreira et al., 2022), y para mejoramiento de la calidad del sustrato y mantenimiento de carbono orgánico del suelo (Bautista-Cruz et al., 2018). Los datos reportados en el cultivo de cactáceas muestran que se sigue manteniendo el contenido de carbón orgánico al hacer cambio de uso de suelo, a diferencia de otros cultivos como el de maíz que reducen la cantidad de carbón orgánico presente en el suelo disminuyendo la calidad y fertilidad del suelo (Bautista-Cruz et al., 2018).

Pimienta-Barrios & Nobel (1995), realizaron un estudio, en el que regaron los pitayos de variedad mamey durante ocho meses, únicamente con agua. El resultado del experimento mostró que el agua no tuvo un efecto significativo en el crecimiento vegetativo o en la presencia de azúcar en frutos, sin embargo, al evaluar el desarrollo de las flores y frutos, se observó que los producidos

por los pitayos bajo irrigación presentaron un menor número a comparación de los pitayos en condiciones naturales (Pimienta-Barrios & Nobel, 1995). En comparación al estudio de Pimienta-Barrios & Nobel (1995) evaluando el efecto del agua en la producción y crecimiento de pitayos, el uso de fertilizantes inorgánicos en la pitaya en la región de Sayula ha demostrado no ser efectivo en producción y calidad. De acuerdo con Zamora-Gutiérrez et al., (2022) un set de pitayos experimentales estuvo sometido al uso de fertilizantes inorgánicos Speedfol SQM, Cuprimicin 5 SP ADAMA y Rootex Cosmocel; la efectividad de los fertilizantes inorgánicos en la producción y la calidad de los frutos producidos por la planta no fue la esperada, presentando una baja en la producción de frutos y en la tasa de crecimiento con respecto a plantas regadas solamente con agua.

La efectividad en producción de fertilizantes orgánicos en producciones a gran escala ha sido evaluada en cultivos de pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) en China (Chen et al., 2022), donde los tratamientos empleados fueron el control (no fertilizante) y los fertilizantes fueron biocarbon de bambú y fertilizante a base de cáscara de arroz y paja (tallos secos). El estudio demostró un aumento significativo en la producción de frutos y un mejoramiento en las propiedades del suelo, dichos resultados fueron producto del uso del fertilizante orgánico. Los resultados de la investigación de Chen et al., (2022) prueban la efectividad en cultivos debido al uso de los fertilizantes orgánicos, sin embargo, es importante mencionar que los distintos cultivos van a requerir distintos niveles de nutrientes, sobre todo al tomar en cuenta que los organismos CAM tienen factores de asimilación de nutrientes y agua distintos a los organismos C4 y C3 (Griffiths, 1988; IFA, 2002; Geydan & Melgarejo, 2005).

El objetivo del proyecto es evaluar la efectividad de cuatro fertilizantes orgánicos, Super T, el cual está compuesto por potasio orgánico, calcio, proteínas y aminoácidos; Green, compuesto

principalmente por fósforo, nitrógeno, potasio y microelementos; Biol, elaborado de manera casera con ingredientes como el estiércol de vaca, agua y melaza, y Biol en combinación con Guano, el cual, además de los ingredientes del Biol contiene nitrógeno, fósforo y potasio.

La efectividad de los fertilizantes en el cultivo de pitaya se evaluará en la producción de frutos y la tasa de crecimiento a dos escalas, uno con plantas adultas y otro en el establecimiento de plántulas de *S. queretaroensis*.

JUSTIFICACIÓN

El reemplazo de fertilizantes inorgánicos a fertilizantes orgánicos en los sistemas de cultivo es conveniente tomando en cuenta que se ha mostrado que las propiedades del suelo y de la planta se ven mejoradas con su uso.

El uso de fertilizantes orgánicos para la producción y cultivo de pitaya en el municipio de Techaluta de Montenegro, Jalisco se vuelve importante debido a la magnitud de la producción en el cultivo, ya que tiene potencialmente menos repercusiones en el medio ambiente a diferencia de los compuestos inorgánicos. Los fertilizantes orgánicos son alternativas mucho más económicas que los fertilizantes inorgánicos y, para los productores, son más accesibles los componentes que los integran.

El uso de los fertilizantes orgánicos entonces beneficiará no solo al medio ambiente y la calidad del suelo, sino que también se minimiza el impacto de los frutos comestibles. Los fertilizantes al ser más económicos y fáciles de producir, permite entonces a los productores acercarse cada vez más al objetivo de la agroecología, el cual buscar tener mejores prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente que estabilicen los sistemas de cultivo.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué fertilizante orgánico es el más efectivo para el crecimiento y la obtención de frutos en la variedad de mayor producción de *Stenocereus queretaroensis* en la región de Techaluta de Montenegro?

OBJETIVOS

General

- Evaluar el rendimiento y crecimiento del pitayo *Stenocereus queretaroensis* utilizando cuatro fertilizantes orgánicos y un control.

Particulares

- Identificar el fertilizante orgánico que proporciona a las plantas de *S. queretaroensis* maduras un mayor crecimiento y rendimiento en la producción de frutos.
- Identificar el fertilizante orgánico más efectivo en el crecimiento de plántulas, provenientes de semillas de *S. queretaroensis*, durante un periodo de tres meses.

PREDICCIONES

1. El fertilizante orgánico más efectivo en todos los organismos será el Biol, reflejando la efectividad en la tasa de crecimiento.
2. El número de frutos producidos junto con sus características y la tasa de crecimiento del pitayo estará relacionado a la efectividad del fertilizante.

MATERIAL Y MÉTODO

Zona de estudio

El municipio de Techaluta de Montenegro se ubica en la región centro-sur del estado de Jalisco y es el área con la mayor producción de pitaya en México (Pimienta-Barrios & Nobel, 1994). Este municipio se encuentra ubicado en las coordenadas: 20°5' latitud N, 103° 32' longitud, con una altitud de 1404 m.s.n.m. (IIEG2018) y cuenta con una superficie aproximada de 80 km² (Fig. 1). El clima predominante es semiárido cálido, con una temperatura media anual de 18.7°C (7.7°C-29.4°C) y la precipitación media anual es de 800 mm (CEA & Gobierno del Estado de Jalisco, 2015; IIEG, 2018); el suelo predominante es Feozem (60.4%) con profundidad variable, el 31.6% de la cobertura del suelo está destinado al campo agrícola. La explotación agraria es el segundo sector económico con mayor productividad monetaria en el municipio (IIEG, 2018).

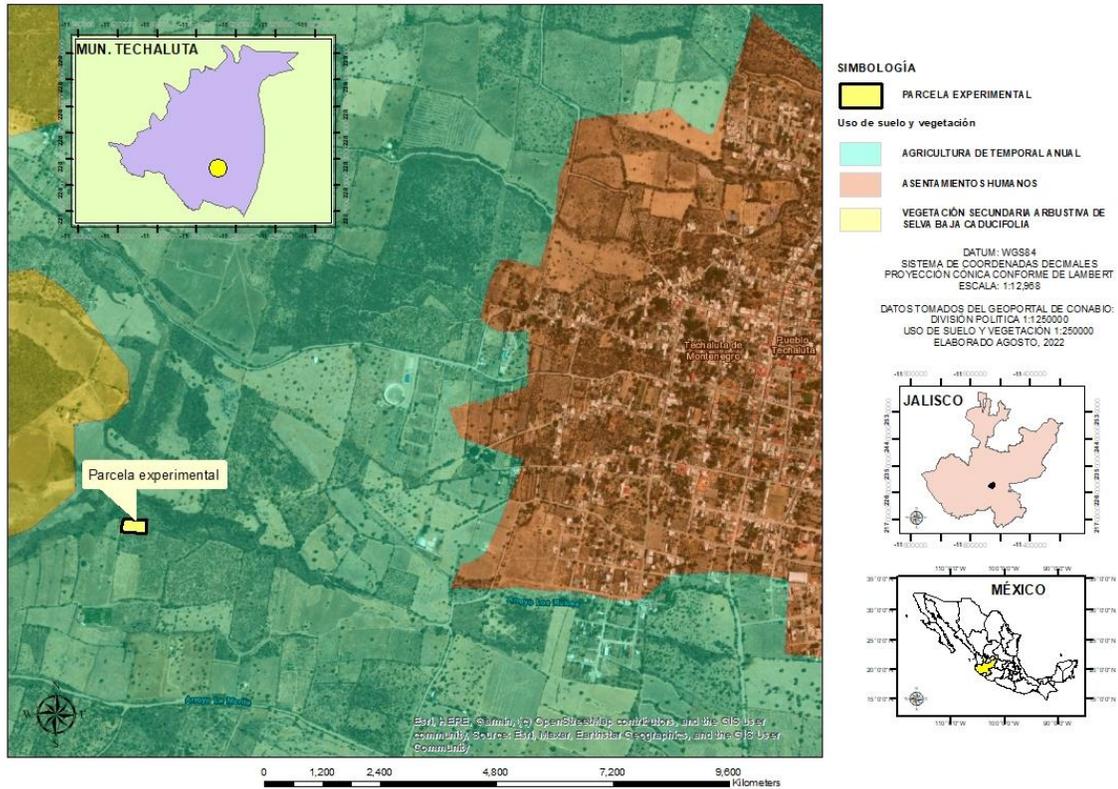


Fig. 1. Mapa de la zona de estudio. Municipio Techaluta de Montenegro, Jalisco en punto amarillo indica la ubicación de la parcela experimental. Elaborado por Ramírez-Aguilera, M.Y., 2022.

