

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUASAVE



TESIS

*QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERÍA EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE*

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE BIOESTIMULANTE AGROECOLÓGICO ELABORADO A BASE DE QUITOSANO

PRESENTA:
LEAL LEAL JESÚS ARIEL

DIRECTOR:
DR. ADALID GRACIANO OBESO

GUASAVE, SINALOA; FEBRERO DE 2025.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, que fueron el motivo principal para que yo quisiera salir adelante, a ellos que siempre me motivaron con su apoyo y su amor incondicional, ellos supieron forjarme como una persona de buenos valores que me enseñaron a nunca darme por vencido y que quisiera seguirme superando, gracias a ellos y su apoyo hoy culmino una de mis metas para empezar una nueva etapa en mi vida, sin duda nada de esto sería posible sin el apoyo de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Principal mente a mi familia que me acompañaron y me apoyaron durante mi trayectoria académica.

Gracias al Instituto Tecnológico Superior de Guasave (ITSG) por abrirme las puertas a su institución y brindarme a muy buenos maestros que me compartieron un poco de lo que ellos saben para que yo pudiera tener mi título de ingeniero.

Gracias a mi profesor Dr. Adalid Graciano Obeso por brindarme las herramientas al igual que su sabiduría para poder llevar acabo mi proyecto de tesis profesional.

ÍNDICE

Tabla de contenido	Pág.
<i>DEDICATORIA</i>	<i>III</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>IV</i>
<i>RELACIÓN DE FIGURAS</i>	<i>VII</i>
<i>RELACIÓN DE TABLAS</i>	<i>VII</i>
<i>RELACIÓN DE ANEXOS</i>	<i>VII</i>
<i>GLOSARIO</i>	<i>VIII</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>XI</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>XII</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	<i>4</i>
<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	<i>6</i>
<i>ALCANCES Y LIMITACIONES</i>	<i>8</i>
<i>ANTECEDENTES</i>	<i>9</i>
<i>MARCO TEÓRICO</i>	<i>16</i>
<i>OBJETIVOS</i>	<i>40</i>
General	<i>40</i>
Específicos	<i>40</i>
<i>HIPÓTESIS</i>	<i>41</i>
<i>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</i>	<i>42</i>
<i>METODOLOGÍA</i>	<i>43</i>
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	<i>47</i>

<i>CONCLUSIONES</i>	52
<i>RECOMENDACIONES</i>	54
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	55
<i>ANEXOS</i>	65

RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 1.-** Efecto de la adición de quitosano sobre el las propiedades fisicoquímicas (pH, C.E. y M.O.) de lixiviado de lombricomposta. ^{abc}Diferente literal en cada columna, indica diferencia significativa. Prueba de Tukey con 95% de confianza..... 47
- Figura 2.-** Efecto de la adición de quitosano sobre la concentración de macro nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) en lixiviado de lombricomposta. ^{abc}Diferente literal en cada columna, indica diferencia significativa. Prueba de Tukey con 95% de confianza. 49

RELACIÓN DE TABLAS

- Tabla 1.-** Efecto de la adición de quitosano sobre la concentración de microelementos (Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn) en lixiviado de lombricomposta. ^{abc}Diferente literal en cada renglón, indica diferencia significativa. Prueba de Tukey con 95% de confianza. 50

RELACIÓN DE ANEXOS

- Anexo 1.-** Híbrido de maíz evaluado durante el experimento..... 65
- Anexo 2.-** Proceso de producción de bioestimulante agroecológico elaborado a base de quitosano..... 65
- Anexo 3.-** Instalación de sistema de riego del proceso de producción de bioestimulante..... 66
- Anexo 4.-** Actividades de limpieza del área de producción..... 66

Anexo 5.-	Recolección de materiales para la producción de humus de lombriz en campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.....	67
Anexo 6.-	Recolección y secado de cáscaras de camarón para su evaluación en laboratorio.....	68
Anexo 7.-	Proceso de obtención de quitosano en laboratorio de Instituto Tecnológico Superior de Guasave.....	69

GLOSARIO

Agroecología: Enfoque que integra principios ecológicos en la agricultura, buscando la sostenibilidad y la producción de alimentos de manera respetuosa con el medio ambiente.

Análisis espectroscópico: Técnicas analíticas que utilizan la interacción de la luz con la materia para identificar y cuantificar componentes químicos en una muestra, útil en la caracterización de bioestimulantes.

Aplicación foliar: Método de aplicación de bioestimulantes directamente sobre las hojas de las plantas, lo que permite una absorción rápida y eficiente de los nutrientes y compuestos bioactivos.

Bioestimulante: Sustancia o microorganismo que, cuando se aplica a las plantas o al suelo, promueve el crecimiento y desarrollo de las plantas, mejorando su salud y resistencia a factores de estrés.

Caracterización fisicoquímica: Proceso de análisis que determina las propiedades físicas y químicas de un material, incluyendo su composición, estructura, solubilidad, pH, y otras características relevantes.

Conductividad eléctrica: Propiedad que mide la capacidad de una solución para conducir electricidad, lo que puede estar relacionado con la concentración de iones en la solución y su potencial para influir en la actividad biológica.

Efecto sinérgico: Interacción positiva entre dos o más componentes que resulta en un efecto mayor que la suma de sus efectos individuales, comúnmente observado en mezclas de bioestimulantes.

Eficiencia en la absorción de nutrientes: Capacidad del bioestimulante para mejorar la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, lo que puede resultar en un crecimiento más saludable.

Estabilidad: Capacidad de un bioestimulante para mantener sus propiedades fisicoquímicas a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones ambientales.

Estabilidad química: Grado en el que las propiedades químicas del quitosano se mantienen sin cambios ante diferentes condiciones ambientales (temperatura, pH, etc.).

Interacción planta-microorganismo: Relaciones que se establecen entre las plantas y los microorganismos presentes en el bioestimulante, que pueden influir en la salud y el crecimiento de las plantas.

Interacción suelo-planta: Relación dinámica entre las características del suelo y las plantas, que puede influir en la absorción de nutrientes y en la salud general de los cultivos.

Microbioma del suelo: Conjunto de microorganismos que habitan en el suelo y que desempeñan un papel crucial en la salud del suelo y en la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Microestructuras: Estructuras a nivel microscópico que pueden influir en las propiedades fisicoquímicas del quitosano y su interacción con el medio ambiente.

Propiedades antimicrobianas: Capacidad del quitosano para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos, lo que lo convierte en un agente útil en la agricultura.

Propiedades antioxidantes: Capacidad de una sustancia para neutralizar radicales libres y reducir el daño oxidativo en las plantas, lo que puede contribuir a su resistencia a estrés ambiental.

pH: Medida de la acidez o alcalinidad de una solución. En el contexto de bioestimulantes, el pH puede influir en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad microbiana del suelo.

Quitosano: Polímero natural derivado de la quitina, que se encuentra en las paredes celulares de los crustáceos. Es conocido por sus propiedades biológicas y su capacidad para actuar como bioestimulante en la agricultura.

Solubilidad: Capacidad de una sustancia para disolverse en un solvente, generalmente agua. La solubilidad del quitosano es importante para su efectividad como bioestimulante.

Sostenibilidad agrícola: Práctica de cultivar de manera que se mantenga la salud del ecosistema, se minimicen los impactos negativos en el medio ambiente y se garantice la producción de alimentos a largo plazo.

Viscosidad: Medida de la resistencia de un líquido a fluir. La viscosidad del quitosano puede afectar su aplicación y absorción en las plantas.

RESUMEN

En la actualidad, uno de los desafíos de la agricultura es disminuir el impacto ambiental negativo generado por el uso de agroquímicos sintéticos sin reducir los rendimientos de producción. Una alternativa ampliamente difundida es el uso de fertilizantes orgánicos y bioinsumos formulados en base a microorganismos que favorezcan el crecimiento vegetal. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación fue realizar una caracterización fisicoquímica de un bioestimulante agroecológico elaborado a base de quitosano. Para lograrlo, se realizó la síntesis del quitosano por medio de la implementación de una metodología que consiste en la limpieza de la quitina por medio de una desproteización y desmineralización, así como una posterior desacetilación para dar como producto final la quitina, una vez obtenido el producto, se realizó la caracterización fisicoquímica de distintas dosis. Dentro de los resultados, se puede observar que se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados. De manera general, la concentración de nitrógeno aumentó al aumentar la cantidad de quitosano. Los valores más bajos para esta variable se registraron en el tratamiento control, con un promedio de 0.8 ± 0.2 % y su concentración aumentó hasta 2.5 ± 0.3 % en el tratamiento con 3% de quitosano. Con base en los resultados, se tiene que la adición de quitosano aumenta la concentración de las variables evaluadas, por eso en los tratamientos a los que se les adicionó mayor concentración de quitosano, las variables evaluadas se incrementaron. Las propiedades fisicoquímicas se vieron modificadas y aumentó la conductividad eléctrica y materia orgánica por la adición de quitosano.

Palabras clave: mezclas, quitosano, tratamientos, variables fisicoquímicas.

ABSTRACT

Currently, one of the challenges of agriculture is to reduce the negative environmental impact generated by the use of synthetic agrochemicals without reducing production yields. A widely disseminated alternative is the use of organic fertilizers and bioinputs formulated based on microorganisms that promote plant growth. Based on the above, the objective of this research work was to carry out a physicochemical characterization of an agroecological biostimulant made from chitosan. To achieve this, chitosan synthesis was carried out by implementing a methodology that consists of cleaning chitin by means of deproteinization and demineralization, as well as a subsequent deacetylation to give chitin as the final product. Once the product was obtained, the physicochemical characterization of different doses was carried out. Among the results, it can be observed that there was a significant difference ($p \leq 0.05$) between the evaluated treatments. In general, the nitrogen concentration increased as the amount of chitosan increased. The lowest values for this variable were recorded in the control treatment, with an average of 0.8 ± 0.2 % and its concentration increased up to 2.5 ± 0.3 % in the treatment with 3% chitosan. Based on the results, it is clear that the addition of chitosan increases the concentration of the variables evaluated, so in the treatments to which a higher concentration of chitosan was added, the variables evaluated increased. The physicochemical properties were modified and the electrical conductivity and organic matter increased due to the addition of chitosan.

Key words: mixtures, chitosan, treatments, physicochemical variables.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los desafíos de la agricultura es disminuir el impacto ambiental negativo generado por el uso de agroquímicos sintéticos sin reducir los rendimientos de producción. Una alternativa ampliamente difundida es el uso de fertilizantes orgánicos y bioinsumos formulados en base a microorganismos que favorezcan el crecimiento vegetal. Esto puede lograrse mediante la aplicación de combinaciones de microorganismos seleccionados que aportan diferentes beneficios al suelo y las plantas (Kumar et al., 2024), o de comunidades de microorganismos presentes en enmiendas orgánicas u otros bioinsumos (Azevedo et al., 2017) que actúan como probióticos para las plantas (Gaveliené et al., 2021). La elaboración artesanal de bioinsumos intraprediales, más conocidos como biopreparados, se ha difundido a partir de experiencias y observaciones de los pequeños agricultores que fabrican y aplican estos productos a partir de recetas caseras transmitidas de generación en generación (Venegas-Jaque y Mestre, 2021). La aplicación de biopreparados para mejorar la fertilidad del suelo constituye una práctica de manejo agroecológico clave, ya que contribuye a disminuir la dependencia de insumos externos, bajar los costos de producción y reducir el impacto ambiental asociado al uso de agro químicos sintéticos (Lassevich et al., 2020). Por ello, su aplicación efectiva contribuye a la construcción de sistemas de producción más sustentables y resilientes (Altieri, 1999).

Los bioestimulantes en el contexto de la agricultura son definidos como un grupo de sustancias o microorganismos benéficos que inducen respuestas fisiológicas en las plantas, especialmente bajo condiciones desfavorables, y conducen a mejorar su desempeño coadyuvando a la tolerancia frente al estrés (Shah et al., 2021), intervienen positivamente en la regulación del metabolismo primario y secundario, modifican la arquitectura del sistema radical, mejoran las habilidades nutricionales (Rouphael and Colla, 2020a) y favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas (Nardi et al., 2021). Los bioestimulantes vegetales comprenden ácidos húmicos y fúlvicos, hidrolizados de proteínas, aminoácidos y otros compuestos

nitrogenados, oligosacáridos, compuestos inorgánicos, extractos de algas y productos botánicos, además de los insumos a base de microorganismos (Bhupenchandra et al., 2020; Du Jardin et al, 2020, Shahrajabian et al, 2021).

En la búsqueda de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, los bioestimulantes agroecológicos han emergido como una alternativa prometedora para mejorar la productividad y la salud de los cultivos. Estos productos, que pueden ser de origen vegetal, microbiano o mineral, actúan sobre las plantas para potenciar su crecimiento, aumentar la resistencia a estrés abiótico y mejorar la calidad del suelo (Bulgari et al., 2015). A diferencia de los fertilizantes químicos, que a menudo pueden tener efectos adversos en el ecosistema, los bioestimulantes promueven un enfoque más holístico y equilibrado en la agricultura, alineándose con los principios de la agroecología.

Los bioestimulantes funcionan a través de diversos mecanismos, como la estimulación de la actividad microbiana del suelo, la mejora de la absorción de nutrientes y la promoción de procesos fisiológicos en las plantas (Zhang et al., 2017). Por ejemplo, se ha demostrado que ciertos extractos de algas marinas pueden aumentar la resistencia de las plantas a condiciones de sequía y salinidad, lo que es especialmente relevante en un contexto de cambio climático (Khan et al., 2018). Además, el uso de bioestimulantes puede contribuir a la reducción de insumos químicos, lo que no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede resultar en un ahorro económico para los agricultores.

La creciente preocupación por la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ha llevado a un aumento en la investigación y el desarrollo de bioestimulantes. Según una revisión realizada por Yakhin et al. (2017), el mercado de bioestimulantes está en constante expansión, con un crecimiento proyectado que podría alcanzar los 2.5 mil millones de dólares para 2025. Este crecimiento refleja no solo la demanda de productos más sostenibles, sino también el reconocimiento de los beneficios agronómicos que estos productos pueden ofrecer.

Por otro lado, los bioestimulantes agroecológicos representan una herramienta valiosa en la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles. Su capacidad para mejorar la salud del suelo y la resiliencia de los cultivos los convierte en un componente esencial en la búsqueda de prácticas agrícolas que respeten el medio ambiente y promuevan la seguridad alimentaria. A medida que la investigación avanza y se desarrollan nuevas formulaciones, es probable que el uso de bioestimulantes se convierta en una práctica común en la agricultura moderna.

Con base en lo anterior, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo caracterizar las propiedades fisicoquímicas de un bioestimulante agroecológico elaborado a base de quitosano.

