

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUASAVE



TESIS

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

EVALUACIÓN DE DISTINTAS DOSIS DE BIOFERTILIZANTE A BASE DE LOMBRICOMPOSTA CONTRA FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN CULTIVO DE MAÍZ

PRESENTA:
EDDY ZABDIEL CASTRO PEREA

DIRECTOR:
DR. ADALID GRACIANO OBESO

GUASAVE, SINALOA; DICIEMBRE DE 2024.

	LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL PLAN 2015	Responsable: Jefatura de División de Ciencias
	Referencia a la Norma: ISO 9001:2015 8.1;8.2;8.2.2;8.2.3;8.5;8.5.2;8.6;8.7.2	Código: ITSG-SIG-AO-PO-19-03
	Referencia a la Norma: ISO 21001:2018 8.1;8.1.1;8.1.2;8.2.1;8.2.2;8.2.3;8.3.3;8.3.4;8.6;8.7;9.1.2	Revisión: 4
		Fecha de Emisión: Agosto 2022
		Página 1 de 1

Guasave, Sinaloa, Fecha: 13 de diciembre de 2024
ASUNTO: Liberación de proyecto para titulación integral

ING. LAURA BEATRIZ INZUNZA RAMIREZ
Coordinador(a) de Titulación
PRESENTE

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

Nombre del estudiante y/o egresado(a):	Castro Perea Eddy Zabdiel
Carrera:	Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable
Número de control:	1625010099
Nombre del proyecto:	Evaluación de distintas dosis de biofertilizante a base de lombricomposta contra fertilización química en cultivo de maíz
Producto:	Tesis

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

ATENTAMENTE

MC. HÉCTOR RAMIRO MENDIVIL TRUJILLO

Nombre y firma del (de la) Jefe(a) de División de Ciencias Agronómicas


Dr. Adalberto Graclano Obeso


MC. Gregorio Pollorena López


MC. Cruz Enrique Beltrán Burboa

Nombre y firma del Asesor(a) Nombre y firma del Revisor(a) Nombre y firma del Revisor(a)

* solo aplica para el caso de tesis y tesina

C. c. p. Expediente

DEDICATORIA

*A mi madre Adriana Perea, quien me guía para ser una
persona de bien...*

*A mi padre Eddy Castro, quien con su ejemplo me orienta
para luchar por mis sueños...*

*A mi esposa Dania, quien ha estado conmigo en esta
trayectoria académica y me apoya para superarme
académica y personalmente...*

AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por darme salud y la oportunidad de cumplir mi sueño
de ser un profesionalista...*

A mi familia, porque siempre han creído en mí y en mis capacidades para realizar las cosas que me propongo...

Al Instituto Tecnológico Superior de Guasave (ITSG), por abrirme sus puertas y ser orgullosamente “toro” ...

A mi asesor, el Dr. Adalid Graciano Obeso, por apoyarme en cada momento de mi carrera profesional, por enseñarme que se puede ser mejor persona y mejor profesionalista...

A los docentes de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, quienes me formaron como ingeniero, gracias por los conocimientos compartidos con nosotros...

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RELACIÓN DE FIGURAS	vii
RELACIÓN DE TABLAS	viii
RELACIÓN DE ANEXOS	viii
GLOSARIO	1
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	6

JUSTIFICACIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
ANTECEDENTES.....	11
MARCO TEÓRICO	16
Historia del maíz.....	16
Importancia del cultivo del maíz	17
Importancia nacional.....	17
Agricultura sinaloense y el cultivo de maíz	18
Clasificación taxonómica	19
Clasificación racial del maíz	19
Morfología de la planta de maíz	20
Etapas fenológicas del cultivo de maíz	21
Condiciones ecológicas del cultivo.....	22
Condiciones climáticas	22
Condiciones edáficas.....	23
Fertilización	24
Fertilización química	24
Biofertilización	25
OBJETIVOS	27
General.....	27
Específicos	27
HIPÓTESIS.....	28
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	29
ALCANCES Y LIMITACIONES	30
Alcances.....	30
Limitaciones	30

METODOLOGÍA	31
Área de estudio	31
Tipos de investigación	32
Diseño Experimental.....	32
Manejo de tratamientos	33
Determinación de variables agronómicas	33
RESULTADOS.....	35
Altura de planta (m).....	35
Número de hileras por mazorca	36
Rendimiento	36
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES.....	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXOS	45