Especie de estudio

El pitayo *Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber & Buxbaum, 1961) es una especie endémica del centro-oeste de México y está ampliamente distribuido en las regiones áridas de los estados de Jalisco, Colima, Nayarit, Aguascalientes, Guanajuato, Michoacán, Estado de México, Querétaro y Zacatecas (Pimienta-Barrios & Nobel, 1994). Es un cactus columnar arborescente que puede alcanzar hasta 10 m de alto con un tronco corto y numerosos tallos verticales, los tallos cilíndricos generalmente presentan ocho costillas prominentes y un diámetro de entre 13 a 18 cm. Las flores del cactus tienen de 10 a 14 cm de largo y crecen desde areolas a lo largo de la mitad superior de las ramas y la época de floración comienza a principios de febrero culminando en abril

(Pimienta-Barrios & Nobel, 1994). El fruto producido por el pitayo es conocido con el nombre de pitaya y varía de globoso a ovoide, tiene de 6 a 8 cm de largo y madura a finales de abril hasta mediados de junio; (Salcedo-Pérez & Arreola-Nava, 1991; Ibarra-Cerdeña et al., 2005). Las semillas provenientes del fruto, por su parte, son numerosas, pequeñas, negras y frágiles (Pimienta-Barrios & Nobel, 1994).

Las pitayas cuentan con un gran número de variedades (tenamaxte, cristalina, blanca, amarilla, morada, sandía y mamey por mencionar algunas), sin embargo, la que más destaca es la variedad mamey por su pulpa roja, mayor tamaño, y dulzura; las características mencionadas le confieren el título de “La reina de las pitayas” (Fig. 2). La variedad empleada en el estudio fue la mamey debido a que representa el 80% de la producción local (Pimienta-Barrios et al., 1997; Bernal González, 2022); de acuerdo con los productores las características destacadas de la variedad mamey son las más cotizadas en el mercado y buscadas por los consumidores, sin embargo, es la variedad que han observado presenta un mayor número de flores abortadas (Bernal González, 2022).



Fig. 2. A) Cultivo de *S. queretaroensis*, b) Brazos de pitayo con frutos inmaduros, c) Fruto (pitaya) maduro, y d) Pitaya pelada en exposición para su venta. Elaborado por Clain Hernández, E., 2023.

Diseño experimental

Este se realizó en dos escalas: macro (campo) y micro (laboratorio), la primera se centró más en la producción de fruta mientras que la segunda se centró más en la tasa de crecimiento vegetativo de las plantas, las cuales se describen a continuación.

Escala macro

En enero de 2021 mediante la colaboración con la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Lagunas (JIMAL) y el gobierno municipal de Techaluta en conjunto con algunos productores de

pitaya del municipio inició las “escuelas de campo”, entre las que se pudo conseguir una parcela experimental para poder probar cuatro formulaciones orgánicas en una parcela particular con dominancia de la variedad mamey. La finalidad de dichas escuelas es capacitar a los agricultores de tal manera que puedan tener a su alcance un dominio y adopción de tecnologías, es decir, un cultivo más sostenible que les ayude a producir más mediante el proceso de “aprender haciendo”(FAO, 2016).

Las formulaciones utilizadas para los experimentos fueron proporcionadas por la JIMAL y están basadas en algunos cultivos de la región. La parcela que se utilizó para el estudio cuenta con plantas de la misma cohorte y de la misma variedad (aproximadamente 20 años de trasplante a partir esqueje). La primera fecha de revisión de la parcela (16 de enero) consistió en la inspección y etiquetado de las plantas, así como de la medición de varios caracteres vegetales, (número de brazos y la altura de cada pitayo), esto para corroborar que las plantas dentro de la parcela no presentarán diferencias significativas en tamaños o número de brazos y que pudiera tener un efecto en la sobreestimación de efectos.

En la parcela experimental se seleccionaron 80 plantas de la variedad mamey distribuidos en seis hileras, el espacio de separación entre hileras es de cuatro metros mientras que la separación de cada planta dentro de las hileras fue de un metro. Las plantas se dividieron en bloques de cuatro plantas por tratamiento, dando un total de cuatro bloques por tratamiento, simultáneamente cada planta se etiquetó con un código único utilizando etiquetas de aluminio (Fig. 3)

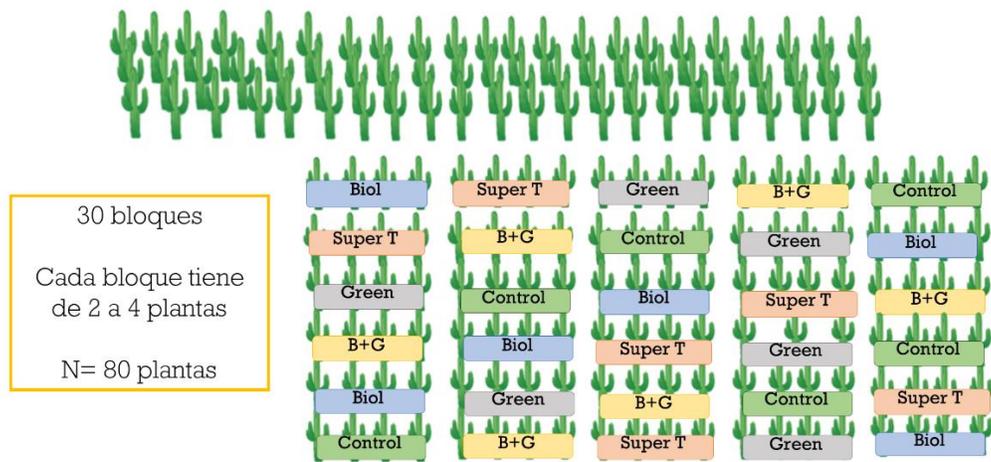


Fig. 3. Marcaje de pitayos por tratamientos en parcela experimental. Los tratamientos se dividen en bloques, cada bloque contenga de 2 a 4 plantas de tal forma que se tenga un total de 80 pitayos marcados como se muestra en el esquema. Elaborado por Hernández Cumplido, J., 2021.

El uso de cuatro diferentes fertilizantes orgánicos tuvo como propósito determinar sus efectos en la producción de frutos, por lo que se realizó un tratamiento con la aplicación de los fertilizantes cada 21 días, a partir del 16 de enero y reduciendo la cantidad de aplicación hasta el 23 de julio, que fue la época de término de la etapa de recolección de frutos de las plantas maduras por parte de los productores (ver Anexo 1).

La aplicación de los compuestos a partir de la post-cosecha en julio se hizo con espacio de 60 días debido a que la planta ya no se encontraba en época de producción y la frecuencia de aplicación se disminuyó. La aplicación de cada uno de los compuestos y del control se realizó empleando un aspersor manual de mochila (LOLA 20 litros, marca Swissmex), la solución se asperjó a razón de 1 lt por planta en los brazos de cada pitayo (Anexo 2). La aplicación se hizo a

partir de las 18:00 horas ya que el pitayo presenta un metabolismo ácido de crasuláceas (CAM) y debido a que, en ese horario, con las temperaturas diurnas se llega a alcanzar la máxima productividad fotosintética y se evitan temperaturas extremas en las que las plantas no puedan absorber los compuestos para su crecimiento (Domínguez de la Torre, 1995; Nobel & de La Barrera, 2003). El metabolismo CAM se caracteriza por abrir los estomas de las plantas en la noche para poder difundir el CO₂ a través del organismo, y durante el día dichos estomas permanecen cerrados lo que evita la pérdida de agua de la planta (Raven et al., 2014). Los compuestos, a pesar de ser orgánicos, al aplicarlos se tomaron en cuenta todas las medidas de seguridad (vestimenta de protección: overol de materiales sintéticos, guantes de nitrilo, lentes de seguridad, botas y máscara respiratoria).

Los tratamientos se conforman de cuatro fertilizantes orgánicos más el control (agua), los fertilizantes empleados para cada tratamiento fueron: Biol, Super T, Green y la combinación de Biol+Guano.

Biol:

Es compuesto líquido elaborado de manera casera siendo sus principales ingredientes estiércol de vaca, agua y melaza (Rivera & Hensel, 2009; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, s/f).

Super T

Se compone calcio y potasio orgánico soluble, proteínas y aminoácidos orgánicos, activadores biológicos, e ingredientes inertes (EDOCA, 2017).

Biol + Guano

Se compone del biol mencionado anteriormente y de guano, compuesto principalmente de nitrógeno, fósforo y potasio, cabe mencionar que el contenido de nitrógeno del estiércol de diferentes animales depende esencialmente del animal (Niven Martínez, 2022).

Green

Está conformado por nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos (Go Green Fertilizantes, s/f). Las plantas control fueron asperjadas con la misma cantidad de agua que aquellas que fueron asperjadas con tratamientos (ver Anexo 3 para más especificaciones).