JUSTIFICACIÓN

La co-innovación en el desarrollo de prácticas productivas que permitan disminuir el uso de insumos externos y ser amigables con el ambiente es una de las principales búsquedas en agroecología. Específicamente, disminuir el uso de fertilizantes importados y/o de síntesis química es una de las principales inquietudes de productores agrícolas (Mestre et al., 2024).

La necesidad de obtener elevados rendimientos y competitividad crea alternativas para disminuir el consumo de productos químicos en los cultivos conlleva a buscar soluciones recomendables y sostenibles, para lo cual la agricultura con la utilización de productos naturales de estimulan el crecimiento y desarrollo de los cultivos está siendo tomada de gran importancia por sus resultados productivos, por lo que los bioestimulantes juegan un papel fundamental en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad nutricional de los vegetales y frutos (Rodríguez & García, 2022).

Por lo que, los bioestimulantes en la agricultura, son cada vez más frecuente por la alta demanda nutricional de los cultivos de elevados rendimientos, bien sea para activar o retardar procesos fisiológicos específicos principalmente en el crecimiento (raíz, ápices foliares, yemas) o para contrarrestar demandas energéticas y lograr la finalidad deseada producción de raíces, hojas o frutos más ricos en proteínas y carbohidratos (López & García, 2020). Estas sustancias activas actúan sobre la fisiología de las plantas aumentando su desarrollo y mejoran su productividad en la calidad del fruto, contribuyendo a mejorar la resistencia de las especies vegetales, ante diversas enfermedades (Álvarez et.al. 2018).

Así mismo, la agricultura enfrenta desafíos significativos en la actualidad, como el cambio climático, la degradación del suelo y la necesidad de aumentar la producción de alimentos de manera sostenible. En este contexto, los bioestimulantes agroecológicos han surgido como una alternativa viable para mejorar la salud de los cultivos y la calidad del suelo, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles.

Entre estos bioestimulantes, el quitosano, un polímero natural derivado de la quitina, ha demostrado un gran potencial debido a sus propiedades fisicoquímicas y biológicas. La caracterización fisicoquímica de bioestimulantes elaborados a base de quitosano es fundamental para comprender su eficacia y optimizar su uso en la agricultura.

La caracterización fisicoquímica permite identificar y cuantificar las propiedades del quitosano, como su solubilidad, pH, viscosidad y conductividad eléctrica. Estas propiedades son cruciales para determinar cómo el quitosano interactúa con el suelo y las plantas. Por ejemplo, un pH adecuado puede facilitar la disponibilidad de nutrientes, mientras que una viscosidad adecuada puede influir en la forma en que se aplica el bioestimulante y su absorción por las plantas. Al comprender estas características, los agricultores pueden ajustar las condiciones de aplicación para maximizar los beneficios del quitosano en sus cultivos.

Además, el quitosano tiene propiedades antioxidantes y puede estimular la actividad microbiana del suelo, lo que contribuye a la salud del ecosistema agrícola. La caracterización fisicoquímica permite evaluar estos efectos, proporcionando información valiosa sobre cómo el quitosano puede mejorar la resistencia de las plantas a factores de estrés, como sequías o enfermedades. Esto es especialmente relevante en un contexto de cambio climático, donde las plantas enfrentan condiciones adversas cada vez más frecuentes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura enfrenta diversos retos en la actualidad, como la disminución de la productividad de los cultivos, el incremento de plagas y enfermedades, así como la presión por utilizar prácticas más sostenibles y menos contaminantes. Ante esta situación, los bioestimulantes agroecológicos han emergido como alternativas viables para mejorar la salud del suelo y promover el crecimiento de las plantas. En este contexto, el quitosano, un biopolímero natural obtenido de la quitina, se ha destacado por sus propiedades beneficiosas, como su capacidad para estimular el crecimiento vegetal, mejorar la resistencia a enfermedades y favorecer la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Sin embargo, a pesar de los potenciales beneficios del quitosano como bioestimulante, existe una falta de información detallada y sistemática sobre sus características fisicoquímicas y su relación con la efectividad agronómica. La caracterización fisicoquímica del quitosano y sus derivados es crucial para entender su comportamiento en el suelo y su interacción con las plantas. Aspectos como la solubilidad, el peso molecular, la viscosidad y la carga eléctrica son fundamentales para evaluar su eficacia como bioestimulante. Además, es importante investigar cómo las diferentes condiciones de procesamiento y formulación del quitosano pueden influir en sus propiedades fisicoquímicas y, por ende, en su rendimiento agronómico.

Por lo tanto, el problema radica en la insuficiente caracterización fisicoquímica del bioestimulante agroecológico elaborado a base de quitosano, lo que limita su aplicación efectiva en prácticas agrícolas sostenibles. La falta de datos sobre sus propiedades fisicoquímicas impide a los agricultores y técnicos tomar decisiones informadas sobre su uso y potencial, así como sobre la formulación de productos que maximicen sus beneficios. Esto genera un vacío en el conocimiento que, de ser abordado, podría contribuir significativamente al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y efectivas.

En este sentido, el presente estudio se propone caracterizar fisicoquímicamente un bioestimulante elaborado a base de quitosano, con el objetivo de proporcionar información valiosa que permita optimizar su uso en la agricultura, así como fomentar una mayor comprensión de su papel en la mejora de la producción agrícola sostenible.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

- El proyecto tiene el potencial de generar información valiosa sobre caracterización de bioestimulante agroecológico para la producción de maíz de alto rendimiento. Esto podría contribuir al conocimiento científico en el campo de la agronomía y la horticultura.
- Los resultados podrían proporcionar recomendaciones prácticas para optimizar la fertilización en el cultivo de maíz en la región de Guasave, Sinaloa. Esto podría llevar a una mejora en la calidad y el rendimiento de la cosecha.
- Los agricultores y productores locales podrían beneficiarse de los resultados del estudio, ya que podrían adaptar sus prácticas de fertilización para obtener niveles óptimos de producción, lo que podría aumentar el valor comercial de sus productos.

Limitaciones

- La variabilidad climática en Guasave, Sinaloa, podría influir en los resultados del estudio. Las condiciones climáticas cambiantes podrían afectar la absorción de nutrientes y, por lo tanto, los niveles de fertilización en el maíz.
- Factores externos como enfermedades, plagas y cambios en el suelo, podrían afectar los resultados del estudio. Aunque se puede intentar controlar las condiciones de cultivo en un estudio, no siempre es posible lograr un control total sobre todos los aspectos del entorno; esto podría introducir cierta variabilidad no deseada en los resultados y podría requerir un diseño experimental cuidadoso.
- Los resultados obtenidos en Guasave, Sinaloa, podrían no ser directamente extrapolables a otras regiones debido a las diferencias en el clima, el suelo y las prácticas agrícolas.
- La relación entre la fertilización y el rendimiento es compleja y puede estar influenciada por múltiples factores. Aislar el efecto de la fertilización puede ser desafiante.
- La duración del proyecto podría ser limitada por restricciones financieras

ANTECEDENTES

A nivel global, la agricultura intensiva ha dado lugar a la degradación del suelo, la disminución de la biodiversidad y una mayor dependencia de insumos químicos, como los fertilizantes y pesticidas sintéticos, los cuales, aunque efectivos a corto plazo, han mostrado tener consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud humana (Tilman et al., 2011).

La expansión agrícola, motivada por el crecimiento poblacional y la demanda de alimentos, ha generado grandes impactos en la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos, lo que refuerza la necesidad de prácticas sostenibles en la agricultura (Cassman et al., 2003). En este contexto, la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más sostenibles es imperiosa para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo y mitigar los efectos negativos del cambio climático (Calvo et al., 2014).

Los bioestimulantes han sido propuestos como una alternativa sostenible para mejorar el rendimiento de los cultivos sin los efectos negativos asociados al uso de fertilizantes químicos. Se definen como sustancias o microorganismos que, cuando se aplican a las plantas o al suelo, promueven el crecimiento y desarrollo vegetal, mejorando la eficiencia en el uso de nutrientes, la tolerancia a condiciones de estrés abiótico y la calidad de los productos agrícolas (du Jardín, 2015; Yakhin et al., 2017). Entre los bioestimulantes más comunes se incluyen los extractos de algas, los aminoácidos, los ácidos húmicos, las proteínas hidrolizadas y los microorganismos beneficiosos, como las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Bhattacharyya & Jha, 2012; Bulgari et al., 2019).

La utilización de diferentes bioproductos en la agricultura tales como: bioplaguicidas, biofertilizantes, activadores de la floración y fructificación, han sido logros importantes que se han llevado a cabo desde hace algunos años y que en los momentos actuales cobran vital importancia (Martínez et al., 2013).

La aplicación de bioestimulantes en los cultivos de interés económico, ha recibido en los últimos años una renovada atención por parte de los investigadores y un significativo incremento en su producción y comercialización por las diversas empresas nacionales e internacionales, ya que ha sido constatada una mejoría en la cantidad y calidad de la producción final con su aplicación, con riesgos mínimos de contaminación ambiental (Zuaznabar-Zuaznabar et al., 2013).

Se han llamado bioestimulantes a cualquier sustancia o microorganismos que, al aplicarse a las plantas, son capaces de mejorar su eficacia, en absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico, abiótico o mejorar alguna de sus características agronómicas, independiente del contenido de nutrientes (du-Jardin, 2015), proporcionar incrementos adicionales en los rendimientos de los cultivos, estimular y vigorizar desde la germinación hasta la fructificación, reducir el ciclo del cultivo y potenciar la acción de los fertilizantes, lo que permite reducir entre 30 % y 50 % las dosis recomendadas (Díaz et al., 2016). Una parte significativa de la emisión de flores y frutos cuajados se produce como resultado de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, al igual que en otras actividades agrícolas, se utiliza para estimular e incrementar los rendimientos productivos (Montenegro, 2020). Los bioestimulantes pueden ser de diversas fuentes, están disponibles en el mercado y son elaborados con bacterias, hongos, algas, plantas, animales y materias primas que contienen humatos. Algunos han tenido respuesta en vivero a nivel fisiológico, como Starlite y Evergreen, los mejores en materia seca, Humega y Evergreen en el contenido de nitrógeno, también con buena respuesta las micorriza y Starlite en lo referente a desarrollo morfológico, comparado con la urea (Valverde et al., 2020).

Efectos de los bioestimulantes y ácidos húmicos en el rendimiento del maíz

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de bioestimulantes y ácidos húmicos puede tener un impacto significativo en el rendimiento del maíz y otros cultivos. Se ha observado que estos productos no solo mejoran el crecimiento vegetativo de las plantas, sino también incrementan la absorción de nutrientes y

mejoran la resistencia de las plantas a condiciones de estrés abiótico, como la sequía y la salinidad (Rouphaël et al., 2018). En el caso específico del maíz, estudios recientes han señalado que la aplicación de bioestimulantes, incluyendo extractos de algas marinas y ácidos húmicos, mejora la tolerancia al estrés y la productividad del maíz, especialmente en condiciones de suelos degradados" (Drobek et al., 2019). La combinación de bioestimulantes y ácidos húmicos ha demostrado ser efectiva para mejorar tanto la eficiencia en el uso de nutrientes como la retención de agua en suelos arenosos, lo que se traduce en un incremento del rendimiento del maíz en comparación con las prácticas tradicionales de fertilización (Zanin et al., 2019).

Nuevo bioestimulante de floración y maduración en café (*Coffea arábica* L.), 2021.

Las variables climáticas han sido en el cultivo del café en la región centroamericana; las altas temperaturas, altos niveles de luz ultravioleta (UV), las precipitaciones y su intensidad, han causado serios problemas para el desarrollo del cultivo. Hay desequilibrios fisiológicos causantes de pérdidas en la estimulación y cuajes florales y, según la variedad, las mermas de la producción pueden ser superiores al 60 %. Objetivo. Conocer el efecto que tiene un nuevo bioestimulante sobre la floración, maduración y calidad de los frutos en el cultivo del café. Materiales y métodos. El trabajo se realizó durante los años 2018 y 2019, en la finca La Hilda, lote Murillo, localizada en la provincia de Alajuela, Cantón San Pedro de Póas, Costa Rica, bajo manejo agroecológico. Se evaluó el efecto de la aplicación de un producto bioestimulante foliar a dosis de 3 l ha⁻¹, certificado para producción en agricultura ecológica. Se utilizaron dos tratamientos, dos y tres aplicaciones, de bioestimulante y se compararon con un testigo absoluto. Los parámetros evaluados fueron: la estimulación y cuaje floral, nudos productivos para el próximo ciclo y calidad de los frutos. Resultados. No existieron diferencias estadísticas significativas entre los dos tratamientos del bioestimulante (3 l ha⁻¹) en contraste con el testigo. Al evaluar la mayor producción de frutos cuajados y mayor calidad de estos, cuando se realizaron

las aplicaciones durante la fase de floración y fructificación, se obtuvo una homogeneidad de la maduración y mayor número de cerezas por ramas. Conclusión. El empleo del nuevo bioestimulante con dos aplicaciones foliares sobre el cultivo del café, estimuló la floración, maduración y calidad de los frutos respecto al testigo sin tratar.

Influencia de dos bioestimulantes en el comportamiento agrícola del cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), 2019.

Con el objetivo de evaluar el efecto de dos bioestimulantes en el comportamiento agrícola del cultivo del tabaco negro ‘Sancti Spíritus 2006’, se desarrolló un experimento en la Cooperativa de Créditos y Servicios “Sindulfo García”, Sancti Spíritus, Cuba, de octubre a diciembre de 2015. Se evaluaron los siguientes tratamientos: control, inoculación al suelo y aplicación foliar de ME-50 a 100 mg L⁻¹, aplicación foliar de Biobras-16 R © a 0.05 mg L⁻¹ y la combinación de ambos. Las principales observaciones correspondieron a las siguientes variables morfoagronómicas: distancia entre nudos (cm), largo y ancho de las hojas centrales (cm), altura de las plantas (cm) y el número de hojas por planta. Los resultados mostraron que la aplicación de los bioestimulantes ME-50, Biobras-16©R, así como su combinación incrementaron las variables morfológicas en la variedad de tabaco negro ‘Sancti Spíritus 2006’. Los mayores resultados fueron logrados con la aplicación combinada de los dos bioestimulantes porque incrementaron los indicadores observados comparada con la utilización individual de ME 50 y BB-16 e incrementó el número de hojas por planta en relación al tratamiento control en 35.51 % a los 64 ddt.