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación geográfica del municipio de Guasave, Sinaloa, México.....	30
Figura 2.- Ubicación del campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.....	31
Figura 3.- Altura de planta de maíz promedio en distinta fertilización.....	34
Figura 4.- Número de hileras por mazorca promedio en distinta fertilización.....	35
Figura 5.- Rendimiento de maíz promedio en distinta fertilización.....	36

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.-	Tratamientos evaluados en la presente investigación.....	32
Tabla 2.-	Resultados promedio de variables agronómicas analizadas en distintos tratamientos.....	34

RELACIÓN DE ANEXOS

Anexo 1.-	Colecta me muestra para análisis de suelo en campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.....	44
Anexo 2.-	Fertilización base, previa a la siembra de maíz.....	45
Anexo 3.-	Híbridos de maíz utilizados en la presente investigación.....	46
Anexo 4.-	Siembra del cultivo de maíz en diseño experimental establecido..	47
Anexo 5.-	Materiales para producción de biofertilizante a base lombricultura.....	48
Anexo 6.-	Medición de variables agronómicas en campo.....	49
Anexo 7.-	Medición de variables agronómicas en laboratorio.....	50

GLOSARIO

Biofertilizante: Producto que contiene microorganismos vivos que, al ser aplicados al suelo o a las plantas, promueven el crecimiento vegetal al aumentar la disponibilidad de nutrientes. Los biofertilizantes pueden mejorar la salud del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

Ciclo de nutrientes: Proceso natural en el que los nutrientes son reciclados en el ecosistema. Los biofertilizantes orgánicos ayudan a cerrar este ciclo al liberar nutrientes de la materia orgánica en formas que las plantas pueden absorber. Esto no solo mejora la disponibilidad de nutrientes, sino que también reduce la necesidad de fertilizantes químicos.

Cultivo de maíz: Práctica agrícola que involucra el cultivo de maíz (*Zea mays*), un cereal fundamental en la alimentación humana y animal. La producción de maíz puede beneficiarse de prácticas de fertilización adecuadas para maximizar el rendimiento.

Dosis de fertilización: Cantidad específica de fertilizante que se aplica a un cultivo. La dosis adecuada es crucial para asegurar que las plantas reciban los nutrientes necesarios sin causar daño al medio ambiente o a la salud del suelo.

Fertilidad del suelo: Se refiere a la capacidad del suelo para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. La fertilidad puede ser mejorada mediante la aplicación de biofertilizantes orgánicos, que enriquecen el suelo con materia orgánica y microorganismos beneficiosos, favoreciendo un ambiente propicio para el desarrollo de cultivos.

Fertilizantes orgánicos: Son productos naturales que contienen microorganismos vivos, como bacterias y hongos, que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo y promueven el crecimiento de las plantas. A diferencia de los fertilizantes

químicos, los biofertilizantes orgánicos no solo aportan nutrientes, sino que también mejoran la estructura del suelo y fomentan la biodiversidad microbiana.

Fertilización química: Uso de fertilizantes sintéticos que contienen nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Aunque son efectivos para aumentar la producción agrícola, su uso excesivo puede llevar a la degradación del suelo y contaminación ambiental.

Lombricomposta: Es un tipo de abono orgánico producido a partir de la descomposición de materia orgánica por lombrices. Este proceso no solo mejora la calidad del suelo, sino que también proporciona nutrientes esenciales para las plantas, favoreciendo su crecimiento y desarrollo.

Materia orgánica: Compuesto formado por restos de plantas y animales en descomposición, así como por microorganismos. La materia orgánica es fundamental para la salud del suelo, ya que mejora su estructura, retención de agua y capacidad de intercambio de nutrientes. Los biofertilizantes orgánicos suelen estar ricos en materia orgánica, lo que contribuye a la fertilidad del suelo.

Microorganismos beneficiosos: Organismos como bacterias y hongos que contribuyen a la salud del suelo y las plantas. Estos microorganismos pueden ayudar en la descomposición de materia orgánica, la fijación de nitrógeno y la promoción del crecimiento vegetal.

Prácticas de agricultura sostenible: Métodos de cultivo que buscan maximizar la producción agrícola mientras se minimizan los impactos negativos en el medio ambiente. La utilización de biofertilizantes orgánicos es una de estas prácticas, ya que promueve la salud del suelo, reduce la dependencia de insumos químicos y contribuye a la conservación de recursos naturales.