Medición de pitayos maduros

La tasa de crecimiento de los pitayos fue registrada en tres tiempos distintos: precosecha, cosecha y post cosecha, la altura se tomó del brazo más alto del pitayo con ayuda de un flexómetro y un carrizo. La altura del brazo más alto se escogió con la finalidad de comparar las medidas de los tres tiempos y observar si existió un efecto del tratamiento sobre la tasa de crecimiento de los pitayos

Estructuras reproductivas

Durante la época de floración y producción de frutos se realizaron tres conteos cada 18 días, en cada censo se registraron el número de botones florales, de flores y de frutos inmaduros producidos por planta-. El primer conteo se llevó a cabo el 5 de marzo de 2021, el segundo conteo fue el 22 de marzo de 2021 y el tercer conteo se llevó a cabo el 9 de abril de 2021.

Colecta

La colecta de frutos no es uniforme, sino que conforme van madurando van siendo cortados, esto debido al corto tiempo de vida de anaquel que tienen (de 1 a 2 días). La colecta de

frutos maduros se realizó el 15 de mayo, es decir, época de recolección, los frutos colectados se seleccionaron al azar de pitayos de todos los tratamientos (Fig. 4). El número de frutos producidos por pitayo y por tratamiento fue una de las mediciones realizadas en la época de colecta.



Fig. 4. Colecta de frutos maduros la cual se hace con un carrizo y con un gancho para evitar que el fruto caiga. (Foto tomada por Clain-Hernández, E., 2021).

Caracteres de los frutos

Se colectaron cinco frutos de diez pitayos por tratamiento escogidos al azar. Los frutos colectados se separaron por planta y se determinó el peso total del fruto y dulzura de cada fruto (Fig. 5). Los frutos se pesaron utilizando una balanza (VELAB), para evitar la variación del peso con respecto a su estado de maduración. La colecta y el pesaje de los frutos se llevaron a cabo al mismo tiempo entre tratamientos y solo se colectaron frutos listos para la venta (maduros), esto basándonos en la experiencia de los colectores.

La dulzura del fruto °Brix (azúcar en pulpa) se midió con ayuda de un refractómetro de bolsillo (marca Kuhny CH-3123)).



Fig. 5. Pesaje de frutos. Izq. Pesaje de fruto completo (peso total). Der. Pesaje únicamente de la cáscara del fruto. (Fotos tomadas por Clain-Hernández, E., 2021)

Análisis químico de los fertilizantes orgánicos

El análisis elemental para determinación de CHONS es un análisis que permite una rápida identificación de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S), u oxígeno (O), dichos elementos son medidos en porcentaje con respecto al peso; se tomó una muestra por tratamiento y se empleó el análisis en todas las muestras colectadas.

El procedimiento del análisis consistió en colocar 10 g de muestra de cada fertilizante en una estufa (Sartorius MA40, Gottingen, Al) a 120 °C por 10 minutos aproximadamente para eliminar la humedad de las muestras. Las muestras se molieron posterior al secado y se colocó 1 mg de muestra dentro de reacti-viales para procesarlos en un espectrofotómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente ICE 3000 (Thermo Fisher Scientific, Pittsburgh, PA, USA). El análisis se realizó en el Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, León Guanajuato, A.C.).

Escala micro

El experimento realizado en escala micro consistió en germinar semillas de pitayos de variedad mamey para medir el crecimiento de las plántulas y comparar dicho crecimiento a través del tiempo entre los tratamientos empleados en el experimento macro.

Colecta y siembra de semillas

Las semillas de pitayo se obtuvieron al colocar y dejar reposar la pulpa del fruto en una cubeta con agua. La pulpa remojada fue colada y separada de las semillas, las semillas recolectadas fueron secadas al sol y separadas por tratamiento en bolsas de papel de estraza para posteriormente ser sembradas en almácigos (Fig. 6). La siembra de las semillas se realizó mediante un diseño de bloques al azar en los almácigos distribuyendo 5 semillas por replica en un total de 130 réplicas por tratamiento, de tal manera que se cumplió con un total de 650 réplicas por tratamiento.

Las semillas se lavaron con una disolución de cloro al 10 % antes de ser sembradas en los almácigos durante 30 segundos (Fig. 7). El total de semillas obtenido para la siembra fue de 650 gr, teniendo en promedio de 100 a 140 gr por tratamiento.



Fig. 6. Secado de semillas al sol para poder guardar y separar correctamente. (Foto tomada por Clain-Hernández, E., 2021).



Fig. 7. Semillas separadas por tratamiento. Las bolsas contienen las semillas secas y los tubos etiquetados contienen la dilución en la que fueron limpiadas las semillas. (Foto tomada por Clain-Hernández, E., 2021).

El sustrato empleado para la siembra fue una mezcla 50:50 de tezontle y zeolita, el cual fue esterilizado previo a la siembra (Fig. 8).



Fig. 8. Sustrato empleado para la siembra de semillas. Izq. Sustrato 50:50 tezontle-zeolita. Der. Siembra de semillas en el sustrato ya esterilizado. (Fotos tomadas por Clain-Hernández, E., 2021).

Aplicación de tratamientos

La cantidad de fertilizante empleado para el riego de las plántulas se calculó tomando como base la aplicada para pitayos maduros, de tal forma que fuese correspondiente al tamaño y área que se iba a emplear en la siembra de semillas (ver Anexos 2 y 4). La dilución de los tratamientos se aplicó directamente al sustrato por primera vez hasta la aparición de las hojas verdaderas; el riego previo a la aparición de hojas verdaderas se realizó únicamente con agua (Fig. 9). La aplicación de los tratamientos se realizó con goteros y se hizo como en el experimento de escala macro, después de las 18:00 horas (sin sol directo) debido al metabolismo que presenta *S. queretaroensis*. La aplicación de los tratamientos se realizó cada tres semanas (ver Anexo 5).



Fig. 9. Riego de plántulas. Aplicación con gotero de tratamiento directamente al sustrato posterior a la salida de hojas verdaderas. (Foto tomada por Clain-Hernández, E., 2021).

Medición de plántulas

El experimento fue controlado con un régimen de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Los almácigos fueron colocados en un cuarto y cubiertos con un domo de plástico para generar humedad y simular el experimento lo más posible a las condiciones naturales de *S. queretaroensis*.

La tasa de crecimiento en plántulas, con ayuda de un Vernier (PRETUL), fue inicialmente medida en el momento en el que el brote comenzó a aparecer, es decir, posterior a la aparición de las primeras hojas verdaderas (Fig. 10). La medición del crecimiento de las plántulas se realizó durante tres meses teniendo, se llevaron a cabo semanalmente durante la primera mitad de los tres meses, y cada dos semanas durante la segunda mitad dando un total de siete mediciones. Las mediciones se realizaron espaciadas de dicha forma ya que después del primer mes, el crecimiento de las plántulas no era tan notorio como al inicio y más bien comenzó a ser observable y medible pasadas las dos semanas.



Fig. 10. Medición de plántulas hecha con un Vernier. (Foto tomada por Clain-Hernández, E., 2021).

Análisis Estadísticos

El análisis y almacén de datos se llevaron a cabo en los programas de Excel de Microsoft 365 v.2016, RStudio© 2022.07.01 Build 554 y JMP® 11.0.0 v.2013.

Escala Macro

La altura de todos los pitayos en las distintas temporadas se ajustó a la normal mediante la prueba de Shapiro-Wilks. La prueba empleada para las alturas fue un modelo lineal generalizado (GLM). El modelo se generó ocupando el tratamiento y el tiempo como factores fijos, como efecto de modelo se empleó un factorial completo lo que permitió evaluar los factores separados y su interacción.

Los datos de los frutos totales producidos por planta por tratamiento, es decir el número de frutos que se obtuvieron de cada planta por tratamiento, no cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad por lo que las pruebas que se le realizaron corresponden a pruebas estadísticas no paramétricas. La prueba que se empleó fue la prueba de Kruskal-Wallis con una prueba *post-hoc* para cada par mediante el método de Wilcoxon.

Para el peso de los frutos, los datos si se ajustaron a una distribución normal de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilks por lo que se elaboró un Análisis de Varianza de un factor (ANOVA), debido a que se encontraron diferencias significativas en los resultados se hizo una comparación de todas las medias mediante la prueba Tukey.

Los datos obtenidos de la medición de azúcar en pulpa no se ajustaron a los supuestos de homocedasticidad y normalidad, por lo que se les aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. El resultado de la prueba arrojó diferencias significativas por lo que se hizo una comparación para cada par mediante el método de Wilcoxon.

Los datos obtenidos del análisis químico de los tratamientos cumplieron el supuesto de normalidad y homocedasticidad por lo que se realizó un ANOVA, los datos arrojaron diferencias significativas en tres de los cuatro bioelementos por lo que se elaboró una prueba *post hoc* mediante la comparación de todas las medias con la prueba de Tukey.

Escala Micro

Los datos completos de la tasa de crecimiento de las plántulas fueron identificados como datos paramétricos bajo el supuesto de normalidad y homocedasticidad. La prueba empleada para el análisis de datos de la tasa de crecimiento fue un GLM. El modelo se generó ocupando los tiempos y el tipo de tratamiento como factores fijos, como efecto de modelo se empleó un factorial completo permitiendo evaluar los factores y su interacción.