Impacto de bioestimulantes y ácido húmico en el rendimiento del maíz híbrido (*Zea mays* L.): Evidencias desde el Valle de Ica, Perú. 2024

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, y su rendimiento está influenciado por las condiciones edafoclimáticas y el manejo

agronómico. En el valle de Ica, Perú, la producción de maíz enfrenta desafíos como la baja fertilidad del suelo y la escasez de agua, lo que resalta la necesidad de alternativas sostenibles para mejorar la productividad. Los bioestimulantes y los ácidos húmicos han surgido como herramientas prometedoras para incrementar la eficiencia en el uso de nutrientes y mejorar la tolerancia a condiciones de estrés. Este artículo de revisión examina sistemáticamente el impacto de diferentes dosis y combinaciones de bioestimulantes y ácidos húmicos en el rendimiento del maíz híbrido en la zona media del valle de Ica. Se analizan más de 25 estudios publicados en las últimas dos décadas, sintetizando la evidencia científica sobre los efectos de estos insumos en el crecimiento vegetativo, la absorción de nutrientes y el rendimiento de grano. Los resultados indican que la aplicación de bioestimulantes y ácidos húmicos puede aumentar significativamente el rendimiento del maíz, con incrementos de hasta un 30% bajo condiciones de campo. Sin embargo, se identifican desafíos, como la variabilidad en la respuesta del cultivo y la falta de estandarización en las dosis recomendadas. Finalmente, se discuten las implicaciones agronómicas y económicas de estas tecnologías en sistemas agrícolas sostenibles, proponiendo futuras líneas de investigación para optimizar su uso en diferentes contextos agroecológicos.

Los bioestimulantes. Una alternativa para el desarrollo agroecológico cubano, 2021.

La Revolución Verde, periodo donde el uso intensivo de productos químicos, uso excesivo de maquinaria, la industrialización de la agricultura, ocasiono un impacto negativo al medio ambiente. A raíz de la pésima situación surge a inicios de la década del 80 una corriente de la Agroecología que tilda de inapropiado lo que ocurría en aquellos momentos para los campesinos ya que se utilizaba tecnología agroquímica de alto impacto ambiental y una irracional actividad agrícola. La agroecología es la ciencia fundamental para orientar la conversión de sistemas convencionales hacia sistemas más diversificados y autosuficientes, en armonía con el medio ambiente y la optimización del agroecosistema. Esta define los

principios ecológicos necesarios para desarrollar sistemas de producción sostenibles dentro de los marcos socioeconómicos y culturales tales como: Diversificación vegetal y animal, nivel de especies, reciclaje de nutrientes y materia orgánica, optimización de la disponibilidad de nutrientes y balances del flujo de nutrientes, etc. Dentro del movimiento agroecológico los biopreparados cumplen un papel de suma importancia, en especial los bioestimulantes, sustancia o microorganismos que al aplicarlos a las plantas son capaces de mejorar su eficacia, en absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico y abiótico. El empleo de estos productos se ha expandido por todos los países y Cuba ha sido uno de los primeros países en implementar la agroecología y los bioestimulantes, teniendo muy buenos resultados con reconocidos bioestimulantes nacionales. Hoy más que nunca es de suma importancia aumentar y extender la producción, los aportes positivos de estos a la soberanía y seguridad alimentaria del planeta.

Efecto de prácticas agroecológicas en la conservación del suelo de la Zona de Reserva Campesina de San Isidro, Pradera, Valle del Cauca, 2022.

La biodiversidad del suelo está amenazada por cambios antropogénicos mundiales, como la intensificación del uso del suelo, la deforestación y fenómenos climáticos extremos. El corregimiento de San Isidro, municipio de Pradera, departamento del Valle del Cauca, Colombia, está habitado por comunidades campesinas que protegen la vida y el territorio basados en la organización comunitaria alrededor de la figura de Zona de Reserva Campesina -ZRC. El objetivo de este estudio fue identificar el estado de indicadores de respuesta biológica al manejo agroecológico efectuado por la comunidad de la ZRC San Isidro. Metodológicamente se realizaron análisis físicos y químicos del suelo, cuantificación microbiana y de mesofauna, y se analizaron los indicadores de manejo agroecológico en cada uno de los 15 agroecosistemas. Se encontró que la adopción de labranza conservacionista es prioritaria lo cual se refleja en que el requerimiento de pesticidas es mínimo y no se presentan problemas de erosión del suelo. Se concluye que el actual manejo agroecológico realizado por la comunidad ha evidenciado resultados promisorios en

indicadores biológicos del suelo; sin embargo, se requieren esfuerzos adicionales para fortalecer su potencial.

Efecto bioestimulante de una chalcona sintética sobre frijol guajiro (*Vigna unguiculata* L. Walp), 2023.

Los bioestimulantes vegetales mejoran el desempeño de las plantas bajo condiciones de estrés; las chalconas no se han estudiadas como bioestimulantes pero son moléculas multifuncionales que expresan bioactividad y están involucradas en la regulación del metabolismo vegetal, por lo anterior es conveniente estudiar sus propiedades como bioestimulantes en la agricultura. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la chalcona sintética 3-(4-nitrofenil)1-(piridin-2-i)-prop-2-en-1-ona (CHSNPP) sobre el crecimiento temprano del frijol guajiro (*Vigna unguiculata*), bajo condiciones de cámara de crecimiento vegetal, para aportar evidencia sobre una posible aplicación como biestimulante. Se probaron soluciones de CHSNPP a concentraciones de 25, 50, 100 y 150 ppm, y se evaluaron dos formas de aplicación (por aspersión foliar- AF e inmersión - IM de plántulas en la solución). El tratamiento mediante IM con 25 ppm ocasionó un incremento del 321 % en el área superficial de raíces, con 50 ppm hubo incremento del 78 % en el número de nódulos formados por la simbiosis con rizóbios nativos presentes en el suelo, además de incrementos del 111 % en biomasa y del 16 % en el índice de contenido de clorofila -ICC, finalmente con 150 ppm se incrementó el número de raíces hasta el 82 %; por su parte, el tratamiento mediante AF con 150 ppm ocasionó incrementos en área foliar y biomasa del 101 % y 137 %. Se concluye que las respuestas observadas en las plantas tratadas con CHSNPP son características de los mecanismos de acción de algunos bioestimulantes no microbianos, lo que permite sugerir un posible uso como bioestimulante en frijol guajiro.

MARCO TEÓRICO

Bioestimulantes

Los bioestimulantes hacen referencia a un concepto muy amplio, ya que se tratan de sustancias y/o microorganismos cuya función estimular los procesos naturales que mejoran la absorción y asimilación de nutrientes, tratar el estrés abiótico o mejorar algunas de sus características agronómicas. El objetivo del uso de los bioestimulantes es conseguir cosechas de mejor calidad y dar solución a algunos de los problemas más comunes de los cultivos, como falta de humedad, poca luz, desfases de temperatura, etc., lo cuales pueden provocar pérdidas en su valor comercial (Certis Europe, 2021).

La principal diferencia entre los bioestimulantes y los fertilizantes es que, mientras estos últimos aportan nutrientes a las plantas, la función de los primeros es mejorar los mecanismos de absorción de los nutrientes y su eficiencia, además de favorecer la tolerancia frente al estrés abiótico, que son todos aquellos factores ambientales que alteran los procesos fisiológicos de las plantas, afectando a su desarrollo. Pero sin duda lo más importante es que la utilización de bioestimulantes propicia un menor uso de fertilizantes, lo cual contribuye al cumplimiento de uno de los principales objetivos de la estrategia de la UE “De la granja a la mesa”: reducir el uso de fertilizantes en al menos un 20 % para el 2030 (Certis Europe, 2021).

Los bioestimulantes son la sustancia o microorganismo diseñado para su aplicación en plantas de cultivo, semillas o raíces con el objetivo de estimular y regular procesos biológicos. De este modo, se mejora la disponibilidad de nutrientes y se absorben mejor. Además, los bioestimulantes mejoran la tolerancia de la planta al estrés abiótico. Son compuestos orgánicos que se obtienen a partir de extractos de plantas, algas, bacterias, hongos beneficiosos y ácidos húmicos que contienen un amplio rango de elementos bioactivos. Estas sustancias, aplicadas en los cultivos, son cada vez más utilizadas. Pueden ayudar a resolver aquellos aspectos que

resultan ineficientes en la agricultura a pesar de la mejoría que han experimentado las prácticas productivas. La idea es que los agricultores los empleen para aumentar los rendimientos y la calidad de sus cosechas. Logran producir más con menos insumos tradicionales (Calvo, 2019).

Los bioestimulantes de plantas son productos que se aplican a las plantas para mejorar la productividad y la calidad de las mismas. Suelen ser productos naturales, como extractos de algas, hidrolizados de proteínas y ácidos húmicos, que actúan sobre la fisiología de la planta, aunque también puede tratarse de inóculos microbianos. Su función no es suministrar nutrientes ni proteger la planta contra plagas y patógenos, sino modular las funciones de la planta de manera que se beneficie su nutrición, la tolerancia al estrés ambiental y la calidad de los productos (Du Jardin, 2019).

Los bioinsumos agroecológicos son una alternativa para mejorar la producción agrícola y de fácil alcance para las poblaciones rurales y urbanas su elaboración son de procesos relativamente sencillos su correcta utilización no ofrece riesgos como los 24 productos químicos que por su mal uso producen daño irremediable a la salud del ser humano incluso pudiendo producir enfermedades como la degeneración genética y por qué no hablar de los graves daños medio ambientales además de la pérdida de la microbiología en el suelo, la pérdida de enemigos naturales (Cáceres, 2018).

Los bioestimulantes son compuestos químicos que son aplicados en pequeñas cantidades y afectan el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Son moléculas biológicas o compuestos análogos a los naturales que las células vegetales perciben (con receptores) e identifican como algo propio y desencadenan respuestas en células, tejidos u órganos de las plantas (Díaz, 2021).

Los bioestimulantes y su importancia para la agricultura

Los bioestimulantes han sido utilizados para estimular desarrollo de la planta en el proceso de germinación, crecimiento vegetativo, reproducción, senescencia y preservación post cosecha, todo esto con el fin de facilitar su manejo por el hombre además de contar con nuevas fuentes alternativas. Además de la necesidad de aumentar la productividad, la agricultura enfrenta altas exigencias para entregar productos sanos con mínimas cantidades de sustancias residuales durante el desarrollo del cultivo. Esta situación dicta la necesidad de una búsqueda de productos opcionales con poca acción residual y que no afecten los rendimientos (Terry, et al., 2014).

Los bioestimulantes tales como los productos a base de aminoácidos, ácidos húmicos y fitohormonas complementados con ciertos nutrientes ayudan a la planta a la formación y desarrollo de diferentes órganos, como por ejemplo el uso de fitohormonas a base de citoquinina que promueve la expansión de su sistema radical y por ende, hacer un mayor y mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo regular mejorando los procesos fisiológicos del cultivo (absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés biótico o abiótico) pueden modificar la fisiología de las plantas para incrementar el rendimiento de los cultivos maximizando su potencial genético, haciéndolos más eficientes y mejorando algunas características agronómicas (Aguilar, et al., 2019).

En la agricultura el uso de los bioestimulantes juega un rol muy importante que desempeñar en la agricultura convencional como complemento a la nutrición de los cultivos y a su protección. Entre los beneficios que aportan los bioestimulantes están aumentar la velocidad de crecimiento, incrementar el rendimiento, proveer mayor desarrollo radicular, incrementar la materia orgánica del suelo, mejorar la calidad del producto cosechado, reducir el estrés, y proveer mayor resistencia a plagas y enfermedades entre otros (Bolaños, 2022).

Características de los bioestimulantes agrícolas

De fuente biológica: los bioestimulantes se obtienen de sustancias químicas o de microorganismos, asimismo potencian el desarrollo de las plantas: tienen un alto potencial para incrementar la productividad de los cultivos, transformándose en imprescindibles para la agricultura, posteriormente aumentan la tolerancia al estrés biótico como abiótico: Ayudan a las plantas a problemas, tales como: carencia y salinidad de agua utilizada en el riego, también a temperaturas extremas (Terry et al. 2014).

Los ácidos húmicos presentes en el suelo se componen de una mezcla de moléculas orgánicas complejas formadas por descomposición y oxidación de la materia orgánica. Por tanto, el proceso que origina los ácidos húmicos recibe el nombre de humificación. Los ácidos fúlvicos son moléculas de bajo peso molecular, extremadamente complejas, solubles en agua, ya sea a pH ácido o básico. Estos ácidos reflejan la naturaleza de las plantas y especies de los microorganismos que les dieron origen durante el proceso de humificación, por ello, el color amarillo rojizo o amarillo marrón que los caracteriza. Los ácidos fúlvicos, así como los ácidos húmicos actúan de manera similar en el suelo, ya que ambos incrementan la velocidad de germinación de las semillas y estimulan la proliferación de la microflora presente en el suelo.

Las giberelinas (GAs) son hormonas de crecimiento diterpenoides tetracíclicas involucrados en varios procesos de desarrollo en vegetales. A pesar de ser más de 100 el número hallado en plantas, sólo son unas pocas las que demuestran actividad biológica. Su descubrimiento en plantas se remonta a la época de los años 30, cuando científicos japoneses aislaron una sustancia promotora del crecimiento a partir de cultivos de hongos que parasitaban plantas de arroz causando la enfermedad del “bakanae” o “subida de las plantas”. El compuesto activo se aisló del hongo *Gibberella fujikuroi* por Eichi Kurosawa en 1926 por lo que se denominó “giberelina” (Cereso, 2017).

Esta fitohormona puede ser producida por diversos microorganismos (*Pseudomonas* spp, *Bacillus* spp, *Lactobacillus* spp, *Penicillium* spp, *Trichoderma* spp, entre otros) cuando ocurren ciertas interacciones sim- bióticas o parasitarias (bacterias y hongos) y también, por plantas de manera endógena en los tejidos jóvenes. Además, están involucradas a nivel vegetal en el desarrollo de tejidos cuyo crecimiento es constante, como lo pueden ser la elongación de raíces, hojas jóvenes, floración, entre otros procesos vegetales. El ácido giberélico (GA3), por su parte, juega un rol importante en el alargamiento de los segmentos nodales ya que permite estimular la elongación celular en respuesta a las condiciones de luz y oscuridad. Adicionalmente, tiene una gran relevancia en los procesos de iniciación de la floración, por lo cual es suma- mente vital para la fertilidad de las plantas masculinas y femeninas (Alcantara et. al. 2019).

Las citoquininas son un tipo de fitohormonas específicas derivadas de la adenina que tuvieron su primera aparición entre los años de 1940 y 1950, cuando Caplin y Steward, (1948) empezaron a estudiar el efecto que podía tener el extracto de levadura y el jugo de tomate sobre el crecimiento vegetal. Las citoquininas tienen la capacidad de estimular e inducir una alta proliferación y división celular, suelen inducir la iniciación y elongación de las raíces al igual que pueden activar la senescencia de las hojas, permitiendo estimular el desarrollo fotomorfogénico vegetal y jugar un rol importante en el aumento y generación de la producción de brotes a nivel vegetal. Se sabe que estas fitohormonas suelen producirse de manera abundante en la punta de la raíz y suelen transportarse principalmente por el xilema vegetal hacia las partes aéreas de la planta (hojas) (Alcantara et. al. 2019).