Rendimiento agrícola: Medida de la cantidad de producto obtenido por unidad de

superficie cultivada. En el contexto del maíz, se refiere a la cantidad de grano producido por hectárea, y puede verse influenciado por la calidad de la fertilización.

Sostenibilidad agrícola: Enfoque que busca mantener la productividad agrícola a largo plazo sin comprometer la salud del medio ambiente. La utilización de biofertilizantes y prácticas orgánicas es parte de este enfoque. Este concepto implica la integración de prácticas que son ambientalmente responsables, socialmente equitativas y económicamente viables.

RESUMEN

En México, el maíz es de los cultivos principales debido a su importancia en la base de la alimentación, dentro de los 10 principales estados productores de maíz en México para el 2020 se encontraba Sinaloa, Jalisco, Michoacán, México, Guanajuato, Guerrero, Veracruz, Chiapas, Chihuahua y Puebla. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de fertilización química, orgánica a base de lombricomposta y mixta (químico con orgánico) sobre el rendimiento de cultivo de maíz en Guasave, Sinaloa. Para lograrlo, se estableció un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, como variable de respuesta fue el efecto de la fertilización sobre variables agronómicas del cultivo de maíz en cada uno de los tratamientos del experimento, los cuales se establecieron con base a la alternativa de fertilización; orgánica, química y mixta. De los resultados, se tiene que tratamiento donde se aplicó fertilización mixta (50% orgánica y 50% química) fue donde se obtuvo un rendimiento mayor, con 13.11 toneladas de maíz por hectárea, además fue el tratamiento donde se tuvo una mayor altura de planta y un mayor valor en la variable de peso de 1,000 semillas, con valores de 3.10 m y 350.21 gr, respectivamente. Debido a lo anterior, la fertilización mixta es viable al tener un efecto positivo en el comportamiento de variables agronómicas del cultivo de maíz en Guasave, Sinaloa.

Palabras claves: fertilización orgánica, lombricultura, maíz, rendimiento.

ABSTRACT

In Mexico, corn is one of the main crops due to its importance in the basis of food, among the 10 main corn producing states in Mexico for 2020 were Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Mexico, Guanajuato, Guerrero, Veracruz, Chiapas, Chihuahua and Puebla. The objective of the present investigation was to evaluate the effect of chemical, organic fertilization based on vermicompost and mixed (chemical with organic) on the yield of corn crop in Guasave, Sinaloa. To achieve this, a completely randomized design (DCA) with three replications was established, as a response variable was the effect of fertilization on agronomic variables of the corn crop in each of the treatments of the experiment, which were established based on the fertilization alternative; organic, chemical and mixed. From the results, it is clear that the treatment where mixed fertilization (50% organic and 50% chemical) was where the highest yield was obtained, with 13.11 tons of corn per hectare. It was also the treatment where the highest plant height and the highest value in the variable of weight of 1,000 seeds were obtained, with values of 3.10 m and 350.21 gr, respectively. Due to the above, mixed fertilization is viable as it has a positive effect on the behavior of agronomic variables of corn cultivation in Guasave, Sinaloa.

Keywords: organic fertilization, vermiculture, corn, yield.

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz es de gran importancia a nivel mundial, Estado Unidos y China son los principales productores de grano (Velázquez, 2018). En México, el maíz de los cultivos principales debido a su importancia en la base de la alimentación (297 kg, consumo per cápita) (Aguilar et al., 2016). En el ciclo primavera-verano de 2023, en México se sembraron más de 5,7 millones de hectáreas de maíz en grano. Por otro lado, México es un país de América situado en la parte más meridional de América del Norte, presenta un territorio semidesértico, con clima árido en la parte norte del país mientras que la parte sur y el suroeste tiene climas fríos y templados, hacia el sur-sureste se encuentran selvas tropicales, los principales cultivos de México que se pueden encontrar son el maíz, la caña de azúcar, el aguacate, chile verde, tomate, sorgo y frijoles (Ramírez, 2018). Sin embargo, el maíz ha tenido una gran importancia dentro del territorio nacional debidos a su consumo y a la gran extensión de tierras dedicadas a su cultivo, debido a esta situación cuenta con el primer lugar de superficie cultivable, mas sin embargo, a pesar de su importancia la producción nacional no es suficiente para satisfacer las necesidades de su consumo, trayendo como consecuencia su importancia, esto se debe a la falta de autosuficiencia de esta grano básico, se encuentre la baja producción por unidad de suficiencia que se ha manifestado en los diferentes estados de productores (Santiago, 2015).