RESULTADOS

Escala Macro

Los resultados arrojados por el GLM para la altura de los pitayos maduros muestran una $p > 0.05$ en el apartado de la interacción de los factores (Tabla 1). La interacción de los factores al tener $p > 0.05$ indica que la tasa de crecimiento de los pitayos pertenecientes a los distintos tratamientos a través del tiempo no mostró diferencias significativas entre sí. (Tabla 2)

Tabla 1. Resultados del análisis del modelo lineal generalizado (GLM) del crecimiento de pitayos maduros a través del tiempo por tratamiento y su interacción

Factores	g. l.	x^2	<i>P</i>
Tratamiento	4	7.643	0.105
Tiempo	2	6.490	0.039
Tratamiento*Tiempo	8	0.433	0.999

Tabla 2. Crecimiento de pitayos maduros a través del tiempo por tratamiento. Los datos representan media \pm error estándar de tres mediciones y su significancia ($p > 0.05$).

Tratamiento	Medición 1 (m)	Medición 2 (m)	Medición 3 (m)	<i>P</i>
	17.may.21	17.sep.21	17.dic.21	
Biol	2.92 \pm 0.26	2.88 \pm 0.25	3.04 \pm 0.26	$p > 0.05$
Biol + Guano	3.25 \pm 0.09	3.15 \pm 0.09	3.37 \pm 0.09	$p > 0.05$
Control	3.01 \pm 0.12	3.00 \pm 0.15	3.20 \pm 0.17	$p > 0.05$
Green	3.11 \pm 0.10	3.01 \pm 0.10	3.27 \pm 0.11	$p > 0.05$
Super T	3.05 \pm 0.08	3.06 \pm 0.08	3.30 \pm 0.10	$p > 0.05$

El número de frutos producidos por planta por tratamiento presentó diferencias significativas ($\chi^2=10.28$, g.l.=4,78, $p < 0.05$) Las plantas tratadas con Biol produjeron una mayor cantidad de frutos (58 \pm 9 frutos por planta) (media \pm error estándar) seguidos por plantas con el tratamiento Biol+Guano (39 \pm 8). Las plantas con valores más bajos fueron Super T (32 \pm 5), seguido de Green (29 \pm 7) y siendo Control (25 \pm 4) aquel que tuvo el número de frutos producidos más bajo. (Fig. 11).

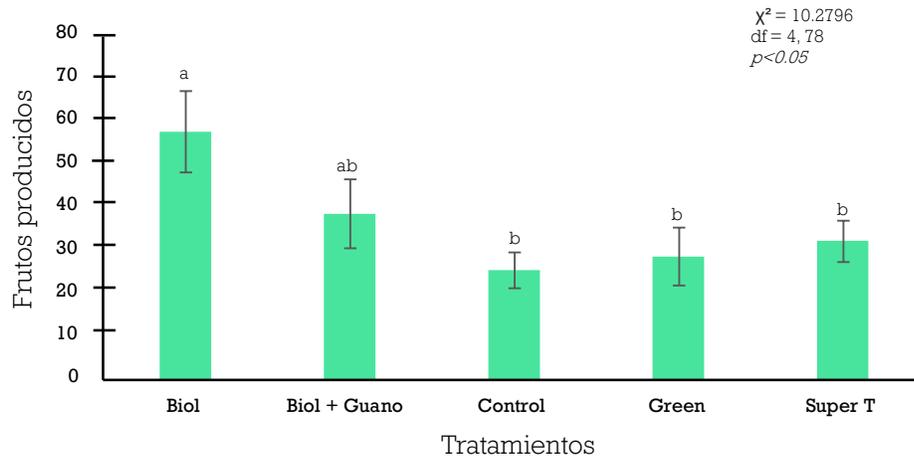


Fig. 11. Número de frutos producidos promedio por tratamiento. Letras distintas significan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El peso total de los frutos obtenidos por tratamientos mostró diferencias significativas entre tratamientos ($F_{(4, 205)} = 11.95, p < 0.05$). Los tratamientos de Biol+Guano ($122.8 \pm 4.4g$) y Control ($122.3 \pm 6.4g$) tuvieron los frutos más pesados, seguidos por los frutos con tratamiento Green ($118.8 \pm 3.8g$). Los frutos menos pesados fueron los que tuvieron como tratamiento a Super T ($101.8 \pm 3.5g$) y Biol ($88.8 \pm 4.3g$) (Fig. 12).

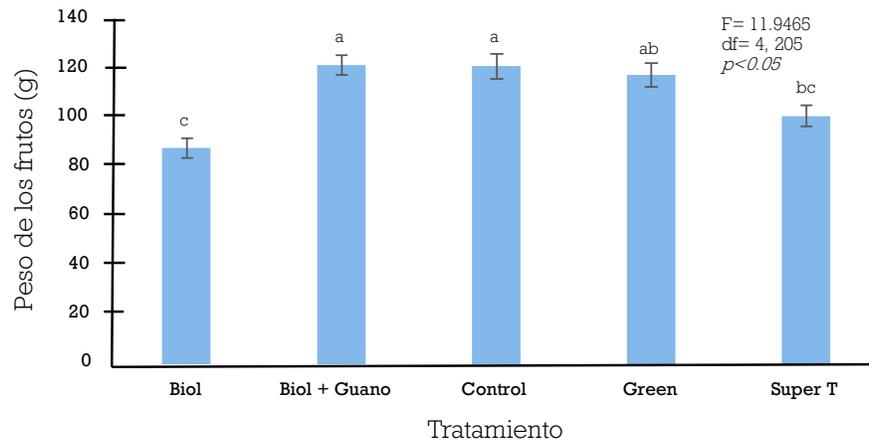


Fig.12. Peso total promedio (g) de frutos por tratamiento. Letras distintas significan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p<0.05$).

Los °Brix (azúcares en pulpa) presentes en frutos por tratamiento fueron significativamente diferentes ($\chi^2=20.19$, g.l.= 4, $p<0.05$). Los frutos con las cantidades más altas de azúcar fueron aquellos obtenidos de plantas con los tratamientos de Control ($11.6\pm 0.31^\circ\text{Brix}$) y Green (11.4 ± 0.33), seguidos por los del tratamiento Biol (11 ± 0.20). Por último, los frutos con menor cantidad de azúcar correspondieron a los tratamientos de Biol+Guano (10.6 ± 0.28) y Super T (10.1 ± 0.31) (Fig. 13).

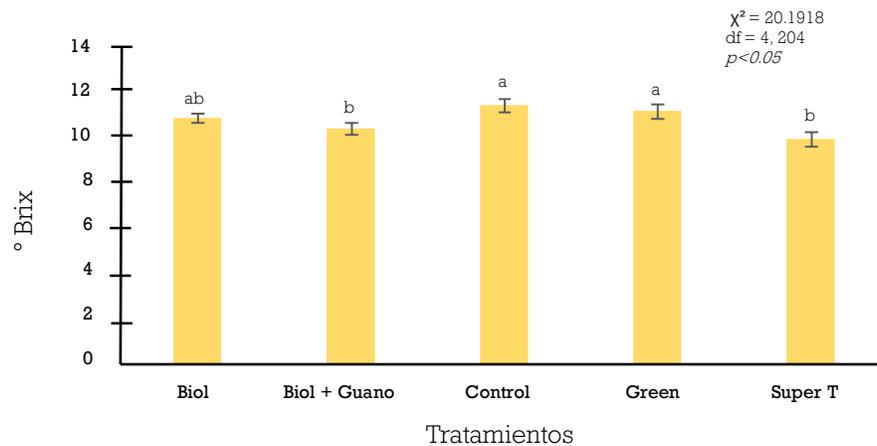


Fig. 13. Cantidad de azúcar en pulpa promedio (° Brix) por tratamiento. Letras distintas significan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La concentración percentil de tres de los cuatro bioelementos presentes medidos en los fertilizantes mostró diferencias significativas (Fig. 14). La concentración medida en porcentaje de Nitrógeno más alta se dio en el Guano ($5.18 \pm 0.34\%$), componente de la combinación Biol+Guano, seguida de Biol ($2.46 \pm 0.39\%$) y Super T ($2.66 \pm 0.06\%$) ($F_{(8)} = 25.01$, $p < 0.05$). La concentración percentil de Carbono mostro diferencias significativas ($F_{(8)} = 221.28$, $p < 0.05$) con todos los tratamientos, siendo Super T ($76.37 \pm 2.28\%$) el de más alto porcentaje, seguido por Guano ($51.47 \pm 1.37\%$) y Biol ($29.56 \pm 0.61\%$). El Hidrógeno tuvo la mayor concentración en Super T ($12.59 \pm 0.68\%$), seguido por Guano ($8.42 \pm 2.39\%$) y finalmente la de menor concentración perteneciente a Biol ($5.44 \pm 0.46\%$) ($F_{(8)} = 6.07$, $p < 0.05$).

Finalmente, el porcentaje de Azufre ($F_{(8)} = 3.70$, $p > 0.05$) presente en los fertilizantes, a diferencia de los elementos anteriores, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos Biol ($1.21 \pm 0.04\%$), Guano ($2.43 \pm 0.12\%$) y Super T ($2.60 \pm 0.66\%$).