Los bioestimulantes como solución al estrés salino

A nivel mundial diversos investigadores estudian posibles soluciones para mejorar la tolerancia al estrés abiótico en plantas. Las estrategias basadas en la ingeniería genética son una robusta opción, pero para poder implementar estos avances se requiere una revisión de la legislación europea vigente, que es muy estricta con el

uso de organismos modificados genéticamente (GMOs) bioestimulante que se emplea para el estrés salino ayudando a una mejor adsorción y utilización del agua por el vegetal (Hache et al., 2021). El uso de bioestimulantes en los últimos años ha adquirido enorme relevancia, ya que se trata de una alternativa natural y sostenible frente a los métodos químicos 15 tradicionales. El consejo europeo de la industria de bioestimulantes (European Biostimulant Industry Council; EBIC), establece la siguiente definición de los productos bioestimulantes, atendiendo a su funcionalidad, para explicar así la relevancia de estos productos en el mercado agrícola. Un producto bioestimulante es un material que contiene una o más sustancias y/o microorganismos cuya función es estimular ciertos procesos naturales en el organismo o en el suelo (Ricci et. al. 2019).

Generalmente, se trata de productos con varios componentes puesto que se aprovecha de las sinergias producidas entre diferentes sustancias para maximizar su efecto (Rouphael & Colla, 2018). En cuanto a los beneficios tenemos en primer lugar una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, ya que favorece la absorción de ciertos nutrientes que no serían accesibles para las plantas. Además, también aumenta la tolerancia a diferentes estreses abióticos; en algunos casos, solo con la aplicación del producto se logra la supervivencia de la planta. Asimismo, los bioestimulantes que contribuyen al desarrollo radicular también tienen una influencia positiva en la eficiencia del uso del agua (Baltazar, et al., 2021).

Como resultado de sus ventajas obtenemos cultivos de mejor calidad debido a una mejor adquisición de nutrientes y un uso menor de recursos en hacer frente a condiciones adversas, contribuyendo así a un mayor rendimiento calidad del cultivo. Se estima que con el uso de bioestimulantes se produce un aumento del rendimiento aproximado del 5-10 %, lo que influye directamente en la rentabilidad del agricultor (EBIC). Según los datos reportados por MARKET DATA FORECAST, en 2021 el mercado europeo de bioestimulantes oscilaba en 905,7 millones y se estima un crecimiento del 10,71 % en la tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) hasta alcanzar más de 1.500 millones en 2026. A la vista de las encuestas

proporcionadas por la EBIC, las empresas europeas relacionadas con este sector dedican un gran número de recursos a la investigación y desarrollo de productos bioestimulantes, un desembolso mayor en comparación con otros campos, colocando la innovación en productos bioestimulantes como algo prioritario.

Tipos de bioestimulantes

Los ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos y fúlvicos se forman de la materia orgánica de la superficie del suelo y su causa es completamente natural. Se emplean habitualmente mediante el agua de riego o en pulverización foliar para incrementar la absorción y asimilación de los nutrientes minerales, de tal forma que actúan sobre el cultivo incrementando el vigor, rendimiento y calidad de la producción. Al ser aplicado al suelo mejora sustancialmente las características agronómicas de este, su textura y estructura, porosidad y permeabilidad (Melendez & Molina, 2002).

Aminoácidos

Los aminoácidos y mezclas de péptidos se obtienen por medio de la hidrólisis química o enzimática de proteínas de ascendencia diversa: residuos de cultivos, colágenos y tejidos epiteliales. Como lo es el caso Agrosternín un bioestimulante que lo podemos aplicar en los primeros días de germinación ayudando así en enraizamiento de la planta (Casillas et. al., 1986).

Algas y plantas

Existen otros productos como los extractos de algas y plantas, que, usados como fertilizantes desde hace tiempo, actualmente se han mostrado sus propiedades como bioestimulantes. Un claro ejemplo es el bioestimulante de extracto del alga *Ascophyllum nodosum* y una mezcla de amino ácidos + potasio) se aplican previos

a la floración y durante la floración e inicio del desarrollo del fruto, garantizando la productividad y calidad de frutos, lo que trae como beneficio la rápida germinación de las semillas, retraso de la senescencia, incremento en la resistencia a enfermedades fúngicas y bacterianas, adaptación a condiciones de estrés (Flores, 2012).

Biopolímeros

Los quitosanos y otros biopolímeros, pueden producirse de manera natural como artificial, teniendo usos estrechamente extensos y variados: nutrición, cosmética, medicina e incluso como biofertilizantes. De referencia podemos apreciar extracción de quitina a partir de desechos agroindustriales como desechos de camarón y la producción de quitosano como bioestimulante. La quitina fue aislada del exoesqueleto de camarón (*Litopenaeus schmitti*) por el proceso biotecnológico de 8 fermentación ácido láctica para darle una mayor protección a la semilla y así garantizar una buena germinación (Tobar et. al. 2018).

Fitohormonas

Las fitohormonas ejercen su función en muy bajas concentraciones y su principal efecto se produce a nivel celular interfiriendo en los patrones del crecimiento vegetal (RodríguezFernández, 2012).

Existen algunos tipos de hongos y bacterias que aportando nutrientes e incluso incrementan la eficacia en su absorción. Como en el caso de Extracto de *Ascophyllum* protege el pimiento contra *Phytophthora capsici* e induce la producción de la fitoalexina capsidio (Marciel, 2018).

Citoquinas

Basado en la actividad biológica al 0,01 %; las Citoquinina, su fórmula química $C_{19}H_{22}O_6$ son necesarias para el crecimiento de las plantas, las raíces de las plantas son capaces de producir esta sustancia en condiciones de campo, posteriormente se dispersan a otras partes de la planta donde son necesarias para regular el proceso celular, incluyendo el crecimiento de la raíz (Miller, 2008).

La citoquinina es una hormona natural reguladora de crecimiento vegetal que facilita la nutrición de las plantas, promueve el brote y desarrollo de las yemas, espigas y flores, mejora el agarre de las flores y el desarrollo de los frutos, el crecimiento de la raíz y sobre todo el vigor y productividad del producto. Aplicado al suelo sirve para transportar nutrientes a la parte aérea de las plantas y contribuir a su turgencia; además ayuda a combatir el envejecimiento de las células vegetales. Ingrediente activo Citoquinina en forma de Kynetin al 0.01% basado en actividad biológica (Ecuaquimica, 2005).

Los efectos de la citoquinina en las plantas, Promueve la división celular; actúa en formación de brotes, formación y el crecimiento de follaje, promueve la apertura de estomas, mejora la acumulación de clorofilas (Kaur & Garg, 2014).

Promueve la formación de frutas, retrasa la formación de color amarillo en las verduras de hoja, estimular la germinación de las semillas, promueve el crecimiento de las plantas, la floración y el tamaño del fruto y su formación, ayuda a la planta durante el estrés debido a la falta de agua y de corriente, mejora la absorción de calcio en la planta (Nguyen, et. al., 2018).

Giberelinas

Las giberelinas son alrededor de 130 compuestos, todas presentes en plantas superiores e inferiores, y existe un gran número de estos compuestos de uso comercial en base a estos ya identificados en los diferentes cultivos y tipos de plantas. Por su elevada cantidad son señaladas con números y sólo cuatro son

fisiológicamente activas: las giberelinas 1, 3, 4 y 7. Se producen en la zona apical, frutos y semillas y sus principales funciones son Interrumpir el periodo de latencia de las semillas, haciéndolas germinar, inducir la brotación de yemas, promover el desarrollo de los frutos (floración), etc. En la actualidad el compuesto de mayor uso comercial es el ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆) o giberelina 3 (AG3), pero también se usan combinaciones y las giberelinas pueden transformarse unas en otras (Nguyen, et. al., 2018).

De las 4 bioactivas, el AG3 es posiblemente el menos activo en la planta y el que está en menor concentración. Por ejemplo, en frutales, la giberelina 1 es la que se encuentra en mayor cantidad y en el caso del manzano, las que mejor trabajan son 7 y 4. En gran parte de los vegetales la aplicación de AG3 estimula el crecimiento vegetativo ya que provoca elongación celular y desarrollo de brotes. Pero además induce diferenciación celular, desarrollo de inflorescencia, raleo de frutos, madurez de bayas, etc. En frutales y vides tanto dosis como oportunidad son muy importantes, pero además considerar que hay variedades más sensibles que otras. Un ejemplo es Thompson seedless, la variedad que mejor responde al AG3, otro es la variedad Red Globe, la que no responde al AG3 cuando las bayas recién comienzan a crecer. Pero hoy se sabe que en aplicaciones más tardías sí responde, lo que estaría relacionado con el desarrollo de las semillas. (Miller, 2008).

Beneficio de los bioestimulantes

El uso de bioestimulantes ofrece los siguientes beneficios:

- ✓ Contribuyen a una producción más sostenible, ya que mejoran el metabolismo, induciendo a mejores rendimientos y calidad de los cultivos.
- ✓ Mejoran la absorción y el uso eficiente de otros insumos esenciales, especialmente fertilizantes, reduciendo el gasto en estos insumos.
- ✓ Incrementan la tolerancia de la planta y la ayudan a recuperarse frente a condiciones de estrés abiótico (DISAGRO, 2022).

Investigaciones realizadas por (Certis Europe, 2021), indican que la ayuda adicional que proporcionan los bioestimulantes en los cultivos brindan una batería de ventajas y beneficios que recopilamos a continuación:

- Mejoran las funciones de captación, asimilación y eficiencia de los nutrientes.
- Estimulan los procesos naturales de las plantas.
- Influyen favorablemente en los procesos metabólicos más importantes de la planta, entre ellos la fotosíntesis, la síntesis de ácidos nucleicos o la absorción de iones.
- Favorecen el crecimiento y desarrollo de los cultivos.
- Minimizan los procesos de descomposición de abonos, lo que redundará en un ahorro de esfuerzo y energía en las plantas.
- Ayudan a los cultivos a superar el estrés abiótico y a recuperarse con más rapidez de los daños producidos por heladas, granizadas o plagas.
- Optimizan la acción de fertilizantes y abonos.
- En definitiva, son un elemento de gran ayuda para conseguir las mejores cosechas.

Así, algunos de los beneficios de los bioestimulantes incluyen:

1. Estimulación del metabolismo de las plantas;
2. Aumento de la capacidad de resistencia o tolerancia de las plantas a factores de estrés abiótico;
3. Optimización de la asimilación y uso eficiente de los nutrimentos ofrecidos a través de fuentes de fertilizantes;
4. Mejoramiento del rendimiento y la calidad de los cultivos;
5. Estimulación de la actividad biológica del suelo (Gómez et al. 2011).

Información indicada por (Calvo, 2019) indica que, en gran medida, los bioestimulantes son sustitutos de los fertilizantes, y al aplicarlos consigues:

- ✓ Incrementar la tolerancia de los cultivos a situaciones de estrés abiótico, como un trasplante, temperaturas extremas, sequía, heladas, salinidad, fallos en las podas.
- ✓ Facilitar la asimilación de nutrientes, traslocación y uso.
- ✓ Mejorar la calidad del cultivo: incremento de azúcares, mejor color, tamaño, etc. Una mayor calidad se traduce en más beneficios para los agricultores, pero también para los consumidores que tienen acceso a productos más sanos y nutritivos.
- ✓ Recuperar plantaciones que han atravesado un estrés severo.
- ✓ Aumentar la resistencia a las plagas y enfermedades.
- ✓ Mejorar el metabolismo de la planta para mejorar la cosecha y la calidad de esta.
- ✓ Incrementar la fertilidad del suelo, especialmente favoreciendo el desarrollo de microorganismos. Un suelo saludable y rico en microorganismos es más saludable, retiene el agua de un modo más eficaz y resiste mejor a la erosión.
- ✓ Hacer, por tanto, un uso del agua más eficiente.

Clasificación de los bioestimulantes

Los bioestimulantes han sido estudiados y aplicados desde la década de 1950, y desde entonces, la clasificación de estos productos y microorganismos ha cambiado. En la actualidad se reconocen siete categorías de ellos:

- 1) Ácidos húmicos y fúlvicos.
- 2) Hidrolizados de proteínas y compuestos nitrogenados.
- 3) Extractos de algas y plantas superiores.
- 4) Quitosano y otros biopolímeros.
- 5) Compuestos inorgánicos.
- 6) Hongos benéficos.
- 7) Bacterias benéficas (Gómez et al. 2011).

Bioestimulantes vs fertilizantes tradicionales

Los bioestimulantes agrícolas son complementarios a la nutrición. Protegen los cultivos gracias a que actúan directamente sobre el vigor de la planta. Por su parte, los fertilizantes y fitosanitarios actúan sobre el medio en el que se encuentra la planta o sobre la enfermedad y plaga que le afecta. Además, los bioestimulantes no contaminan los suelos y acuíferos, son biodegradables, no dañan la flora y fauna auxiliar y tienen un plazo de seguridad mínimo, sin residuos para el cultivo ni los frutos (Calvo, 2019).

Suelen asociarse con la agricultura orgánica o ecológica, pero gracias a la investigación empiezan a tener un papel determinante en la agricultura convencional. Con ellos, los agricultores pueden hacer frente a los desafíos que enfrentará la agricultura mundial en las próximas décadas. Las demandas de alimento de una población creciente, hacen necesaria aumentar el rendimiento de los cultivos; esto puede lograrse con los bioestimulantes. Otro desafío es la lucha contra el cambio climático y sus consecuencias: sequías, salinidad, temperaturas extremas, etc. Todos los tipos de estrés relacionados con el cambio climático hacen necesarios cultivos resistentes y fuertes que logren optimizar los esfuerzos de los agricultores y el rendimiento de sus cultivos (Calvo, 2019).

Bioestimulantes usados en la investigación

Activer Bioestimulante Orgánico

Bioestimulante orgánico que presenta una alta concentración de aminoácidos, nitrógeno, ácidos fúlvicos y materia orgánica, recomendado especialmente para:

- Momentos críticos de crecimiento vegetal como pueden ser: Desarrollo del sistema radical, brotaciones, floración (solo hortícolas) o engorde del fruto. La aportación de aminoácidos estimula el cultivo promoviendo la activación

del desarrollo vegetativo, así como los ácidos fúlvicos mejoran la recuperación rápida del suelo manteniendo a la planta en un estado óptimo nutricional.