Dentro de los 10 principales estados productores de maíz en México para el 2020 se encuentran Sinaloa, Jalisco, Michoacán, México, Guanajuato, Guerrero, Veracruz, Chiapas, Chihuahua y Puebla (SIAP, 2024). Guasave es uno de los 18 municipios del Estado de Sinaloa, localizado en el Noroeste de México, y por sus características propias, en cuanto al volumen de producción agrícola, es considerado el granero o el corazón agrícola de México. De acuerdo con el Gobierno de Guasave (CIEGSIN, 2019) el desarrollo y avance del municipio se refleja principalmente en el sector primario ocupando una superficie agrícola de 181,542 ha, mismas que son de riego. Según el Consejo para el Desarrollo Económico de

Sinaloa, su capacidad de almacenamiento de granos, cereales y oleaginosas supera las 758 mil toneladas ubicando al municipio de Guasave en el tercer lugar a nivel estatal (CODESIN, 2020).

La actividad agrícola en el municipio de Guasave es una de las más importantes desde el punto de vista económico, pero también una de las más vulnerables, las prácticas actuales no tienen la suficiente capacidad de adaptación para enfrentar impactos relacionados con el medio ambiente (Ahumada et al., 2018). La Organización de las Naciones Unidas señala el compromiso de aplicar estrategias y acciones como las emanadas de la agenda 2030 y sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde se abordan aspectos sobre salud, medio ambiente, producción y consumo responsable, entre otros, todos relacionados con la actividad agrícola (ONU, 2000).

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe en el sector rural es donde mejor se pueden desarrollar los sistemas de producción alineados a la sustentabilidad, situación que puede también orientar acciones y estrategias para erradicar problemas del entorno natural ambiental. De igual forma, para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) los sistemas de producción que han prevalecido en los campos agrícolas no han sido los más adecuados, el uso indiscriminado de productos químicos ha repercutido negativamente en el medio ambiente (FAO, 2019).

Las directrices de los acuerdos internacionales hacen necesario desarrollar una actividad agrícola que conjugue la protección del medio ambiente, la equidad social y la viabilidad económica, en suma, una agricultura sustentable (ODEPA, 2016). Por otro lado, el auge actual del uso de productos agroquímicos se debe a la necesidad de rentabilidad y rendimientos, Sinaloa es el Estado que más los usa con un 80% del consumo total del país (Leyva et al., 2014). La agricultura representa el principal sustento de la sociedad, no solo por la producción de alimentos, sino por la relación tan estrecha que tiene con el medio ambiente durante el ciclo productivo, lo cual

puede haber efectos positivos y negativos sobre la naturaleza (FAO, 2024). En el municipio de Guasave el medio ambiente es fuertemente lastimado por el impacto de las actividades del sector agrícola, sin embargo, la mayor incertidumbre del productor y del gobierno son los rendimientos en las cosechas. Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo evaluar distintas dosis de biofertilizantes a base de lombricomposta contra fertilización química en cultivo de maíz, que demuestre a los productores la viabilidad de cambiar sus prácticas actuales.

JUSTIFICACIÓN

La producción de maíz presenta diversos problemas que limitan su producción y el equilibrio de su ecosistema, entre ellas; el control de plagas y enfermedades, la fertilización química, mal uso del agua, la falta de información del productor de maíz para el manejo agronómico y el impacto negativo al medio ambiente (Álvarez, 2019). El maíz es altamente exigente de nutrientes y es atacada por plagas insectiles por lo cual se utilizan de manera excesiva pesticidas y fertilización química lo que provoca aumento en los costos de producción y daño en los suelos agrícolas (Fernandez et al., 2023).

Para los agricultores en Sinaloa el uso de fertilizantes químicos es esencial para alcanzar los mayores rendimientos en el cultivo de maíz, no obstante, las formas de producción tradicionales, es decir, con exceso de fertilizantes sintéticos, han originado como consecuencia la contaminación de suelos y aguas, el decremento de la biodiversidad y el incremento de los costos de producción. Por lo cual, es indispensable implementar alternativas como los biofertilizantes que permitan mejorar la productividad de los cultivos, disminuir el uso de fertilizantes químicos, reducir el riesgo ambiente y aumentar las ganancias en el cultivo (Ayvar et al., 2020)