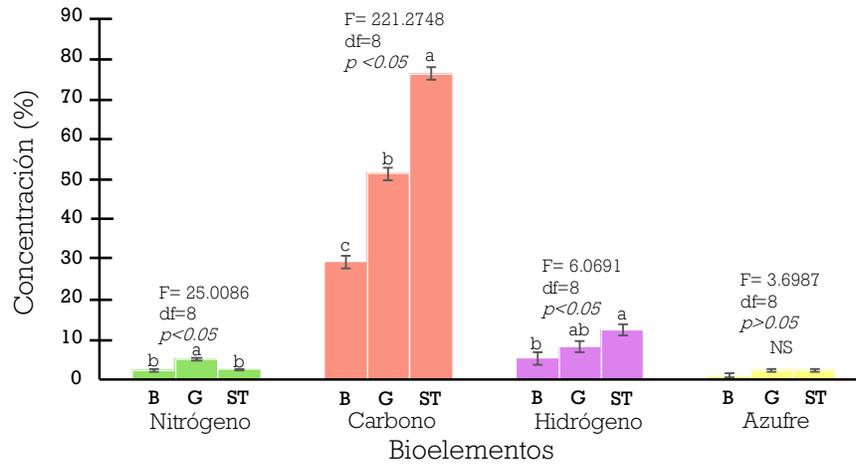


Fig. 14. Concentración promedio en porcentaje de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno y Azufre (CHNS). En cada tratamiento. Letras distintas significan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Escala Micro

El GLM realizado para las plántulas en cada factor y en su interacción (tratamiento*tiempo) obtuvo $p < 0.05$ (Tabla 3). Se encontraron diferencias entre tiempos, entre tratamientos y entre tratamientos por tiempo. La interacción de los factores al presentar $p < 0.05$ indica diferencias significativas en el crecimiento de las plántulas por tratamiento a través del tiempo (Tabla 4).

Tabla 3. Resultados del análisis GLM de la tasa de crecimiento de plántulas a través del tiempo por tratamiento y su interacción.

Factores	G.L.	X^2	P
Tratamiento	4	2396.9721	<.0001
Tiempo	6	2494.2557	<.0001
Tratamiento*Tiempo	24	2397.8109	<.0001

Tabla 4. Crecimiento de plántulas de pitayo a través del tiempo por tratamiento. Los datos representan la media \pm error estándar de siete repeticiones. Letras distintas significan diferencias significativas ($p < 0.05$), asignando la letra A al último tiempo de medición que contiene los valores (mm) más altos, y asignando la letra F a los valores más pequeños.

Trat	T1 (mm)	T2(mm)	T3(mm)	T4(mm)	T5(mm)	T6(mm)	T7(mm)	P
Biol	0.36 \pm 0.02 F	0.67 \pm 0.02 F	1.04 \pm 0.03 E	2.02 \pm 0.08 D	2.45 \pm 0.08 C	3.74 \pm 0.11 B	4.40 \pm 0.13 A	<0.001
Biol + Guano	0.34 \pm 0.02 F	0.70 \pm 0.02 EF	1.01 \pm 0.03 E	2.26 \pm 0.10 D	2.70 \pm 0.11 C	4.30 \pm 0.16 B	4.98 \pm 0.17 A	<0.001
Control	0.46 \pm 0.04 D	0.64 \pm 0.04 CD	1.00 \pm 0.07 BC	1.25 \pm 0.08 B	1.37 \pm 0.09 B	2.32 \pm 0.15 A	2.45 \pm 0.15 A	<0.001
Green	0.26 \pm 0.02 E	0.51 \pm 0.02 DE	0.80 \pm 0.02 D	1.74 \pm 0.07 C	2.25 \pm 0.06 B	3.64 \pm 0.11 A	3.74 \pm 0.11 A	<0.001
Super T	0.24 \pm 0.01 F	0.55 \pm 0.01 E	0.85 \pm 0.01 D	1.82 \pm 0.07 C	2.28 \pm 0.06 B	3.70 \pm 0.11 A	3.79 \pm 0.11 A	<0.001

DISCUSIÓN

El uso de fertilizantes orgánicos empieza a ser mundialmente reconocido como una alternativa importante para una producción sostenible (FAO, 2002, 2021; Gutiérrez Cedillo et al., 2008), por lo que la implementación de estos compuestos en cultivos importantes localmente es relevante. La implementación de fertilizantes orgánicos en plantas como cactáceas subyace como un gran reto debido a que, a nivel mundial, muy pocas especies de esta familia se explotan comercialmente para producción de fruta específicamente. Las cactáceas explotadas para producción principalmente de fruta son aquellas que dan la pitahaya (*Hylocereus* sp.) las tunas (*Opuntias* sp.) y la pitaya (*Stenocereus* sp.) ambas siendo especies importantes en cultivos locales, sin embargo, la principal cactácea que es explotada para producción de fruta en la región de Sayula es *S. queretaroensis*.

Las investigaciones realizadas con respecto al tema de efectividad de fertilizantes orgánicos se han llevado a cabo principalmente con fertilizantes sólidos, sin embargo, el proyecto presentado evaluó la efectividad con fertilizantes del tipo líquido, añadiendo así nuevos datos a los trabajos del área. La presente investigación fue realizada en un cultivo extensivo de cactáceas, volviéndola una de las primeras evidencias en evaluar la efectividad de fertilizantes de tipo líquido en la producción y tasa de crecimiento.

El comportamiento fenológico que presenta *S. queretaroensis* varía dependiendo del tipo de crecimiento (Chandler, 1962; Ryugo, 1988; Domínguez de la Torre, 1995; Pimienta-Barrios et al., 2004), es decir, el crecimiento reproductivo de la planta se da particularmente en la temporada de invierno (diciembre-febrero) y finaliza al inicio de primavera (marzo-abril) (Lomeli & Pimienta, 1993; Domínguez de la Torre, 1995), mientras que el vegetativo ocurre en otoño y principios de invierno (octubre a diciembre). La competencia y demandas metabólicas de las

cactáceas es menor ya que los tipos de crecimiento no se sobrelapan permitiendo así una distribución regulada en los distintos órganos de las plantas (Pimienta-Barrios & Nobel, 1998).

La tasa de crecimiento observada en el experimento mostró ser un resultado no significativo indicando que no hubo diferencias en el crecimiento de los pitayos maduros en distintas temporadas independientemente del tratamiento empleado. La no significancia en el crecimiento vegetativo se puede explicar por la fenología de la planta, tomando como factor principal la temporalidad dado que el crecimiento vegetativo se da principalmente en las épocas finales de verano y en otoño (Pimienta-Barrios & Nobel, 1998), siendo una temporalidad distinta a la que se asperjaron los tratamientos y las fechas de toma de medidas. La temporada en la que se aplicaron los tratamientos fue durante la temporada seca, el riego en temporada seca se ha demostrado que no estimula la tasa de crecimiento del pitayo (Domínguez de la Torre, 1995), igualmente la no significancia puede analizarse al plantear que hay eventos ecológicos, que no fueron analizados, ocurriendo en esa temporalidad.

El rendimiento en producción de frutos ha sido estudiado por Pimienta-Barrios & Nobel, (1995) en pitayos maduros, el experimento consistió en la comparación de la producción y calidad de frutos en pitayos irrigados con agua comparándolos con pitayos sin riego. Los resultados correspondientes a la producción arrojaron que los pitayos irrigados con agua tuvieron un bajo nivel de producción de frutos.

Toalombo Yumbopatin (2013), evaluó la efectividad del biol en cultivos de moras (*Rubus glaucus* Benth), este fertilizante fue comparado con cultivos control. El biol en combinación con distintos tipos de estiércol (bovino, cerdo o cobayo) mostró tener un mayor rendimiento en los cultivos de moras en los siguientes parámetros: número de brotes, inflorescencias y número de frutos producidos. El biol aplicado en los cultivos de moras obtuvo resultados en producción

similares a los obtenidos en este experimento donde se empleó biol en cultivos de pitaya, ya que mostró ser el fertilizante líquido más efectivo en el rendimiento de las plantas a diferencia del control. El biol en el cultivo de moras produjo un promedio de 14.6 frutos mientras que el control solo produjo un promedio de 8.53 frutos, es decir, produjeron 1.7 veces más frutos las plantas con fertilizante orgánico, de igual manera se mostró que el biol en combinación con excremento de cuyo produjo una cantidad alta de frutos a diferencia del tratamiento control (Toalombo Yumbopatin, 2013).

El uso y la efectividad de los fertilizantes orgánicos se ha reportado que incrementa la eficiencia en la nutrición de la planta, una mayor tolerancia al estrés abiótico y mejora la calidad de cultivo, lo cual permite que exista una disponibilidad adecuada de nutrientes dando paso a una mayor productividad en la planta (Calvo & Kloepper 2014; Contreras-Cauich et al., 2021). El uso de fertilizantes orgánicos y su efectividad en el rendimiento, específicamente en la producción de frutos, han sido evaluados anteriormente en cactáceas del género *Hylocerus*, De la Cruz Sánchez et al., (2019) encontraron que las plantas fertilizadas por compuestos orgánicos produjeron 1.7 veces más que la de plantas sin fertilizante.

La producción de frutos en el presente trabajo fue mayor con fertilizante que aquella con el control, el compuesto biol fue el fertilizante con mayor cantidad de frutos promedio produciendo 2.3 veces más que las plantas asperjadas por el control, siendo de los fertilizantes orgánicos el que le confirió a la planta un mayor incremento en su productividad. Los fertilizantes orgánicos entonces, han mostrado un incremento en la producción de frutos en distintos tipos de cultivo, asimismo se ha reportado que también mejoran la calidad de los frutos producidos (Kilic et al., 2021).

La efectividad de los fertilizantes orgánicos en cactáceas, pese a tener fotosíntesis tipo CAM y ser diferente al tipo de fotosíntesis de los estudios mencionados anteriormente, fue demostrado, ya que, en el presente proyecto el fertilizante biol fue el más efectivo para el crecimiento y producción de frutos de la planta. El estudio realizado en el presente trabajo es el primero en demostrar la efectividad del fertilizante biol en la producción de frutos provenientes de cultivos de cactáceas, mostrando específicamente que hay una producción 2.3 veces mayor que en plantas asperjadas por agua.