- Ante situaciones adversas (trasplante, granizo, heladas, etc.) aporta gran cantidad de materia orgánica, mejorando la textura y estructura del suelo, favoreciendo la absorción de nutrientes, la actividad vegetativa de las plantas tratadas, pudiendo utilizarse como fuente rápida de suministro de nitrógeno en los momentos de requerimientos máximos.
- Gracias a su aporte de polisacáridos, 7.90%, como almidón o celulosa, favorece la capacidad de generar reservas de energía que ayuden al cultivo ante situaciones de estrés o mejorar la formación celular en el desarrollo vegetativo.
- Aplicado vía foliar potencia el efecto de aplicaciones insecticidas y fungicidas.

Micorrizas

El uso de biofertilizantes y productos bioactivos es una práctica común en la agricultura actual. En el caso de los biofertilizantes basados en hongos micorrízico Arbusculares (HMA), estos son reconocidos por su capacidad de incrementar la producción agrícola de modo sustentable y ecológicamente aceptable (entre un 15 y 50%). Sus beneficios están relacionados con:

- La nutrición, debido a que aumentan la capacidad de absorción del sistema radical; son particularmente exitosos en los suelos tropicales deficientes en fósforo asimilable;
- Las relaciones con el agua (permiten absorber agua a potenciales más bajos que los pelos radicales);
- La estructura del suelo (mejoran las propiedades físicas, aumentan la formación de agregados);
- Los metales pesados (aumentan la tolerancia); y
- Los patógenos radicales (aumentan la tolerancia) (Pentón et al. 2011).

Ecomic es un biofertilizante que permite aumentar la captación de nitrógeno atmosférico e incorporarlo a las plantas que se inoculan favoreciendo la nutrición y aumentando la productividad. Es un inoculante sólido que contiene propágulos de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) con un alto grado de pureza y estabilidad biológica, que viven en simbiosis con las raíces de las plantas superiores. Se logra mayor desarrollo del sistema radical, aumenta la absorción de nutrientes fundamentalmente fósforo y nitrógeno, aumenta la capacidad de toma de agua por las plantas y crea protección contra ciertas plagas de las raíces, favoreciendo el crecimiento de las plantas. Contribuye al mejoramiento de las propiedades físicas y eleva las poblaciones de varias especies microbianas del suelo (Instituto Nacional de Ciencias Agrícola INCA, 2009).

Turba

Turba, una de las palabras más usadas en jardinería, es un material orgánico constituido por elementos procedentes de la descomposición de vegetales. Este material es de color pardo (oscuro o claro, dependiendo del tipo) y es muy rico en carbón. Su naturaleza depende de las condiciones medioambientales presentes en su formación (Husqvarna, 2022).

La turba es uno de los materiales más usados como sustrato tanto en jardinería como en agricultura. Todos hemos oído hablar alguna vez de este tipo de suelo tan utilizado en la mayoría de ocasiones, pero son menos quienes lo conocen en profundidad y saben de dónde viene y cuáles son sus propiedades. Usamos la palabra turba para referirnos, de forma genérica, a todo un abanico de materiales cuyo origen se encuentra en la descomposición parcial de vegetales y cuyas características concretas dependen de las circunstancias exactas de su formación. Las turbas son uno de los sustratos para plantas más utilizados y es que, pese a que son muy pobres en nutrientes como el nitrógeno, sus propiedades resultan ideales para el desarrollo y crecimiento de la gran mayoría de especies vegetales (Acosta, 2022).

Debido a que la turba es un producto natural, hay grados de variación y no todos los grados de turba son adecuados para una mezcla particular que puede encontrar en el mercado. La turba de grado de campo es cribada, mezclada y procesada para lograr propiedades físicas específicas para el mercado y el uso previsto. La turba de grado de la industria se basa en la coloración de la turba y en el tamaño de las partículas que atraviesan diferentes tamaños de malla (mallas de 10, 20, 50 y 100) (Chen, 2020).

La turba también se usa en jardinería para mejorar suelos por su capacidad de retención de agua. Es más frecuente el uso de turbas rubias en cultivo sin suelo, debido a que las negras tienen una aireación deficiente y unos contenidos elevados en sales solubles. Tanto la turba como la perlita son diferentes tipos de sustratos, el primero de tipo orgánico y el segundo industrializado es un mineral de origen volcánico. Ambos juntos con la vermiculita, de costo más elevado, son los principales para la multiplicación y reproducción de plantas ornamentales (Aroña, 2021).

La turba es el sustrato que más se utiliza en el cultivo de todo tipo de plantas. Es económico, mantiene la humedad y es lo más recomendado para la mayoría de las macetas. La turba es el nombre genérico que se le da a diversos materiales procedentes de la descomposición de vegetales, dependiendo de las condiciones medioambientales del lugar de donde se descompongan. Las turberas son cuencas lacustres de origen glacial que hoy en día contienen material vegetal más o menos descompuesto o turba de agua dulce. Son medios con exceso de humedad y deficiente oxigenación por lo que la materia orgánica se descompone parcialmente (Miceli, 2020).

Características de la turba

- Porosidad: la turba tiene una alta porosidad que permite la circulación del aire y el correcto drenaje del agua por parte de las raíces de la planta. Este

material es perfecto para aquellas especies que no toleren los encharcamientos.

- Intercambio catiónico: su pH es variable y se suele encontrar entre 3-4 cuando se trata de la turba rubia y entre 7-8 cuando es turba negra (los tipos de turba se analizarán más adelante).
- Retención del agua: es un elemento capaz de lograr la retención de la humedad, por ello se emplea junto con otros compuestos (perlita) para evitar los excesos y los temidos encharcamientos.
- Nutrientes: cuenta con escasos nutrientes, de ahí que sea muy habitual abonar con frecuencia para suplir la falta de estas sustancias (Husqvarna, 2022).

Humus

Se denomina humus a la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal. Estos provienen de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos como hongos y bacterias. Los elementos orgánicos que componen el humus son muy estables ya que su grado de descomposición es tan elevado que ya no se descomponen más y por lo tanto no sufren transformaciones considerables. El humus se caracteriza por su color negruzco, debido principalmente a la gran cantidad de carbono que contiene. Principalmente se encuentra en las partes altas de los suelos con actividad orgánica (AEFA / Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes, 2021).

Un abono orgánico 100% natural, que se obtiene de la transformación de residuos orgánicos compostados, por medio de la Lombriz Roja de California. Mejora la porosidad y la retención de humedad, aumenta la colonia bacteriana y su sobredosis no genera problemas. Tiene las mejores cualidades constituyéndose en un abono de excelente calidad debido a sus propiedades y composición. La acción de las lombrices 35 da al sustrato un valor agregado, permitiendo valorarlo como un abono completo y eficaz mejorador de suelos. Tiene un aspecto terroso, suave e inodoro,

facilitando una mejor manipulación al aplicarlo, por su estabilidad no da lugar a fermentación o putrefacción. Posee un alto contenido de macro y oligoelementos ofreciendo una alimentación equilibrada para las plantas. Una de las características principales es su gran contenido de microorganismos (bacterias y hongos benéficos) lo que permite elevar la actividad biológica de los suelos. La carga bacteriana es de aproximadamente veinte mil millones por gramo de materia seca (BIOAGROTECSA, 2020).

El humus es aquella sustancia que se obtiene como producto de la descomposición de la materia orgánica de los organismos vegetales, animales y microorganismos. Este mismo, tiene un mayor grado de descomposición que el abono orgánico o que el compost y siendo muy estable sin sufrir más desintegración. Es decir, es el más nutritivo para la tierra. El objetivo del uso del humus es lograr la fertilización o abonado para el mejoramiento de las propiedades físicas y estructura del suelo. Al mismo tiempo, promover el desarrollo de las plantas y su mantenimiento (Pineda, 2020).

El humus de lombriz es entonces un abono orgánico proveniente de la actividad de las lombrices; se trata de un producto de color café oscuro, granulado, homogéneo e inodoro. Su producción en los últimos años ha tomado gran importancia, ya que mejora las características físicoquímicas del suelo, pero sobre todo por ser un abono orgánico de alta pureza. El humus de lombriz es una alternativa interesante para nutrir a los cultivos, además de ser uno de los abonos orgánicos más completos e integrales que se conocen en la actualidad, cuyo manejo también es sencillo, así como su obtención (FERTILAB, 2020).

La materia orgánica que se descompone y produce humus está formada básicamente por fragmentos vegetales como las hojas, los tallos, las raíces, las cortezas, las semillas, el polen... en fase de descomposición. También por los exudados de raíces y excrementos de algunos animales como las lombrices y otros animales microbianos del suelo, sin olvidar la aportación que realizan los animales

muertos y muchos otros 36 microorganismos, como hongos y bacterias (AEFA / Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes , 2021).

El humus constituye una reserva importante de materia orgánica en el suelo y su influencia en el suelo es tanto física, química como biológica. Física ya que da consistencia tanto a los suelos ligeros como a los compactos, evita la formación de costras, ayuda a la retención de agua y al drenado de la misma... química ya que ayuda a regular la nutrición vegetal, mejora el intercambio de iones y la asimilación de abonos minerales, aporta productos nitrogenados al suelo degradado... y biológica porque sirve a su vez de soporte y alimento para los microorganismos (AEFA / Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes, 2021).

Compost

El compostaje es el proceso aerobio de transformación biológica que permite la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales (RSM), logrando su estabilidad, madurez y sanitización. Este es un proceso que imita la descomposición natural que existe en los ecosistemas, nada más que en éste se potencializa las condiciones de manejo para lograr acelerar el tiempo de proceso y consiguientemente su productividad (Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, 2020).

Cuando se habla de compostar, se refiere a un proceso biológico que ocurre en presencia de oxígeno y transforma residuos orgánicos en un material homogéneo asimilable para las plantas que se denomina compost. Este compuesto es un producto natural, que tiene aspecto a tierra, con olor agradable, de color café a negro y en el cual no se pueden diferenciar los residuos orgánicos iniciales tales como la lechuga, tomate o papa, etc., que se saca de la cocina (Salinas et al. 2020). El compost se forma por la acción de millones de organismos y microorganismos denominados descomponedores como, por ejemplo, algunos hongos y bacterias. Estos degradan la materia orgánica en presencia de oxígeno hasta convertirla en

abono. No todos los descomponedores operan de la misma forma ni en el mismo momento, sino que cada uno entra en juego en distintas fases del proceso de compostaje, dependiendo del estado de los materiales orgánicos, de la humedad y de la temperatura (Programa Nacional Reciclo Orgánicos de Chile, 2019).

El compostaje es una técnica viable en la degradación de residuos orgánicos que de acuerdo a las materias utilizadas, sus características están relacionadas con el producto final. En relación las características físicas y químicas del compost de pergamino de café, por su calidad y de acuerdo con la Norma Chilena 2880, le corresponde la clase A, resultando el más viable para su uso como sustrato o fertilizante. El compost a base de pergamino de café presentó los valores más altos de porosidad total, porosidad de aireación y menor porcentaje de retención de agua. Todos los compost presentaron valores por debajo del límite máximo para la densidad aparente. El pH, la conductividad eléctrica y la relación C/N en todos los compost estaban en el rango 41 establecido; aunque, el porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico, estuvieron por debajo de los valores óptimos (Rivas & Silva, 2020).

El compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas. Por otra parte, el compost presenta un alto contenido de materia orgánica con las ventajas que ello conlleva. Se recomienda, antes de hacer aplicaciones tanto de compost o materia orgánica, como de fertilizantes minerales, realizar un análisis de suelo para controlar los niveles de nutrientes y ajustar la fertilización en función de la liberación que se produzca y de las necesidades del cultivo (Román et al. 2013).

Beneficios del uso de compost

Información proporcionada por el (Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, 2020), los beneficios del uso del compost son los siguientes:

- Es un mejorador de suelo que crea condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas para el desarrollo de microorganismos benéficos descomponedores y fijadores de nutrientes.
- Aporta macro, micronutrientes y minerales a corto mediano nutrientes a corto plazo.
- Adiciona materia orgánica, que mejora la retención y drenaje de agua del suelo, además le proporciona porosidad permitiendo el paso libre de agua y oxígeno.
- Incrementa la cantidad de nutrientes y microorganismos del suelo, logrando mejorar o reconstituir su ecosistema.
- Permite dar valor agregado a los residuos orgánicos, transformándolos en abono.
- Disminuye la cantidad de materia orgánica que termina en los sitios de disposición final, aumentando la vida útil de los mismos.
- Disminuye la cantidad de lixiviados y de malos olores que se generan en los rellenos sanitarios.
- Reduce la emisión de metano en los sitios de disposición final, el cual es generado debido a la descomposición de la materia orgánica (Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, 2020).

El compost al ser incorporado a los suelos de cultivo:

- ✓ Aumenta la capacidad de retención del agua.
- ✓ Mejora la porosidad, permitiendo una mejor aireación.
- ✓ Aumenta la capacidad de retención de nutrientes del suelo.
- ✓ Aumenta la permeabilidad e infiltración del agua.
- ✓ Estimula el crecimiento aéreo y radicular de las plantas.
- ✓ Disminuye el riesgo de erosión de los suelos.
- ✓ Estimula la actividad biológica del suelo.
- ✓ Estimula el crecimiento vegetal (Salinas et al. 2020).

Investigaciones realizadas con biofertilizantes

Como señalan (Ramírez & Pérez, 2006), con el propósito de evaluar el potencial del subproducto del tratamiento de aguas residuales “biosólido”, para su aplicación en la agricultura por medio de la valoración del crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de rábano rojo, y establecer una posible alternativa al problema de disposición final de 3900 toneladas de este material generado mensualmente en la planta de tratamiento de aguas. El diseño experimental empleado correspondió a bloques completos al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones, dispuesto en parcelas de 2 m x 2 m. Los tratamientos correspondieron a mezclas de biosólidos con suelo en las siguientes proporciones: 100 % biosólido (equivalente a 294 ton ha⁻¹), 75 % biosólido (220 ton Ha⁻¹), 50 % biosólido (147 ton ha⁻¹), 25 % biosólido (73 ton ha⁻¹) y 100 % suelo como control. Se sembró rábano rojo *Raphanus sativus* L. Las variables evaluadas fueron: 19 porcentaje de germinación, peso seco de hojas y raíz, longitud de la planta, área foliar y producción. Además, se midió la acumulación de elementos traza en los rábanos cosechados, para determinar su riesgo para el consumo. Los resultados evidenciaron que los tratamientos 50 % biosólido y 25 % biosólido, son los que favorecen el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de rábano, mientras que los tratamientos 75 % biosólido y 100% suelo presentaron un menor desarrollo, crecimiento y producción del cultivo. El tratamiento 100% biosólido provocó una baja germinación, además no presentó acumulación en la raíz, que es el producto cosechable. Los niveles de acumulación de metales pesados sobrepasaron los máximos permitidos con el tratamiento 75 % biosólido. Se evidenció como, la utilización del biosólido en la agricultura puede acarrear un gran riesgo, ya que a pesar de presentar una gran cantidad de nutrientes (C, N, P, K, Ca, Na, Fe y Zn) y materia orgánica, la presencia de metales pesados, o su inadecuada aplicación, puede ir en detrimento del crecimiento y producción de las plantas de rábano.