Ante tal situación es necesario la evaluación los rendimientos del sistema agrícola tradicional de fertilización química contra distintas dosis de biofertilizantes que aporten al productor datos que le permitan tomar decisiones ya que este estudio a través del análisis de la planta con todos sus indicadores identificará la mejor fórmula que permita obtener altos rendimientos para mejorar el sistema productivo convirtiéndola en ambientalmente sustentable.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los fertilizantes químicos benefician en gran medida al rendimiento de la productividad, incrementando su capacidad de cosecha, sin embargo, esto aumenta considerablemente el costo quienes año con año ven mermadas sus utilidades al hacer mayor inversión con un precio controlado (Ayala, 2022). Los productos a base de químicos afectan el suelo agrícola, lo vuelve inerte, altera el pH y demás (Garaicoa, 2019).

Una ventaja de los abonos orgánicos es que potencian las disposiciones del suelo que anteriormente fueron deteriorados a causa de la utilización de maquinarias y uso continuo de artículos químicos (Bermúdez & Ramos, 2021) . La aplicación de biofertilizantes no solo nutre al cultivo, sino que también al suelo, mejorando la textura y estructura del mismo, razón por la cual los abonos orgánicos son una opción para mantener el suelo en óptimas condiciones y mejorar los rendimientos en la producción del cultivo (Sánchez, 2018).

Cuando se encuentra en su período de crecimiento, las plantas de maíz necesitan de cuidado, el empleo inapropiado de nutrientes impide el crecimiento e incrementa la vulnerabilidad a diversas afecciones. Los fertilizantes convencionales son una solución rápida y eficaz, pero a largo plazo afectan el ecosistema, acidifican el suelo por lo que la mayoría de estos posee abundantes sales minerales que destruyen los microorganismos benéficos (Villalta, 2016). La investigación realizada atiende al siguiente cuestionamiento: ¿mejorará el rendimiento del cultivo de maíz la biofertilización?

ANTECEDENTES

Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México

Caracterizar el efecto de un biofertilizante a base de lixiviado de vermicomposta (VCL) en cultivos de relevancia en México, formulado en combinación con: i) fertilizante químico (NPK), ii) una mezcla de dos productos comerciales con microorganismos promotores del crecimiento de las plantas y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y iii) melaza. Cuatro tratamientos fueron evaluados: T1 (VCL, microorganismos, sin melaza y sin NPK), T2 (VCL, microorganismos, sin melaza y con NPK), T3 (únicamente con NPK) y T4 (VCL, microorganismos, melaza y sin NPK), distribuidos en 128 macetas sembradas con ocho especies de cultivos (tomate, chile, sorgo, frijol, chícharo, maíz, calabaza y sandía) (4 réplicas por cultivo) bajo condiciones de invernadero. Después de 6 semanas, se midió la altura de la planta y número de hojas. La significancia estadística se determinó mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey. Resultados: Los tratamientos T1 y T2 presentaron los mejores efectos en la mayoría de las plantas. La sandía mostró una mejor respuesta a T3 y en maíz no se observaron efectos significativos. T4 tuvo una influencia negativa en el desarrollo de todos los cultivos, atribuido a la incorporación de melaza. El estudio se llevó a cabo en un corto período de tiempo y no fue posible evaluar la producción de fruto. El VCL combinado con bacterias promotoras de crecimiento y HMA tiene efectos positivos en el crecimiento de tomate, chile, sorgo, chícharo y calabaza; pudiendo reducir la fertilización química en un 35% sin disminuir el rendimiento (Senés-Guerrero et al., 2019).

Evaluación de fertilizantes sintético y orgánica del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad NB-6 bajo riego por microaspersión en la finca El Plantel, 2017-2018