El peso de los frutos es una característica importante para evaluar la calidad del fruto para los productores, tomando en cuenta que a mayor peso hay un mayor tamaño del fruto lo que lleva a los productores a recurrir más a dichos frutos, ya que es una de las características más buscadas en la colecta y selección de frutos para venta (Bernal González, 2022).

En pitayas provenientes de distintas especies de *Stenocereus* se han reportado distintos pesos, los pesos oscilan dependiendo de las variedades de las que se colecta. Los frutos provenientes de distintas variedades de pitayos en tres zonas de Michoacán (Medio Balsas, Valle de Tepalcatepec y la región costera) presentan una gran variación en el peso de los frutos presentando variedades con pesos promedio de 50.1 g hasta variedades con más de 200 g (Corrales-García et al., 2003). Los frutos provenientes de *S. queretaroensis*, específicamente de la variedad mamey, el rango de peso que manejan es de 93.24g a 98.66g (Bernal González, 2022).

Los frutos que contaron con mayor peso para el experimento fueron los que se obtuvieron de pitayos tratados con agua mientras que los frutos provenientes de plantas fertilizadas con biol obtuvieron los pesos más bajos. El peso de los frutos provenientes del control tuvo un peso promedio de 122.3 g teniendo un aumento en peso de más del 10% del peso promedio del fruto, lo que contrasta con lo mencionado por Pimienta-Barrios & Nobel, 1995, donde el peso del fruto

incrementó un 18% al ser regado exclusivamente con agua, y con los pesos registrados por Domínguez de la Torre (1995) donde los frutos obtenidos de plantas regadas con agua presentaban pesos aproximados de 120 g y los provenientes de plantas control (sin riego) de 100 g en promedio.

Los frutos obtenidos de pitayos con el tratamiento biol tuvieron un peso promedio de 88.8 g, cercano a los pesos que se manejan normalmente en los frutos de la variedad mamey, siendo así los de menor peso, contrario a lo esperado. La predicción planteada donde el fertilizante más efectivo le da mayor producción de frutos y características de más altos valores a los pitayos no se cumplió, ya que si bien el biol fue el fertilizante que causó que las plantas produjeran más frutos fue el que obtuvo los menores resultados en cuanto al peso; es decir, existen otras variables abióticas y bióticas que afectan el crecimiento y productividad.

Al no cumplirse la predicción planteada es posible que se deba a los aspectos de compensación de la planta, así como con el tiempo en el que se trataron las plantas, que fue más fuerte en la época de invierno a primavera lo cual lleva a la disminución de recursos asignados a ciertas funciones por la fenología de la planta (Ryugo, 1988; Lomeli & Pimienta, 1993; Domínguez de la Torre, 1995; Pimienta-Barrios & Nobel, 1995, 1998). La aplicación de los fertilizantes en las plantas sería importante realizarla en distintas temporadas para poder observar el comportamiento respuesta de la planta, así como su producción, para dilucidar si la temporada de riego fue la causa de la baja en pesos de los frutos o si no está relacionada.

El azúcar en pulpa es un indicador de calidad de frutos producidos, de igual forma, la dulzura en los frutos es algo altamente valorado y buscado por los productores de pitaya (Bernal González, 2022). El uso de fertilizantes orgánicos ha sido probado efectivo en el aumento de azúcares de los frutos en distintos tipos de cultivo, Cayuela et al., (1997) reporta que las fresas producidas por las plantas con abonos orgánicos (estiércol de corral) tuvieron un mayor nivel de

azúcar que aquellas producidas por plantas crecidas de manera tradicional (sin fertilizante) con niveles de 8.4° y 7.5° Brix respectivamente.

La dulzura promedio de los frutos provenientes de *S. queretaroensis*, así como los pesos, varían dependiendo de la variedad. El azúcar en pulpa registrada para esta especie en la variedad mamey oscila entre 9.7° y 10.8° Brix (Domínguez de la Torre, 1995), en la región de Techaluta de Montenegro específicamente se tiene un promedio de 9° a 10.59° Brix (Bernal González, 2022).

Los resultados obtenidos muestran que aquellos frutos de plantas control y de los tratados con biol tuvieron la cantidad de azúcar en pulpa más altos, 11.6° y 11° Brix respectivamente, superando los valores promedio en la región, mientras que la combinación de biol + guano obtuvo los frutos con menor cantidad de azúcar siendo 10.6° Brix. A diferencia de lo reportado por Pimienta-Barrios & Nobel (1995), donde el azúcar en pulpa de los frutos irrigados por agua no tuvo efecto significativo, en el presente estudio los frutos provenientes de pitayos tratados únicamente con agua fueron aquellos con cantidad de azúcar en pulpa más alto.

La combinación biol+guano aun siendo aquel tratamiento que presentó resultados con la menor cantidad de azúcares promedio, presentan valores mayores que los reportados por Bernal González, 2022, lo que nos permite decir que el uso de los fertilizantes orgánicos aumenta la cantidad de azúcares en la pulpa de los frutos.

Los resultados de concentraciones percentiles de bioelementos presentes en los fertilizantes empleados en el proyecto son similares con estudios que analizan la composición de fertilizantes orgánicos empleados en distintos sistemas de cultivo, como el maíz, siendo que al ser todos los tratamientos distintos las concentraciones de los bioelementos presentes en cada uno serán igualmente distintas entre sí. El elemento más abundante en los tratamientos que tuvieron mayor efectividad en el experimento, biol y biol+guano, fue el nitrógeno. El nitrógeno tiene una parte

importante en lo que respecta a la nutrición de la planta ya que está presente en la composición de los compuestos orgánicos, tal como los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, entre otros (; Zhong et al., 2017; Beltrán-Morales et al., 2019), de la misma forma el nitrógeno es un elemento importante para el desarrollo morfológico y fisiológico de la planta (Williams et al., 2014).

Szpak et al., (2012) analizó los componentes elementales del guano proveniente de aves marinas y observó la efectividad al emplearlo como fertilizante orgánico para el maíz (*Zea mays*), mientras que Beltrán-Morales et al., (2019) examinó los componentes de seis distintos abonos orgánicos (estiércol de vaca, gallinaza, dos tipos de lombricomposta, guano de pato y guano de murciélago) para su uso en la agricultura; sin embargo, ambos casos reportaron que de los fertilizantes orgánicos analizados el guano tuvo la mayor concentración del bioelemento nitrógeno.

Los resultados de las concentraciones de bioelementos presentes en los tratamientos empleados en el experimento arrojaron que tres (nitrógeno, carbono e hidrógeno) de los cuatro elementos analizados (nitrógeno, carbono, hidrógeno y azufre) fueron significativos. El biol fue el tratamiento con menor concentración en todos los elementos analizados; sin embargo, al ser el fertilizante más efectivo hace notar que la cantidad óptima de los elementos no debe ser la mayor para tener una alta productividad. El guano, presente en el segundo tratamiento más efectivo, salió con la concentración más alta en nitrógeno lo cual se reflejó en la productividad de la planta y en el crecimiento de las plántulas.

Los resultados del análisis químico de los tratamientos empleados en el proyecto son entonces comparables con los estudios anteriormente mencionados, ya que, en todos, independientemente del cultivo, coincidió que el guano es el fertilizante con mayor concentración de nitrógeno, y que la presencia de dicho elemento es necesaria para el crecimiento y nutrición de la planta.

La germinación de las plantas CAM se ve altamente afectada por la incidencia de luz y disponibilidad de agua siendo que las condiciones a las que deben mantenerse son importantes (Flores et al., 2022; Flores & Briones, 2001), de la misma manera la temperatura es un factor importante para la germinación (de La Barrera & Nobel, 2003) entonces al replicar las condiciones naturales de la planta el éxito de germinación aumenta (Pimienta-Barrios et al., 2004).

Los resultados del crecimiento de plántulas nos indican que dentro de los tratamientos empleados los que tuvieron mayor efectividad en el crecimiento fueron biol y la combinación de biol con guano comparado con el control, que fue el tratamiento con menor efectividad en crecimiento; confirmando así lo discutido en apartados anteriores con respecto al uso de fertilizantes orgánicos mejorando características de la planta tal como lo es el crecimiento.

En otros sistemas de cultivo como lo es en maíz, Szpak et al., (2012) encontró que la aplicación de guano de aves marinas tiene tendencia a inhibir la germinación y es dependiente de su concentración. La inhibición en el periodo de germinación está ligada a la cantidad de guano que es aplicada, lo cual resulta del aumento de sales solubles presente en el guano, una de las sales solubles es el nitrógeno. La germinación de las plantas en el sistema de cultivo de maíz estudiado por Szpak et al., (2012) llega a ser inhibida debido al estrés por asimilación de compuestos nitrogenados y menciona que los efectos del guano en las plantas no pueden ser generalizados ya que hay variabilidad entre comunidades e incluso entre especies en lo que respecta a la fisiología de la planta.