Desde el punto de vista de (Calero et al., 2019), se evaluó el efecto de tres bioestimulantes en el comportamiento morfológico y productivo del cultivo de rábano, se desarrolló un experimento en áreas del organopónico “El Estadio” Sancti Spíritus, Cuba, durante los meses de febrero a abril del 2016. Los tratamientos fueron: ME-50 (50 mL.L^{-1}), humus lixiviado, (100 mL.L^{-1}), Biobras-16 ($0,012 \text{ L.ha}^{-1}$) y un control con agua. Las observaciones de los parámetros morfoagronómicos se efectuó sobre 45 plantas por tratamiento y las variables fueron: promedio de hojas por plantas, altura de la planta (cm), diámetro promedio de las raíces (cm), producción de biomasa (g.planta^{-1}), porcentaje de raíces tuberosas afectadas (%) y el rendimiento (kg.m^{-2}). Los resultados mostraron que la utilización de los tres bioestimulantes en la producción del cultivo del rábano en condiciones de organopónico fue beneficiosa, ya que mostró efectos positivos en el incremento de la producción media de hojas por planta, en el diámetro de las raíces, la producción de biomasa y el rendimiento en más de $1,05 \text{ kg.m}^{-2}$, además el tratamiento con ME-50 redujo el porcentaje de raíces tuberosas dañadas en un 50 % menos en relación al control.

Según, (Carrera, 2015), determinó la elaboración abonos orgánicos a partir de residuos animales y residuos vegetales, así como también medir la respuesta de los abonos orgánicos en el cultivo de rábano, evaluó algunos indicadores de crecimiento en plantas de rábano y evaluó el análisis económico de los tratamientos más promisorios en plantas de rábano, utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA) con dos tratamientos y un testigo, con siete repeticiones. Los resultados obtenidos fueron: la producción de humus a partir de residuo animal con 24,72 20 kg, y con residuo vegetal con 18,46 kg, por cada 50 kg de materia prima respectivamente. En cuanto a la producción de rábano los porcentajes de germinación fueron de 97% para el tratamiento de abonos a partir de origen vegetal, y 93,43% con residuo animal. El valor más alto en cuanto a la altura de planta a los 10 días se presenta con el humus con residuo vegetal, con un valor de 6,12 cm. El diámetro de fruto los valores más altos se obtuvieron del abono con residuos animal

con 3,42 cm. El tratamiento con residuo animal presento valores más significativos en cuanto a la variable del peso del bulbo con 31,14 g.

OBJETIVOS

General

Realizar caracterización fisicoquímica de distintas dosis un bioestimulante agroecológico elaborado a base de quitosano y lixiviado de lombriz.

Específicos

1. Preparar el bioestimulante agroecológico con los precursores que registraron mayor contenido de nitrógeno, fosforo y potasio y determinar sus propiedades texturales.
2. Optimizar el proceso de síntesis de transformación de materiales utilizando el método de Taguchi y empleando como variable de respuesta la cantidad de elementos nitrógeno, fosforo y potasio, a determinadas condiciones experimentales.
3. Seleccionar los biestimulantes que resultaron más competitivos en la producción de maíz a diferentes condiciones experimentales.
4. Realizar estudios de efectos fenológicos y producción de maíz en predios agrícolas de la zona de Guasave Sinaloa y comparar la eficiencia del bioestimulante con otros del mercado.

HIPÓTESIS

La adición de quitosano al lixiviado de lombriz permitirá incrementar en un 5% el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, además de incrementar la materia orgánica y la conductividad eléctrica de la mezcla.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Al combinar de quitosano con lixiviado de lombriz se incrementarán en un 5% el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, además de incrementar la materia orgánica y la conductividad eléctrica?

METODOLOGÍA

Producción de lixiviado de lombricomposta

La lombricomposta se elaboró a partir de estiércol bovino obtenido de corrales ubicados en comunidades cercanas a la institución. Una vez que llegó el sustrato, se tamizó y lavó con agua para eliminar residuos y materia extraña. Se utilizó una cama de compostaje de 1m de ancho por 6 m de largo y una altura del sustrato de 30 cm. Una vez que el sustrato contaba con las condiciones necesarias, se realizó la siembra de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), consistiendo en una población de 600 lombrices adultas. Se realizaron riegos a criterio con el objetivo de mantener la humedad del sustrato en un 70-80 % para el desarrollo del lombricopostaje (Soto y Muñoz, 2002). Una vez transcurridos tres meses, se recolectó el lixiviado de las camas para realizar los tratamientos correspondientes. La lombricomposta generada se almacenó para futuros estudios.

Síntesis de quitosano

La síntesis del quitosano fue llevada a cabo por medio de la implementación de una metodología rutinaria en la síntesis de este tipo de compuestos que consiste en la limpieza de la quitina por medio de una desproteínización y desmineralización, así como una posterior desacetilación para dar como producto final la quitina. Para lo anterior se siguieron las siguientes condiciones en las respectivas etapas:

Secado de la cáscara: Se seleccionó una temperatura de 80°C por 48 horas en un horno de convección forzada tratando de eliminar la mayor cantidad de humedad de la cáscara.

Con la finalidad de eliminar rastros de la proteína de la materia prima, ésta se sometió a un tratamiento en medio básico con una solución de NaOH 2M y manteniendo una temperatura de tratamiento de 65°C por 2 horas. Para ello se

respetó la relación de 5 mL de solución básica por cada gramo de precursor de quitosano (cáscara/quitina). Los minerales presentes en la quitina fueron eliminados por someterla a tratamiento ácido por medio del uso de una solución HCl 1.8M a 40°C por un tiempo de 1 hora y respetando la relación de 5 mL de solución ácida por cada gramo de quitina. La desacetilación de la quitina para la obtención de quitosano fue llevada a cabo mediante el uso de una solución básica de NaOH 11M a 100°C por 2 horas y respetando la relación de 3 mL de solución básica por cada gramo de quitina.

La reacción de desacetilación de quitina a quitosano fue monitoreada usando el método potenciométrico por medio de un pHmetro de la marca Hanna Instruments. Para llevar a cabo la medición se procedió a disolver 1 g de quitosano seco en HCl 1M. El método de valoración seguido hace uso de una solución de NaOH 0.1N por medio de la medición del cambio de pH de la solución mediante la adición lenta de la solución valorante. Para trazar las curvas de valoración se tomó nota del cambio del pH respecto de la cantidad de valorante añadido, lo que fue la base para obtener los puntos de inflexión de la curva cuya diferencia nos permite calcular la cantidad de ácido que se requirió para protonar los grupos amino del quitosano. Para ello se utilizó la siguiente formula:

$$DS = 16.1 (x-y) / w(f)$$

Donde:

y es el punto de inflexión mayor corresponde (volumen),

x corresponde al punto de inflexión menor (volumen),

f es la molaridad de la solución de NaOH,

w masa en gramos de la muestra

16.1 es un factor asociado al tipo de proteína utilizada

Formulación de abonos orgánicos

A partir del lixiviado de lombriz obtenido y del quitosano sintetizado se realizaron cuatro tratamientos para su análisis. El primer tratamiento fue el tratamiento control que consistió en el análisis de lixiviado de lombricomposta puro sin la adición de otro componente. El tratamiento dos consistió en la mezcla de 1% en peso de quitosano y lixiviado, el tratamiento tres fue una mezcla de 2% en peso de quitosano más lixiviado y el tratamiento cuatro fue la mezcla de 3% en peso de quitosano y lixiviado.

Determinación de propiedades fisicoquímicas

El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa. En cada uno de los abonos se determinó la conductividad eléctrica (CE) y el pH; a través de una sonda multiparamétrica (marca YSI, modelo Professional Plus). Posteriormente se tomaron de 5 mL de cada uno de los abonos para la determinación de materia orgánica (MO), la cual se desarrolló según el método Walkley y Black (1934), por oxidación con dicromato de potasio 0.05 N, y se cuantificó por espectrofotometría a una longitud de onda de 650 nm.

Método para la determinación de macro y micronutrientes

Para el análisis de nutrientes de los abonos orgánicos utilizados en este estudio se filtraron 100 mL de cada uno de los abonos, a través de membranas de nylon de 0.45 μm (Millipore, HNWP); posteriormente los abonos se analizaron en un espectrofotómetro multiparámetro (Marca Hach, modelo DR 3900), siguiendo el protocolo del manual de operaciones con reactivos específicos para la evaluación de las concentraciones de cada elemento. Nitrógeno, fósforo y potasio. Como control interno se utilizó un reactivo estándar, para comparar las absorbancias de cada elemento, cada uno de los análisis se realizó por triplicado.

Los abonos se analizaron por espectroscopia de absorción atómica, debido a la sensibilidad logrando determinar concentraciones mínimas. Se determinaron los contenidos de micronutrientes solubles en agua como Fe, Cu, Mn y Zn, tomando como referencia los siguientes métodos: Método estándar para el análisis de agua y aguas residuales (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater). Los análisis mencionados se realizaron con equipo de espectroscopia de absorción atómica Perkin Elmer, Modelo 2380 AA. Donde la absorción del elemento en cada tratamiento se calculó restando el testigo (Pérez-López y Alvarado-Rodríguez, 2018).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron aplicando un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y bajo un diseño completamente al azar (DCA). Las diferencias entre los valores promedio se establecieron mediante la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Se utilizó el paquete estadístico Minitab 19®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 1., se muestran los resultados de las variables fisicoquímicas evaluadas (pH, C.E. y M.O.) obtenidos para cada tratamiento y se puede observar que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos para todas las variables evaluadas. De manera general, se observa un incremento en todas las variables fisicoquímicas conforme aumenta la concentración de quitosano en los tratamientos. En lo que respecta a la variable pH, el valor más bajo se registró en el tratamiento control, con un valor de 8.7 ± 0.2 , el cual se encuentra dentro del rango reportado por Vilches-León et al., (2023), el cual es de 8.8 para lixiviados de lombricomposta que se aplicaron en plantas de *Abelmoschus esculentus* L. y *Vigna unguiculata* L. En los tratamientos evaluados durante esta investigación se puede observar que este parámetro se incrementó a medida que aumentó la concentración de quitosano en los tratamientos obteniendo valores de 9.5 ± 0.1 , 9.9 ± 0.2 y 10 ± 0.1 para los tratamientos donde se mezcló 1%, 2% y 3% de quitosano. Diversas investigaciones muestran que para la obtención de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón se utiliza hidróxido de sodio en concentraciones elevadas, lo cual puede generar la formación de grupos OH (Romo et al., 2016; Hernández-Cocoletzi et al., 2009).

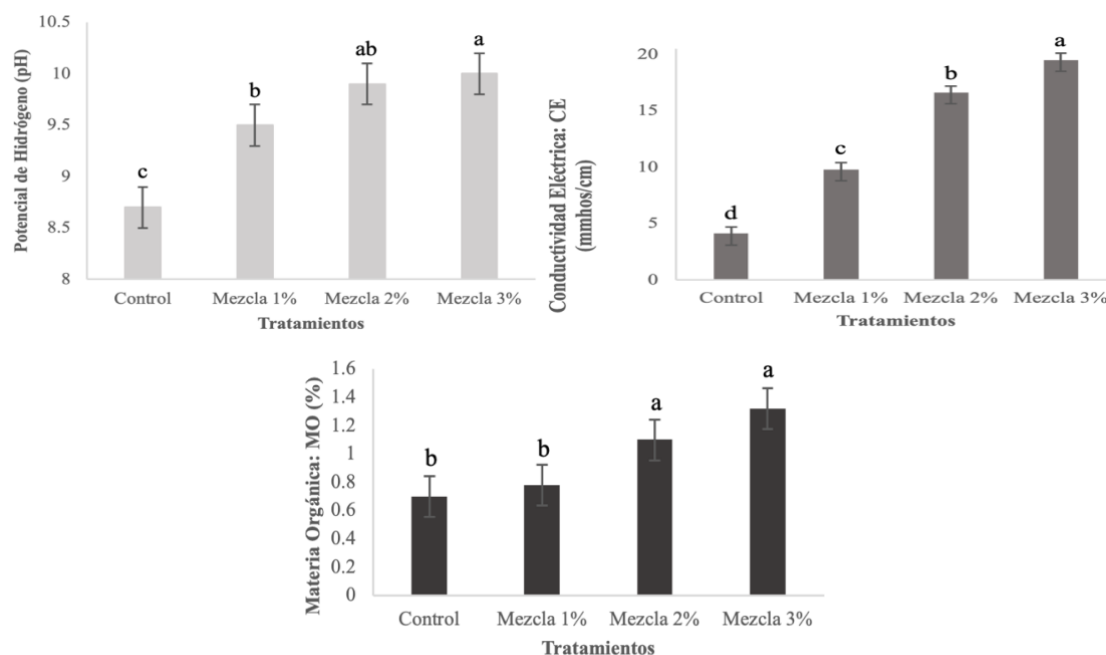


Figura 1.- Efecto de la adición de quitosano sobre el las propiedades fisicoquímicas (pH, C.E. y M.O.) de lixiviado de lombricomposta. ^{abc}Diferente literal en cada columna, indica diferencia significativa. Prueba de Tukey con 95% de confianza.

En lo que respecta a C.E., se puede observar que presentó el mismo comportamiento que el pH, ya que al aumentar la concentración de quitosano en la mezcla, la C.E. también aumentó. El tratamiento control presentó el valor más bajo con 4.1 ± 0.5 (mmhos/cm) y a medida que se aumentó la concentración de quitosano, esta variable también se incrementó, los valores para los demás tratamientos fueron 9.8 ± 0.6 (Mezcla 1%), 16.6 ± 0.4 (Mezcla 2%) y 19.5 ± 0.4 mmhos/cm (Mezcla 3%). En una investigación donde se evaluó la C.E. en diferentes abonos orgánicos a base de lombricomposta, donde se mezcló con humus de plátano y con guano, se reportan promedios que van desde 1 hasta 15 mmhos/cm, los cuales son similares a los encontrados en esta investigación (González-Márquez, et al., 2021).

En los resultados obtenido sobre M.O. también hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Se puede observar que los primeros dos tratamientos presentaron valores estadísticamente iguales, en el control se registró un 0.7 ± 0.1 % y en la mezcla 1% de quitosano, el promedio fue 0.78 ± 0.2 %. Los promedios más elevados se registraron en el tratamiento mezcla 2% y mezcla 3% con 1.1 ± 0.1 y 1.32 ± 0.1 % respectivamente. El incremento en la M.O. puede deberse a la presencia de la molécula de quitosano, ya que este es un polímero parcialmente desacetilado de la quitina, tiene la capacidad de ser biodegradable, biocompatible y no toxico, por lo que se considera un compuesto muy atractivo (Kumar et al., 2020).