La investigación se estableció entre los meses de diciembre 2017 a marzo 2018 en

la finca El Plantel, propiedad de la Universidad Nacional Agraria ubicada en el kilómetro 30 de la carretera Tipitapa-Masaya, con el objetivo de Evaluar dosis de fertilizantes sintético y orgánica en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad NB-6 bajo riego por microaspersión en la finca El Plantel 2017-2018. El experimento se estableció en un Diseño de Bloques al Azar, unifactorial con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, el área del bloque fue de 132 m², estuvo conformado por cuatro parcelas útiles de 33 m² y de cuatro surcos centrales. Los tratamientos fueron: T1 (Compost), T2 (Lombriz Humus), T3 (Urea 46 %), T4 (completo formula 18-46-00 + Urea 46 %), los datos fueron analizados mediante el Análisis de Varianza (ANDEVA) y separación de medias por TUKEY ($\alpha < 0.05$). Se encontró diferencias significativas en los tratamientos T2 para la variable altura de la planta con una media de 1.50 m y número de hojas 6.49 por plantas. En el tratamiento T3 las variables de rendimiento mostraron diferencias significativas en el diámetro de la mazorca 48.47 mm y rendimiento kg ha⁻¹ con los promedios más altos 3 243.63 kg ha⁻¹, seguido por el tratamiento T4 con 3030.91 kg ha⁻¹. El análisis económico demuestra que el tratamiento sintético T3 un mayor beneficio neto de C\$ 23 019.24, seguido del tratamiento orgánico T2 con beneficio neto de C\$ 19 303.3. El coeficiente de cultivo “kc” oscila entre 0.35 a 1.18 y el coeficiente de rendimiento “Ky” con menor promedio fue T3 con 2.81 es el que tiene las menores perdidas de rendimiento y mejor aprovechamiento de los recursos (Valle y Velázquez, 2019).

Efecto de niveles de lixiviado de humus de lombriz con diferentes densidades de siembra en forraje verde hidropónico de maíz Cubano

La investigación se realizó en el municipio de Laja, donde se fijaron los siguientes objetivos: a) determinar el rendimiento de materia verde y seca y b) evaluar el mejor nivel de lixiviado de lombriz con diferentes densidades de siembra de maíz. Se puso el lixiviado en un recipiente con agua por 72 horas, se usó 1 kg en 2 L de agua, donde se preparó el té al 20, 40, 60 y 0 % (Testigo). Se utilizó el DBCA con arreglo bifactorial para evaluar cuatro niveles del té con tres densidades de siembra en la producción del FVH de maíz. Según los resultados y conclusiones, para altura de

planta, con una densidad de siembra de 4 kg/m² se obtuvo una altura promedio de 21.29 cm, con una densidad de 3 kg/m², la altura registró 19.68 cm, asimismo el nivel de lixiviado de lombriz (60 %) anotó una mayor la altura de planta. En relación a longitud de raíz, con densidad de siembra de 3.5 kg/m² presentó una longitud promedio 8.74 cm y la densidad 3 kg/m² un promedio de 7.76 cm. Los promedios de rendimiento de FVH de maíz para los cuatro niveles de lixiviado en los tratamientos con 40 y 20 % anotan mayor rendimiento de materia verde con un promedio de 22.56 y 22.38 kg/m² respectivamente; el menor rendimiento fue de 60 % con 20.76 kg/m². Los promedios de rendimientos de materia seca para densidad de siembra, mostraron que los tratamientos con densidades de siembra de 4 y 3.5 kg/m² son significativamente superiores a los obtenidos por los tratamientos con densidad de 3 kg/m² (Testigo) (Gutiérrez y Cursi, 2024).

Evaluación del rendimiento en la producción de maíz mediante la aplicación de tres bioestimulantes en el cantón joya de los sachas

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es uno de los más significativo en el Ecuador, pues es empleado para la alimentación a animales y seres humanos, sin embargo, producirlo es costoso, una alternativa más eficiente y amigable con el medioambiente son los bioestimulantes. El objetivo general es diagnosticar los efectos de los bioestimulantes en el cultivo de maíz en el cantón La Joya de los Sachas. La metodología contempla un estudio experimental, para lo cual, se establecieron tres tratamientos con bioestimulantes, Eveergren con dosis de 0.5l, Vital Humus y Sweet Extract con dosis de 1l y el tratamiento testigo que consiste en el cultivo en condiciones naturales. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar que el uso de los bioestimulantes mejoró en el peso del grano de maíz en un 18.1%, la cantidad de granos en 13.9%, la altura de la planta en 9.1% y el diámetro de la mazorca en 4.4%. En conclusión, el uso de los bioestimulantes mejora el rendimiento para el desarrollo del cultivo de maíz. La recomendación es que los productores del cantón la Joya de los Sachas, gestionar asistencia técnica para primera instancia conocer la disponibilidad de recursos minerales y nutrientes

presentes en el suelo (Barreto y Pinos, 2023).