Las plantas asperjadas con la combinación biol+guano al tener mayor cantidad de nitrógeno presente, debido a la conjunción de dos fertilizantes, debería presentarse una tendencia de no germinación y por ende poco crecimiento, sin embargo, las plántulas asperjadas con este tratamiento fueron las que tuvieron un mayor crecimiento durante la duración del experimento. La

germinación efectiva y la tasa de crecimiento observado en *S. queretaroensis* confirma la aseveración acerca de los efectos no generalizados del guano en las plantas (Szpak et al., 2012).

CONCLUSIÓN

El uso de fertilizantes orgánicos ayuda en el crecimiento reproductivo y la tasa de crecimiento del pitayo, siendo el biol, el compuesto orgánico evaluado más efectivo acelerando el crecimiento de las plántulas y mejorando la producción de frutos sin comprometer la concentración de azúcares a pesar de no tener los pesos más altos. El fertilizante al influir directamente en la planta ofrece propiedades a las pitayas que pueden influir en la producción y el subsecuente consumo. El biol como fertilizante orgánico es funcional para las plantas, y es el más conveniente para los productores; ya que les otorga los resultados que buscan obtener de los pitayos (mayor cantidad de frutos con buena calidad) a costos de inversión más bajos.

El implementar el biol en el sistema de cultivo de pitaya proporcionaría una mayor rentabilidad para los productores y a largo plazo no representa un problema medio ambiental, igualmente se sugiere la aplicación de biol en otras variedades de pitaya, con la finalidad de evaluar el uso del fertilizante orgánico en otras variedades con distintos grados de domesticación.

REFERENCIAS

- Bautista-Cruz, A., Leyva-Pablo, T., de León-González, F., Zornoza, R., Martínez-Gallegos, V., Fuentes-Ponce, M., & Rodríguez-Sánchez, L. (2018). Cultivation of *Opuntia ficus-indica* under different soil management practices: A possible sustainable agricultural system to promote soil carbon sequestration and increase soil microbial biomass and activity. *Land Degradation and Development*, 29(1), 38–46. <https://doi.org/10.1002/ldr.2834>
- Beltrán-Morales, F. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Chollet, J. S. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Troyo-Dieguez, E., Alcalá-Jauregui, J. A., & Murillo-Amador, B. (2019). Inorganic nitrogen, phosphorus and potassium content of natural fertilizers for use in organic agriculture. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 371–378. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>
- Bernal González, Y. A. (2022). *Efecto de la domesticación sobre caracteres morfológicos de seis variedades de pitaya (Stenocereus queretaroensis) en Techaluta de Montenegro, Jalisco* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Cabrera Verdesoto, C. A., Cabrera Verdezoto, R. P., Morán Morán, J. J., Terán Macías, J. S., Molina Triviño, H. M., Meza Bone, G. A., & Tamayo Lema, C. L. (2018). Evaluación de dos abonos orgánicos líquidos en la producción del cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en el litoral ecuatoriano. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 20(2), 29–40.
- 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>

- Cayuela, J. A., Vidueira, J. M., Albi, M. A., & Gutiérrez, F. (1997). Influence of the ecological cultivation of strawberries (*Fragaria* × *Ananassa* Cv. Chandler) on the quality of the fruit and on their capacity for conservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*(5), 1736–1740. <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
- Chandler, W. H. (1962). *Frutales de hoja perenne* (2a ed.). UTEHA.
- Chen, L., Li, X., Peng, Y., Xiang, P., Zhou, Y., Yao, B., Zhou, Y., & Sun, C. (2022). Co-application of biochar and organic fertilizer promotes the yield and quality of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) by improving soil properties. *Chemosphere*, *294*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133619>
- Comisión estatal del Agua Jalisco (CEA), & Gobierno del Estado de Jalisco. (2015, noviembre). *Ficha Técnica Hidrológica Municipal: Techaluta de Montenegro*. Ficha Técnica Hidrológica Municipal. https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrologicas/region3/techaluta%20de%20montenegro.pdf
- Contreras-Cauich, M. F., López-Tolentino, G., Rojas-Serrano, F., Muñoz-Osorio, G. A., Marín-Collí, E. E., Castillo-López, E., & Jiménez-Chi, J. A. (2021). Eficacia de la fertilización orgánica en el desarrollo del pepino (*Cucumis sativus*) en campo abierto. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, *10*(56), 57–67.
- Corrales-García, J., Flores Valdez, C. A., Gómez Cruz, M. Á., Meráz Alvarado, Ma. del R., Rodríguez Canto, A., & Schwentesius Rindermann, R. (2003). *Pitayas y pitahayas. Producción, poscosecha, industrialización y comercialización* (C. A. Flores Valdez, Ed.). Centro de Investigaciones Económicas Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM).

- de La Barrera, E., & Nobel, P. S. (2003). Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*. *Journal of Arid Environments*, 53(3), 297–306. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.1050>
- de la Cruz Sánchez, E., Morán Morán, J., Cabrera Verdezoto, R., Cabrera Verdesoto, C., Alcívar Cobeña, J., & Meza Bone, F. (2019). Response of the red pitahaya (*Hylocereus undatus*) to the application of two solid organic fertilizers in the San Carlos Area, Los Ríos, Ecuador. *IDESIA (Chile)*, 37(3), 99–105. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300099>
- Dogbatse, J. A., Arthur, A., Awudzi, G. K., Quaye, A. K., Konlan, S., & Amaning, A. A. (2021). Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth and Nutrient Uptake by Young Cacao (*Theobroma cacao* L.). *International Journal of Agronomy*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5516928>
- Dominguez de la Torre, A. (1995). *Efecto del suministro de agua en el desarrollo y esfuerzo reproductivo de pitayo (Stenocereus queretaroensis (WEBER) BUXBAUM)* [División de Ciencias Biológicas y Ambientales]. Universidad de Guadalajara.
- EDOCA. (2017). *Super T: Ficha Técnica*. Orgánicos para la Vida. <http://edoca.com.mx/super-t/>
- F.A.C. Weber, & Buxbaum. (1961). *Stenocereus queretaroensis*. *Botanische Studien*. <https://www.ipni.org/n/244647-2>
- Ferreira, M. A., Netto, A. J., Siqueira, M. C. B., & Dubeux, J. C. B. (2022). Forage cactus as the basis of livestock systems in drylands. *Acta Horticulturae*, 1343, 47–54. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2022.1343.7>
- Finck, A. (2012). *Fertilizantes y Fertilización* (Reverte, Ed.; 1a ed.).

- Flores, J., & Briones, O. (2001). Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: Effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environments*, 47(4), 485–497. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0728>
- Flores, J., Briones, O., & Andrade, J. L. (2022). Physiological ecology of mexican CAM plants: History, progress, and opportunities. *Botanical Sciences*, 100, S290–S324. <https://doi.org/10.17129/botsci.3107>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2002). *Agricultura Mundial: Hacia los Años 2015/2030*. <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm#s>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2016). *Farmer field school guidance document. Planning for quality programmes*. www.fao.org/ag/agp
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2021). *Agroecología y Agricultura Familiar*. Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar. <https://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/>
- Gana, A. K. (2008). Effects of organic and inorganic fertilizers on sugarcane production. *Gana African Journal of General Agriculture*, 4(1). <http://www.asopah.orgAJGA2007067/4108>
- Geydan, T. D., & Melgarejo, L. M. (2005). Crassulacean Acid Metabolism. *Acta Biológica Colombiana*, 10(2), 3–15.
- González-Mancilla, A., Del, M., Rivera-Cruz, C., Fredy Ortiz-García, C., José Almaraz-Suárez, J., Trujillo-Narcía, A., & Cruz-Navarro, G. (2013). Use of organic fertilizers to improve soil chemical and microbiological properties and citric Citrange troyer growth. *Universidad y Ciencia : Fertilizantes orgánicos en suelo*, 28(2), 123–139. www.universidadyciencia.ujat.mx

- Gor Green Fertilizantes. (s/f). *Gor Green Campbell Fórmula 11-8-6. Fertilizante Foliar líquido*. Fertilizantes. Recuperado el 20 de febrero de 2022, de <https://www.gorgreen.com/contenido/gro-green-campbell-formula-11-8-6-fertilizante-foliar-liquido>
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., José Peña-Cabriales, J., & Antonio Vera-Núñez, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261–1274.
- Griffiths, H. (1988). Crassulacean Acid Metabolism: a Re-appraisal of Physiological Plasticity in Form and Function. En *Advances in botanical research* (Vol. 15, pp. 43–92). Academic Press.
- Gutiérrez Cedillo, J. G., Aguilera Gómez, L. I., & González Esquivel, C. E. (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, 45, 51–87.
- Ibarra-Cerdeña, C. N., Iñiguez-Dávalos, L. I., & Sánchez-Cordero, V. (2005). Pollination ecology of *Stenocereus queretaroensis* (Cactaceae), a chiropterophilous columnar cactus, in a tropical dry forest of Mexico. *American Journal of Botany*, 92(3), 503–509. <https://doi.org/10.3732/ajb.92.3.503>
- IFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes). (2002). *Los fertilizantes y su uso*. <http://www.fertilizer.org>
- INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal). (2012). *El uso excesivo de plaguicidas, maquinaria y monocultivos destruye los suelos en Bolivia*.
- IEEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco). (2018, mayo). *Techaluta de Montenegro: Diagnóstico del municipio. Mayo 2018*. Techaluta de Montenegro: Diagnóstico del municipio. <http://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/cuadernillos/TechalutadeMontenegro.pdf>