La Fig. 2., muestra el comportamiento de la concentración de macronutrientes de los tratamientos evaluados. Se puede observar que se presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados. De manera general, la concentración de nitrógeno aumentó al aumentar la cantidad de quitosano. Los valores más bajos para esta variable se registraron en el tratamiento control, con un

promedio de 0.8 ± 0.2 % y su concentración aumentó hasta 2.5 ± 0.3 % en el tratamiento con 3% de quitosano. El incremento en la concentración de nitrógeno puede ser gracias a la estructura química del quitosano, ya que tiene un alto contenido de nitrógeno (N) y posee una distribución regular de los grupos aminos libres, que pueden ser protonados por ciertos ácidos, cargándose positivamente y esto le da un carácter policationico (Cortés-Higareda et al., 2019). En una investigación realizada por González-Márquez, et al., (2021), se evaluó la composición de diferentes abonos orgánicos y en dicha investigación reportan valores de 5.7% de nitrógeno para lixiviado de calcio. Estos valores se encuentran un poco más elevados que los encontrados en esta investigación

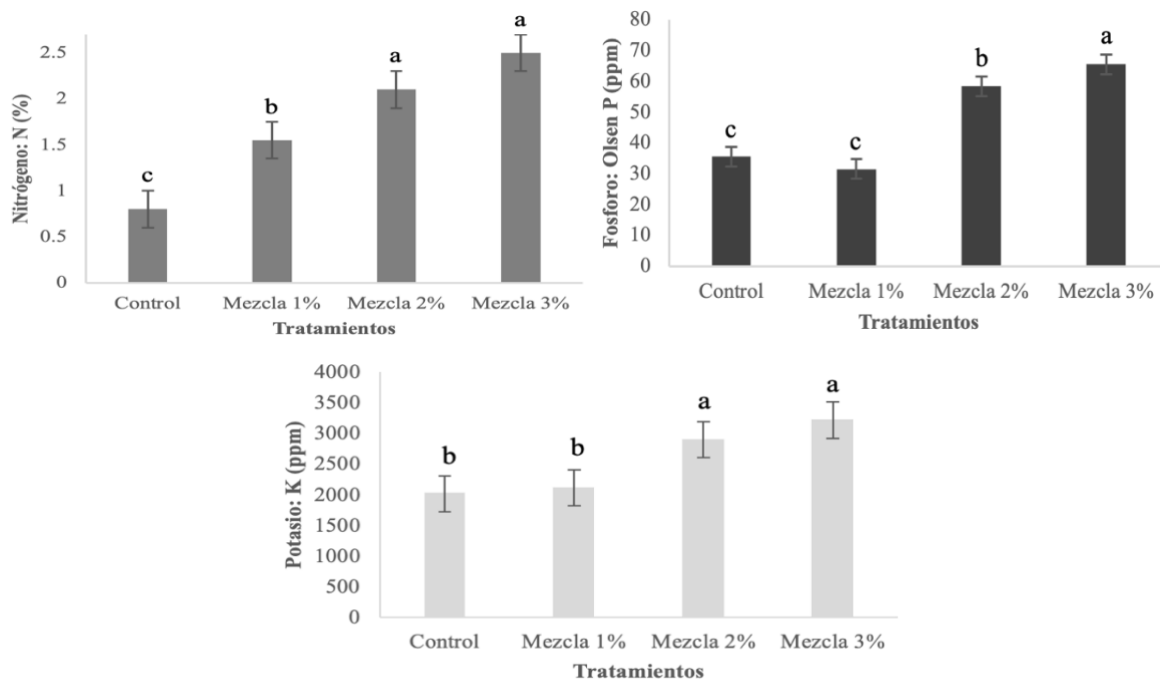


Figura 2.- Efecto de la adición de quitosano sobre la concentración de macro nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) en lixiviado de lombricomposta. ^{abc}Diferente literal en cada columna, indica diferencia significativa. Prueba de Tukey con 95% de confianza.

Otro macronutriente evaluado fue el fósforo y esta variable presentó el mismo comportamiento que las anteriores, pues aumento la concentración del mismo conforme se agregó mayor cantidad de quitosano. Los valores más bajos se reportaron en los primeros dos tratamientos con valores de 35.54 ± 3.2 y 31.52 ± 2.8

ppm para el tratamiento control y la mezcla 1% respectivamente. Los valores más elevados se encontraron en la mezcla con dos y tres por ciento de quitosano, los valores encontrados para dichos tratamientos fueron de 58.35 ± 3.5 y 65.54 ± 3.4 ppm respectivamente. Los valores de la variable potasio se muestran en la Fig. 2., se puede observar que este parámetro varió entre 2015.5 ± 10.3 y 3219.42 ± 12.1 ppm, los resultados más bajos se obtuvieron en el tratamiento control, mientras que los más elevados se registraron en los tratamientos con mayor contenido de quitosano. En una investigación se evaluó la composición de lixiviados de lombriz roja californiana, los cuales se mezclaron con otros elementos como melaza, suero y té de gobernadora. Los resultados que se obtuvieron en dicha investigación variaron entre 5.22 ± 0.12 ppm y 74.52 ± 0.82 para fósforo los cuales son muy similares a los encontrados en esta investigación y los resultados que se obtuvieron para potasio variaron entre 2033 ± 104 ppm y 7000 ± 0 , los cuales son valores más elevados a los encontrados en esta investigación (Palacios-Valenzuela et al., 2021).

En la Tabla 1., se muestran los resultados de los microelementos de las mezclas de lixiviado de lombricomposta y quitosano. Se puede observar que existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos para todos los elementos evaluados. En lo que respecta a la concentración de calcio, este varió entre 2129.04 ± 5.01 ppm y 3620.04 ± 3.56 para todos los tratamientos evaluados y dicha concentración aumentó al incrementar la cantidad de quitosano en las mezclas. La concentración de Mg varió entre 432.54 ± 1.37 ppm para el tratamiento control y 785.32 ± 1.33 ppm para la Mezcla 3%.

Tabla 1. Efecto de la adición de quitosano sobre la concentración de microelementos (Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn) en lixiviado de lombricomposta. abcDiferente literal en cada renglón, indica diferencia significativa. Prueba de Tukey con 95% de confianza.

Minerales	Tratamientos			
	Control	Mezcla 1%	Mezcla 2%	Mezcla 3%
Calcio (Ca, ppm)	2129.04 ± 5.01^d	2420.54 ± 4.67^c	2920.1 ± 5.31^b	3620.04 ± 3.56^a

Magnesio (Mg, ppm)	432.54±1.37 ^d	524.65±1.22 ^c	687.54±0.98 ^b	785.32±1.33 ^a
Sodio (Na, ppm)	120±0.67 ^c	120±0.54 ^c	142±0.16 ^b	160±0.32 ^a
Hierro (Fe, ppm)	14.32±0.15 ^c	19.21±0.53 ^b	25.32±0.61 ^a	25.87±0.78 ^a
Cobre (Cu, ppm)	4.25±0.11 ^d	5.87±0.28 ^c	7.54±0.65 ^b	8.65±0.72 ^a
Zinc (Zn, ppm)	15.65±0.47 ^d	22.3±0.82 ^c	28.3±0.88 ^a	26.87±0.43 ^b
Manganeso (Mn, ppm)	15.99±0.22 ^c	20.54±0.33 ^b	22.54±0.12 ^a	20.54±0.26 ^b

La concentración de Na varió entre 120±0.67 ppm y 160±0.32 ppm y al igual que las demás variables dicha concentración aumentó conforme aumentó la concentración de quitosano añadida a las formulaciones. En lo que respecta a Fe, también presentó una variación similar obteniendo promedios que van desde 14.32±0.15 ppm hasta 25.87±0.78 ppm. El contenido de Cu, también presentó diferencia estadística ($p \leq 0.05$) con promedios entre 4.25±0.11 ppm y 8.65±0.72 ppm. La cantidad de Zn presente en los abonos orgánicos evaluados fue de 15.65±0.47 ppm para el tratamiento control y de 26.87±0.43 ppm en el tratamiento Mezcla 3% como valor más elevado. Por último, la concentración de Mn, presentó resultados un poco diferente a la tendencia de las demás variables, ya que en el tratamiento Mezcla 3%, se obtuvo un valor más bajo que en el tratamiento Mezcla 2%. En el tratamiento control se registró un valor de 15.99±0.22 ppm, mientras que en la Mezcla 2% se obtuvo un promedio de 22.54±0.12 ppm. En la investigación realizada por Palacios-Valenzuela et al., (2021) se reportaron valores similares a los encontrados en esta investigación y de igual manera con los resultados reportados por González-Márquez, et al., (2021). El aumento en la concentración de estos micro elementos puede deberse también a la procedencia del quitosano, ya que se extrae de cáscaras de camarón y por lo tanto debido a su composición aporta una gran cantidad de minerales presentes en la estructura de las mismas (Rodríguez-Pedroso et al., 2022; Costales-Menendez et al., 2021)

CONCLUSIONES

La mezcla de lixiviado de lombricomposta y quitosano generan un abono orgánico con propiedades que ayudan para el desarrollo de los cultivos. La adición de quitosano aumenta la concentración de las variables evaluadas, por eso en los tratamientos a los que se les adicionó mayor concentración de quitosano, las variables evaluadas se incrementaron. Las propiedades fisicoquímicas se vieron modificadas y aumentó la conductividad eléctrica y materia orgánica por la adición de quitosano. En el caso de los macro elementos, estos también sufrieron un aumento en los tratamientos donde se adicionó el biopolímero con respecto al control. También la concentración de micro elementos aumentó de igual manera que en las demás variables evaluadas.

En este trabajo, los extractos líquidos de lombricomposta mezclados con quitosano son considerados como buenas fuentes de nutrientes para los cultivos, sin embargo, todavía no se establecen las características con las que deben cumplir este tipo de productos para que se puedan utilizar. Conocer la calidad en cuanto al contenido de nutrientes de los abonos orgánicos proporciona seguridad al productor para un mejor manejo de sus cultivos.

La investigación sobre bioestimulantes a base de quitosano puede contribuir a la sostenibilidad agrícola al reducir la dependencia de fertilizantes químicos y pesticidas. Al caracterizar adecuadamente estos bioestimulantes, se puede promover su uso en lugar de insumos químicos, lo que no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede resultar en un ahorro económico para los agricultores. La transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles es esencial para garantizar la seguridad alimentaria y la salud del planeta.

Por otro lado, la caracterización fisicoquímica de bioestimulantes elaborados a base de quitosano puede abrir nuevas oportunidades para la investigación y el desarrollo de productos innovadores en el sector agrícola. A medida que se avanza en la comprensión de las propiedades y mecanismos de acción del quitosano, se pueden

desarrollar formulaciones más efectivas y adaptadas a diferentes condiciones agrícolas. Esto no solo beneficiará a los agricultores, sino que también contribuirá al desarrollo de una agricultura más resiliente y sostenible.

Así mismo, la caracterización fisicoquímica de bioestimulantes agroecológicos elaborados a base de quitosano es un área de investigación crucial que puede proporcionar información valiosa para mejorar la producción agrícola de manera sostenible. Al comprender las propiedades del quitosano y su interacción con el medio ambiente, se pueden desarrollar estrategias efectivas para optimizar su uso, beneficiando tanto a los agricultores como al ecosistema en su conjunto.

RECOMENDACIONES

- Al gobierno y sus respectivas dependencias, que consideren la iniciativa de apoyar a los productores acuícolas y agrícolas de la región de Guasave, Sinaloa que elaboran fertilizantes orgánicos a base de derivados de la acuacultura y la agricultura.
- A los productores agrícolas de la región de Guasave, que busquen alternativas de financiamiento que ofrece el gobierno el estado de Sinaloa para la producción de fertilizantes orgánicos.
- A los diferentes actores de generación del conocimiento en el área acuícola y agrícola, que se divulgue el conocimiento adquirido en las investigaciones para informar a la población que existen alternativas de fertilización orgánica que podrían disminuir los costos de producción a los productores agrícolas y los productores acuícolas vender sus subproductos como la cáscara del camaron.
- Realizar investigaciones donde se analicen subprodcutos derivados de actividades como la acuículturan, ganadería y agricultura, como en la producción de biofertilizantes.
- Evaluar los rendimientos del cultivo de maíz con distintas dosis de fertilizante orgánicos elaborado a base de quitosano, con el objetivo de generar datos que nos permitan realizar una correlación y con ellos determinar un modelo de predicción del rendimiento del cultivo de maíz en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. (2022). Turba: qué es, tipos y cómo usarla. Obtenido de ecologiaverde.com. España.: <https://www.ecologiaverde.com/turba-que-estipos-y-como-usarla-3124.html>
- AEFA / Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes . (2021). Humus. Obtenido de AEFA / Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes : <https://aeфа-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-enagronutricion/humus>
- Aguilar, A., Guerrero, C., Morales, A., López, K., Chirino, G., & Palomar, M. (2019). Estudio comparativo del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) bajo condiciones de invernadero con aplicación de hidroponía, vermicomposta y *Acetobacter* sp. Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química, 5(5), 642-649. Retrieved from http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7890/Estudio_comparativo_del_cultivo_de_rabano_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alcantara, J., Acero, J., Alcántara, J., & Sánchez, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. NOVA, 109-131.
- Altieri, M. A. (1999). Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan Comunidad. <https://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- Álvarez, M., Tucta, F., Quispe, F., & Meza, V. (2018). Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de la fresa. Sci. Agropecu, 9(1), 33-42.
- Aroña, M. (2021). ¿Cómo usar la turba en las plantas? Obtenido de <https://aleph.org.mx/como-usar-la-turba-en-las-plantas>.
- Azevedo, L. C. B., Braga Bertini, S. C., Ferreira, B. S., Carneiro, I. S. M., y Dornelles, M. S. (2017). Liquid organic fertilizer sprayed on shoots of *Phaseolus vulgaris* stimulates arbuscular mycorrhiza colonization and phosphate solubilizing

- microorganisms in soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 63(10), 1382-1389. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1281391>
- Baltazar, M., Correia, S., Guinan, K., Sujeeth, N., Bragança, R., & Gonçalves, B. (2021). Recent Advances in the Molecular Effects of Biostimulants in Plants: An Overview. Biomolecules, 11(8), 1096.
- Bolaños, C. (2022). Determinación del tiempo óptimo de estabilización de Bocashi elaborados con desechos de fincas del trópico húmedo de Costa Rica. . Tesis de licenciatura. Universidad HEARTH. Guácimo Costa Rica
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World J Microbiol Biotechnol, 28, 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-0110979-9>
- Bhupenchandra, Ingudam; Devi, Soibam-Helena; Basumatary, Anjali; Dutta, Samiron; Singh, Laishram-Kanta; Kalita, Prakash; Bora, S; Roma, Devi; Saikia, Amarjit; Sharma, Priyanka; Bhagowati, Seema; Tamuli, Babita; Dutta, Namita; Borah, Kripal. Biostimulants: Potential and Prospects in Agriculture International Research. Journal of Pure and Applied Chemistry, v. 21, 2020, p. 20-35.
- BIOAGROTECSA. (2020). Humus de lombriz - Lombricultura en Ecuador. Obtenido de Grupo - Clínica Agrícola: <https://www.bioagrotecsa.com.ec/lombricultura/humus-de-lombriz.html>
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. Agronomy, 9(6), 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Bulgari, R., D'Agostino, A., & Ferrante, A. (2015). Bio-stimulants in agriculture. Agronomy for Sustainable Development, 35(3), 1-12.
- Cáceres, J. (2018). Producción de Bioinsumos Agroecológicos para Mejorar la Producción en Comunidades de la parroquia San Salvador de Cañaribamba.