Evaluación de la fertilización orgánico y sintético en el cultivo de maíz (*Zea mays*, L), (Variedad Nutrinta Amarillo) Centro Experimental Las Mercedes, Managua, 2020

El experimento se realizó en el Centro Experimental y Validación de Tecnología (CEVAT) Las Mercedes propiedad de la Universidad Nacional Agraria, ubicada en el km. 10½ carretera norte, Managua, entrada al Nuevo Carnic 1000 m. al norte, durante la época postrera del 2020. El objetivo del experimento fue evaluar el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz variedad Nutrinta amarillo utilizando dos tipos de fertilizantes y la combinación de ambos, el primero sintético (Fertimaíz + Urea 46%), el segundo fue combinación de sintético y orgánico (Fertimaíz + Urea 46% + Bocashi), tercero fue orgánico (Bocashi). Se instauró un arreglo unifactorial de bloques completos al azar (BCA), con tres tratamientos y cuatro repeticiones, los datos fueron analizados con el programa estadístico INFOSTAT aplicando análisis de varianza y prueba de media Tukey al 5% de error. El área total del ensayo fue de 437m². La única variable que mostró diferencia estadística significativa fue altura de la planta siendo el tratamiento sintético el de mayor valor (186.3 cm), mientras que para las variables número de hojas (12.00), diámetro de tallo (2.54 cm), área foliar (627.66 cm²), longitud de panoja (48.85 cm), hileras por mazorca (14.50), granos por hilera (32.25), peso mil semillas (0.29kg) y rendimiento (3 027 kg ha⁻¹) no se observó diferencia significativa. El presupuesto parcial mostró que el tratamiento más rentable fue el sintético y en la tasa de retorno marginal indicó que por cada córdoba invertido el productor ganó 1.54 C\$ con el tratamiento sintético (Romero y Ruíz, 2021).

Evaluación del desarrollo inicial del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con la aplicación de fertilización química y orgánica

El presente trabajo de investigación fue realizado en el cantón San Pedro de Pelileo,

parroquia Salasaca. Con el objetivo de evaluar el desarrollo inicial del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con la aplicación de fertilización química y orgánica, para determinar la eficiencia de cada uno de los fertilizantes con sus respectivas dosis. En donde las variedades de estudio fueron: porcentaje de germinación, altura de la planta, número de hojas presentes en la planta, longitud radicular y diámetro del tallo. Se utilizó el diseño experimental de parcelas divididas siendo la parcela principal los fertilizantes y las sub-parcelas los niveles del fertilizante, estructuradas en bloques completos al azar con tres repeticiones, con análisis jerárquico o anidado. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ADEVA y la prueba de Tuckey al 5% arrojando los siguientes resultados: para la variable número de plantas germinadas a los 10 días no se presentó una significancia estadística. Para la altura de la planta a los 60 días el mejor tratamiento fue F1N2 (Fertilizante químico 400 kg/ha) con 64,52 cm y F2N1 (fertilizante orgánico 10 t/ha) con 55,44 cm siendo el de menor altura. En el número de hojas presentes en la planta a los 60 días se presentó una significancia estadística en el grupo 1 (Fertilizante químico) en donde F1N2 (Fertilizante químico 400 kg/ha) presenta una media de 7,57 hojas fue el mejor, mientras que F1N1 (Fertilizante químico 300 kg/ha) mostró un promedio de 6,70 hojas fue el de menor valor. En cuanto a longitud radicular a los 60 días el mejor tratamiento fue F1N2 (Fertilizante químico 400 kg/ha) con una media de 20,03 cm, mientras que F2N1 (Fertilizante orgánico 10 t/ha) con una media de 17,00 cm presenta el menor valor. Finalmente, en el diámetro de tallo a los 60 días F2N2 (Fertilizante orgánico 20 t/ha) se obtiene una media de 18,63 mm siendo el mejor valor y F2N1 (Fertilizante orgánico 10 t/ha) con una media de 16,34 mm muestra el valor más bajo (Pilla Guaman, 2024).

MARCO TEÓRICO

Historia del maíz

El maíz (*Zea mays*) es un pasto de la familia botánica Poaceae o Gramineae, al igual que el trigo, el arroz, la cebada, el centeno y la avena. Este cultivo se originó mediante el proceso de domesticación que llevaron a cabo los antiguos habitantes de Mesoamérica hace aproximadamente 10,000 años, muy asociada a la invención y desarrollo independiente de la agricultura en Mesoamérica (Salvador, 2001).