- Karlıdag, H., Yildirim, E., Turan, M., & Donmez, M. F. (2010). Effect of Plant Growth-Promoting Bacteria on Mineral-Organic Fertilizer Use Efficiency, Plant Growth and Mineral Contents of Strawberry (*Fragaria x ananassa* L. Duch.). En Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e. V. (Ed.), *Ecofruit. 14th International Conference on Organic Fruit-Growing*. (pp. 218–226). Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e.V. (FÖKO).
- Kilic, N., Burgut, A., Gündesli, M. A., Nogay, G., Ercisli, S., Kafkas, N. E., Ekiert, H., Elansary, H. O., & Szopa, A. (2021). The effect of organic, inorganic fertilizers and their combinations on fruit quality parameters in strawberry. *Horticulturae*, 7(10). <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100354>
- Lomeli, E., & Pimienta, E. (1993, enero). Demografía reproductiva del pitayo (*Stenocereus queretaroensis* (Web.) Buxbaum). *Revista Cactaceas y Suculentas Mexicanas*, 13–19.
- Niechayev, N. A., Pereira, P. N., & Cushman, J. C. (2019). Understanding trait diversity associated with crassulacean acid metabolism (CAM). *Current Opinion in Plant Biology*, 49, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.06.004>
- Niven Martínez, G. (2022). *Evaluación de diferentes abonos orgánicos en la producción de nopal verdura* [Maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Nobel, P. S. (1983). Nutrient Levels in Cacti-Relation to Nocturnal Acid Accumulation and Growth. *Source: American Journal of Botany*, 70(8), 1244–1253. <https://www.jstor.org/stable/2443294>
- Nobel, P. S. (1991). Achievable productivities of certain CAM plants: basis for high values compared with C3 and C4 plants. *New Phytologist*, 119(2), 183–205. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb01022.x>

- Nobel, P. S., & de La Barrera, E. (2003). Tolerances and acclimation to low and high temperatures for cladodes, fruits and roots of a widely cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*. *New Phytologist*, *157*(2), 271–279. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00675.x>
- Parker, N., Agyare, W. A., Bessah, E., & Amegbletor, L. (2021). Biochar as a substitute for inorganic fertilizer: Effects on soil chemical properties and maize growth in Ghana. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(11), 1539–1547. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1867577>
- Pimienta-Barrios, E., & Nobel, P. S. (1994). Pitaya (*Stenocereus* spp., Cactaceae): An ancient and modern fruit crop of Mexico. *Economic Botany*, *48*(1), 76–83. <https://doi.org/10.1007/BF02901385>
- Pimienta-Barrios, E., & Nobel, P. S. (1995). Reproductive Characteristics of Pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) and their Relationships with Soluble Sugars and Irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *120*(6), 1082–1086. <https://doi.org/https://doi.org/10.21273/JASHS.120.6.1082>
- Pimienta-Barrios, E., & Nobel, P. S. (1998). Vegetative, Reproductive, and Physiological Adaptations to Aridity of Pitayo (*Stenocereus queretaroensis*, Cactaceae). *Economic Botany*, *52*(4), 401–411.
- Pimienta-Barrios, E., Nobel, P. S., Robles Murguía, C., Méndez Moran, L., Pimienta Barrios, E., & Yépez González, E. (1997). Ethnobotany, productivity, and ecophysiology of Pitaya (*Stenocereus queretaroensis*). *Journal of the Professional Association for the Cactus Development*, *2*, 29–47. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v2i.180>
- Pimienta-Barrios, E., Pimienta-Barrios, E., & Nobel, P. S. (2004). Ecophysiology of the pitayo de Queretaro (*Stenocereus queretaroensis*). *Journal of Arid Environments*, *59*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.01.005>

- Quiroz-González, B., García-Mateos, R., Corrales-García, J. J. E., & Colinas-León, M. T. (2018). Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 20, 82–100. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v20i.30>
- Ramírez-Aguilera, M. Y. (2022). Mapa de la zona de estudio. Municipio Techaluta de Montenegro, Jalisco en punto amarillo indica la ubicación de la parcela experimental.
- Raven, P. H., Johnson, G. B., Losos, M., Kenneth A, Losos, J. B., & Singer, S. R. (2014). Photorespiration (Fotorrespiración). En AP (Ed.), *Biology* (10a ed.). McGraw-Hill.
- Rivera, J. R., & Hensel, J. (2009). *Manual práctico de agricultura orgánica y panes de piedra* (1ra ed.). www.feriva.com
- Ryugo, K. (1988). *Fruit Culture: Its Science and Art*. John Wiley & Sons.
- Salcedo-Pérez, E., & Arreola-Nava J. H. (1991). El cultivo del pitayo en Techaluta, Jalisco. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 26(4), 84–91.
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4, 19–28. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s/f). *Biofertilizantes* (pp. 5–42). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). (2017). *Pitaya (Stenocereus spp.)*. Generalidades de la Red Pitaya. <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/pitaya-stenocereus-spp-119661>
- Shi, Y., Liu, X., Zhang, Q., Gao, P., & Ren, J. (2020). Biochar and organic fertilizer changed the ammonia-oxidizing bacteria and archaea community structure of saline-alkali soil in the

- North China Plain. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 12–23.
<https://doi.org/10.1007/s11368-019-02364-w>/Published
- Singh, R., Srivastava, P., Verma, P., Singh, P., Bhadouria, R., Singh, V. K., Singh, H., & Raghubanshi, A. S. (2020). Exploring soil responses to various organic amendments under dry tropical agroecosystems. En *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 583–611). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818032-7.00021-7>
- Szpak, P., Longstaffe, F. J., Millaire, J. F., & White, C. D. (2012). Stable isotope biogeochemistry of seabird guano fertilization: Results from growth chamber studies with maize (*Zea Mays*). *PLoS ONE*, 7(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033741>
- Toalombo Yumbopatin, M. C. (2013). *Aplicación de abonos orgánicos líquidos tipo biol al cultivo de mora (Rubus glaucus Benth)*. Universidad Técnica de Ambato.
- Wang, Q., Awasthi, M. K., Zhang, Z., & Wong, J. W. C. (2019). Sustainable composting and its environmental implications. En *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches* (pp. 115–132). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00009-8>
- Williams, D. G., Hultine, K. R., & Dettman, D. L. (2014). Functional trade-offs in succulent stems predict responses to climate change in columnar cacti. *Journal of Experimental Botany*, 65(13), 3405–3413. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru174>
- Zamora-Gutiérrez, V., Marcos-Zamora, V., Orona-Tamayo, D., Quintana-Rodríguez, E., Cano-Santana, Z., & Hernández-Cumplido, J. (2022). Agrochemical bioaccumulation in pitaya cacti (*Stenocereus queretaroensis*) and its effect on bat interaction and yield. *Journal of Mammalogy*, 103(5), 1094–1102. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyac037>

Zhang, W., Jiang, F., & Ou, J. (2011). Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 1(2), 125–144. www.iaees.org/Article

Zhong, H., Kim, Y. N., Smith, C., Robinson, B., & Dickinson, N. (2017). Seabird guano and phosphorus fractionation in a rhizosphere with earthworms. *Applied Soil Ecology*, 120, 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.006>

ANEXOS

Anexo 1. Cronograma de riego y actividades en la parcela experimental.

Actividades	16ene	5feb	26feb	19mar	21may	23jul	24sep	26nov	28ene
Taller “fisiología y nutrición del pitayo” y 1ª aplicación de tratamientos.	X								
2ª aplicación de tratamientos.		X							
3ª aplicación de tratamientos.			X						
4ª aplicación de tratamientos.				X					
5ª aplicación de tratamientos.					X				
6ª aplicación de tratamientos.						X			
7ª aplicación de tratamientos.							X		
8ª aplicación de tratamientos.								X	
9ª aplicación de tratamientos.									X

Anexo 2. Cantidad de tratamiento aplicado de acuerdo con la escala de experimento.

Escala	Agua (Control)	Biol	Super T	Green	Biol+Guano
Macro	20 L	1 L	4 g	100 mL	1 L + 100 mL
Micro	1 L	50 mL	0.2 g	5 mL	50 mL + 5 mL

Anexo 3. Componentes específicos de los fertilizantes orgánicos.

Fertilizante	Componentes
Biol	Agua no clorada (de lluvia o pozo), estiércol fresco de vaca, melaza, suero de leche y ceniza de leña.
Guano	Nitrógeno, fósforo y potasio.
Green	Nitrógeno, fósforo y potasio. Microelementos: calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso, cobre, cobalto, boro, azufre y molibdeno. 25% de derivados.
Super T	1.5% de calcio orgánico soluble y 1.3% de potasio orgánico soluble extraídos de animales de especies marinas. 5% de proteínas y aminoácidos orgánicos. 20% de activadores biológicos. 72% de ingredientes inertes.

Anexo 4. Diluciones de fertilizantes para experimento escala micro.

Tratamiento	Cantidad Fertilizante	Cantidad Agua
Biol	50 mL	950 mL
Biol+Guano	50 mL + 5 mL	945 mL
Green	5 mL	995 mL
Super T	0.2 g	1 L
Control	0	1 L

Anexo 5. Calendario de aplicación de tratamiento a plántulas.

Número de aplicación	Fecha
Aplicación 1	1 julio 2021
Aplicación 2	22 julio 2021
Aplicación 3	13 agosto 2021
Aplicación 4	2 septiembre 2021
Aplicación 5	23 septiembre 2021