Santa Isabel, Azuay, Ecuador.: Unión de Organizaciones Comunitarias y Sociales de Santa Isabel. (UNOCSSI).

Calvo, A. (2019). Bioestimulantes: ¿Los nuevos abonos?. Qué son los bioestimulantes. Obtenido de

<https://www.agroptima.com/es/blog/bioestimulantes-nuevosabonos/>

Calero-Hurtado, A., Pérez, Y., Peña, K., Quintero, E., & Olivo, D. (2019). Efecto de tres bioestimulantes en el comportamiento morfológico y producción del cultivo de rábano (*Raphanus Sativus* L.). Revista Facultad Agronomía, 36(1), 54-73.

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

Carrera, J. (2015). Respuesta agronómico del cultivo de rábano(*Raphanus sativus*) a la aplicación de abonos orgánicos. Universidad Técnica de Cotopaxi. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/287338797.pdf>

Casillas, V., Londoño, I., Guerrero, A., & Buitrago, G. (1986). Análisis cuantitativo de la aplicación de cuatro bioestimulantes en el cultivo del rabano (*Raphanus sativus* L.). Acta Agronómica, 36, 185-195.

Cassman, K. G., Dobermann, A., Walters, D. T., & Yang, H. (2003). Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. Annual Review of Environment and Resources, 28, 315–358. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.040202.122858>

Cereso, J. (2017). Fisiología Vegetal . Cartagena: ETSIA.

Certis Europe España. (2021). ¿Qué es un Bioestimulante? ¿Cómo puede mejorar la calidad de tu cosecha?. ¿Qué es un Bioestimulante? Obtenido de <https://www.certiseurope.es/noticias/detalle/news/que-es-un-bioestimulantecomo-puede-mejorar-la-calidad-de-tu-cosecha>

- Chen, J. (2020). Grados de variación de turba. Obtenido de PRO-MIX® es una marca registrada de Premier Horticulture Ltd.: <https://www.pthorticulture.com/media/3801/grados-de-variacion-de-turbaes.pdf>
- Díaz, M. (2021). ¿Los bioestimulantes son similares a los productos biológicos? ¿que esperamos de su aplicación? Obtenido de Simposio Fertilidad 2021. Ciencia, 78 Evidencia, Certezas. : <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/06/07.-DIAZ-ZORITA.-Presentacio%CC%81n.-BioEstimulantes-1.pdf>
- Díaz, A., Suárez, C., Díaz, D., López, Y., Morera, Y., & López, J. (2016). Influencia del bioestimulante FitoMas-E sobre la producción de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L.). Centro Agrícola, 43(4), 29–35. <https://biblat.unam.mx/hevila/Centroagricola/2016/vol43/no4/4.pdf>
- DISAGRO. (2022). Bioestimulantes. Obtenido de DISAGRO: <https://www.disagro.com/categoria/bioestimulantes#:~:text=Los%20bioestimulantes%20son%20sustancias%20o,y%20protecci%C3%B3n%20de%20los%20cultivos.>
- Drobek, M., Frąc, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress—A review. Agronomy, 9(6), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- Du Jardin, P. (2019). ¿Cómo actúan los bioestimulantes para plantas? Obtenido de Phytoma 2008 - 2018. La revista profesional de sanidad vegetal.: <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/313-noviembre2019/como-actuan-los-bioestimulantes-para-plantas>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae, 196, 3-14; <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Ecuaquimica. (2005). Ecuaquimica S.A. Obtenido de www.ecuaquimica.com.ec

- Falkowski, Paul G.; Fenchel, Tom; Delong, Edward F. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. En: science, 2008, vol. 320, no 5879, p. 1034-1039. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1153213>.
- FERTILAB. (2020). El humus de lombriz. Obtenido de <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El-Humus-de-Lombriz.pdf>
- Flores, C. (2012). Efectos de bioestimulantes para sistemas orgánicos y sustentables en limón 'Tahiti' (Citrus latifolia Tanaka). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.11801/1231>
- Gavelienė, V., Šocik, B., Jankovska-Bortkevič, E., y Jurkonienė, S. (2021). Plant microbial biostimulants as a promising tool to enhance the productivity and quality of carrot root crops. Microorganisms, 9(9), 1850. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091850>
- Gómez, F., Trejo, L., Castañeda, O., Ramírez, J., & Lavín, J. (2011). Los Bioestimulantes: Una potente alternativa para mejorar la producción de caña de azúcar. ATAM, 1-12.
- Haque, M., Rafii, M., Yusoff, M., Ali, N., Yusuff, O., Datta, D., . . . IKBAL, M. (2021). Advanced Breeding Strategies and Future perspectives of Salinity Tolerance in Rice. Agronomy, 11, 1631.
- Hellequin, Eve; Monard, Cécile; Chorin, Marion; Le Bris, Nathalie; Daburon, Virginie; Klarzynski, Olivier; Binet, Françoise. Responses of active soil microorganisms facing to a soil biostimulant input compared to plant legacy effects. En: Scientific Reports, 2020, vol. 10, no 1, p. 1-15. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-70695-7>
- Husqvarna. (2022). Turba: uno de los materiales mas usados para cultivar plantas. Obtenido de <https://tiendahusqvarna.com/blog/turba/#:~:text=Turba%2C%20una%20de%20las%20palabras,es%20muy%20rico%20en%20carb%C3%B3n.>

- Instituto Nacional de Ciencias Agrícola INCA. (2009). Ecomic. Obtenido de Instituto Nacional de Ciencias Agrícola INCA. Editorial Pueblo y Educación: <https://www.ecured.cu/Ecomic>
- Kaur, H., & Garg, H. (2014). Pesticides: Environmental Impacts and Management Strategies, en Pesticides-Toxic Effects. Ed. Intech. 187-230 pp.
- Khan, W., Prithiviraj, B., & Smith, D. L. (2018). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(1), 1-12.
- Kumar, T., Devi, R. A., y Kumar, A. (2024) Comparative studies on the effect of various biofertilizers on the growth, yield, and quality of carrot (*Daucus carota* L.). *Ecology, Environment and Conservation*, 30, S169-S173. <http://doi.org/10.53550/EEC.2024.v30i01s.032>
- Lassevich, D., Trasante, T., García, S., Platero, R., y Bajsá, N. (2020). Caracterización y evaluación agronómica de tres biopreparados: bokashi, supermagro y microorganismos eficientes nativos. *Cadernos de Agroecología*, 15(2). <https://cadernos.agroecologia.org.br/cadernos/article/view/4108>
- López, G., & García, C. (2020). Evaluación de tres fertilizantes orgánicos en el crecimiento y rendimiento del cultivo de Rábano (*Raphanus sativus* L.) en el Centro Experimental Las Mercedes UNA, 2020. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Marciel, S. (2018). Bioestimulantes: una perspectiva global y desafíos para América Latina. I. Obtenido de <http://grupomontevideo.org/ndca/caagroalimentario/wpcontent/uploads/2018/11/Marciel-Stadnik-UFSC-Bioestimulantes-una-perspectiva-16global-y-desafios-para-america>
- Martínez, R. E., López, G. M.; Ormeño, O. E., & Moles, A. C. (Eds.). (2013). Manual teórico práctico. Los biofertilizantes y su uso en la agricultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación,

Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, A. C., & Universidad Nacional Autónoma de México. <https://studylib.es/doc/6148735/manual.-los-biofertilizantes-y-su-uso>

Melendez, G., & Molina, E. (2002). Fertilización foliar: principios y aplicación. Retrieved from http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Memoria_CursoFertilizacionFoliar.pdf#page=110

Miller, C. (2008). Citoquinina. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj_0aiK3Kr8AhU2RjABHUm5BsYQFnoECA4QAQ&url=https://www.millerchemical.com/Fes/productos/bioestimulantes-yotros/cytokin&usg=AOvVaw1sI5oyTH4HAfzNqnn8GIhN

Miceli, J. (2020). Super sustrato. Todo sobre la Turba. Obtenido de Viva la Tierra: <https://vivalatierra.com.ar/turba/>

Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador. (2020). Manual de aprovechamiento de residuos organicos municipales. Quito - Ecuador: Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador.

Montenegro, J. (2020). Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno en la emisión de óxido nitroso en plantaciones de café en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 111–130. <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.6>

Nardi, Serenella; Schiavon, Michela; Francioso, Ornella. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, v. 26, n. 8, 2021, p. 2256. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>

Nguyen, H., Lin, K., Ho, S., Chiang, C. M., & Yang, C. M. (2018). Enhancing the abiotic stress tolerance of plants: from chemical treatment to biotechnological approaches. *Physiologia plantarum*, 164(4), 452–466.

- Pentón, G., Reynaldo, I., Martín, G., Rivera, R., & Oropesa, K. (2011). Uso del EcoMic® y el producto bioactivo Pectimorf® en el establecimiento de dos especies forrajeras. *Pastos y Forrajes*, Vol. 34, No. 3, julio-septiembre, 281-294, 2011, 1-15.
- Pineda, J. (2020). Humus Fertilizante o Abono Orgánico con el Mayor Valor Nutritivo para la Tierra. Obtenido de <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/humus/>
- Programa Nacional Reciclo Orgánicos de Chile. (2019). Guía de compostaje domiciliario. Cómo combatir el cambio climático a través del reciclaje de orgánicos. Santiago de Chile: Ministerio de Medio Ambiente de Chile. Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá.
- Ramírez, R., & Pérez, M. (2006). Tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rabano rojo (*Raphanus sativus* L.). Scielo. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v59n2/a10v59n2.pdf>
- Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B., & Sukalac, K. (2019). General Principles to Justify Plant Biostimulant Claims. *Frontiers in plant science*, 10, 494.
- Rivas, M., & Silva, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborada con residuos de jardinería pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Revista Ciencia UNEMI* Vol. 13, Nº 32, Enero-Abril 2020, pp. 87 - 100, 1-14.
- Rodríguez-Fernández, P. (2012). Efecto de los bioestimulantes foliares en el cultivo del pepino (*Cucumis Sativus*, L.) SARIG-454 en casas de cultivo protegido. . *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación Y Saberes*, 1(2), 44-52.
- Rodríguez, E., & García, M. (2022). Efecto de tres fertilizantes orgánicos y uno sintético sobre el crecimiento y rendimiento del rábano (*Raphanus sativus* L.), Finca Santa Cruz, Muelle de los Bueyes, RACCS, Nicaragua, 2021. Tesis, Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, Nicaragua.

- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.
- Rouphael, Youssef; Colla, Giuseppe. Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, v. 10, n. 10, 2020a, p. 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
- Terry, E., Ruíz, J., Tejada, T., & Escobar, I. (2014). Efectividad agrobiológica del producto bioactivo Pectimorf en el cultivo del rábano (*Raphanus sativus* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(2), 105-111. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n2/ctr14214.pdf>
- Tobar, G., Veronica, G., Rodriguez, A., & Soto, A. (2018). Extracción biotecnológica de quitina del desecho de camarón para la producción de quitosano como bioestimulante en semillas de melón. Retrieved from <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/103822>
- Salamanca-Jimenez, Alveiro; Salazar-Gutiérrez, Luis Fernando; Sadeghian-Khalajabadi, Siavosh. Respuesta del café a la fertilización con zinc en suelos de la zona cafetera colombiana. En: *Entramado*, 2021. vol. 17, no. 2, p. 268–279. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032021000200268
- Salinas, C., León, M., Pérez, M., & Yagello, J. (2020). Manual de Compostaje para zonas frías. Punta Arenas, CHILE: Universidad de Magallanes y Ministerio de Medio Ambiente.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Valverde, Y., Moreno, J., Quijije, K., Castro, A., Merchán, W., & Gabriel, J. (2020). Los bioestimulantes: Una innovación en la agricultura para el cultivo del café

(Coffea arábica L.). Journal of the Selva Andina Research Society, 11(1), 18–28. www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v11n1/v11n1_a03.pdf

- Venegas-Jaque, P., y Mestre, M. C. (2021). Hacia una fertilización sustentable. Los microorganismos del suelo son esenciales en los ecosistemas naturales. Entonces vale preguntarse, ¿cómo aprovecharlos en la agricultura para abrir camino hacia producciones afines con el entorno socioambiental?. Desde La Patagonia. Difundiendo Saberes, 18(32), 2-9. <https://revela.uncoma.edu.ar/index.php/desdelapatagonia/article/view/3640>
- Yakhin, O. I., Yakhin, I. A., & Gorshkov, V. (2017). Biostimulants: A new approach to sustainable agriculture. Agricultural Sciences, 8(1), 1-12.
- Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z., & Pinton, R. (2019). Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. Frontiers in Plant Science, 10, 675. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00675>
- Zhang, Y., Zhang, J., & Wang, Y. (2017). The role of bio-stimulants in sustainable agriculture. Sustainability, 9(10), 1-15.
- Zuaznabar- Zuaznabar, R., Pantaleón, G. P., Milanés, N., Gómez, J. I., & Herrera, S. A. (2013). Evaluación del bioestimulante del crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar FitoMás-E en el estado de Veracruz. México. ICIDCA, 47(2), 8–12. https://issuu.com/revistaacidca/docs/revista_icidca_vol_47_no_2_2013

ANEXOS

Anexo 1. Híbrido de maíz evaluado durante el experimento.



Anexo 2. Proceso de producción de bioestimulante agroecológico elaborado a base de quitosano.



Anexo 3. Instalación de sistema de riego del proceso de producción de bioestimulante.



Anexo 4. Actividades de limpieza del área de producción.



Anexo 5. Recolección de materiales para la producción de humus de lombriz en campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.



Anexo 6. Recolección y secado de cáscaras de camarón para su evaluación en laboratorio.



Anexo 7. Proceso de obtención de quitosano en laboratorio de Instituto Tecnológico Superior de Guasave.