Los antiguos pueblos indígenas consideraban al maíz como una planta sagrada, ya que creían que los dioses habían creado al hombre a partir de esta planta. Con el tiempo, el maíz se convirtió en un alimento básico en la alimentación de muchas culturas prehispánicas, como los mayas, aztecas e incas. Estas culturas desarrollaron técnicas avanzadas de cultivo, como la selección de semillas y la rotación de cultivos, que les permitieron obtener variedades de maíz de diferentes colores, formas y tamaños (Cobos, 2020)

Las civilizaciones mesoamericanas incluso idearon una forma de procesarlo para mejorar su calidad: la nixtamalización. Esta es una palabra náhuatl que indica el proceso que consiste en cocer el maíz con agua y cal o ceniza. El maíz nixtamalizado se muele más fácilmente y tiene mayor valor nutritivo, ya que este proceso aumenta la bio-disponibilidad de la vitamina B3 y reduce las micotoxinas. La nixtamalización se sigue utilizando hoy en día y el CIMMYT está promoviendo esta técnica en África para combatir la deficiencia de nutrientes (CIMMYT, 2023).

En las últimas décadas, con la incorporación de nuevas tecnologías agrícolas, se ha mejorado la producción de maíz. Los agricultores han adoptado prácticas modernas de cultivo, como el uso de semillas mejoradas, fertilizantes y pesticidas, lo que ha permitido aumentar la producción y mejorar la calidad del maíz.

Importancia del cultivo del maíz

El cultivo del maíz, así como la elaboración de sus muy diversos productos alimenticios están indisolublemente ligados con el surgimiento y evolución de las civilizaciones mesoamericanas pre-colombinas. Debido a su adaptabilidad y productividad el cultivo del maíz se expandió rápidamente alrededor del mundo después de que los españoles y otros europeos exportaron la planta de las Américas en los siglos XV y XVI.

Hoy día el maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después del trigo, en producción total. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. El maíz tiene usos múltiples y variados. Es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. Las espigas jóvenes del maíz (maíz baby) cosechado antes de la floración de la planta es usado como hortaliza, las mazorcas tiernas de maíz dulce son un manjar refinado que se consume de muchas formas, las mazorcas verdes de maíz común también son usadas en gran escala, asadas o hervidas, o consumidas en el estado de pasta blanda en numerosos países, la planta de maíz proporciona un buen forraje. Este aspecto es importante ya que la presión de la limitación de las tierras aumenta y son necesarios modelos de producción que produzcan más alimentos para una población que crece continuamente (Paliwal, 2018).

Importancia nacional

En México se identifican dos sistemas de producción de maíz, el sistema comercial y el de autoconsumo. El comercial se caracteriza por la producción orientada al mercado, que basa su competitividad en el rendimiento para producir a menor costo. Las entidades en las que predomina este sistema son: Sinaloa, Sonora, Jalisco, Tamaulipas y la región del Bajío (Financiera Rural, 2014).

Por su lado, la producción de autoconsumo se basa en el cultivo en parcelas familiares. Los estados con este sistema son: Chiapas, Guerrero, Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Oaxaca, Veracruz y Yucatán. El volumen de maíz comercializado en el país depende principalmente de la demanda de la industria, que está en función de la capacidad instalada de las unidades económicas que desarrollan la producción para el mercado.

En la industrialización se utilizan dos formas de procesamiento del grano: la molienda seca y la molienda húmeda. En el primer proceso se obtiene la harina de maíz, con diferentes tamaños de partículas y el germen del grano, del cual se extrae el aceite. En la molienda húmeda, se obtiene el almidón, aceite y subproductos para alimento animal (Financiera Rural, 2014).

Agricultura sinaloense y el cultivo de maíz

El estado de Sinaloa, junto con Jalisco y Michoacán, son los estados de mayor contribución al PIB agropecuario nacional; y junto con Michoacán son los estados de mayor contribución al valor de la producción agrícola nacional. Así también, con una contribución del 13% con relación al PIB estatal, define al estado con el de mayor perfil primario a nivel nacional (Trujillo, 2011).

Al cierre del año 2023 en México se obtuvieron alrededor de 22,046,099 toneladas de maíz grano, colocando a Sinaloa como el principal productor con 6.590,097 millones de toneladas y generar el 29.9% de la producción total de maíz, seguido por Jalisco con el 8.9%, Guanajuato con el 7.6% y Michoacán con 7.6%. Sinaloa ha mantenido un crecimiento sostenido de la superficie sembrada con maíz a partir del año 1991, al pasar de 13% en dicho año a 44% actual (CIEGSIN, 2019). El rendimiento del cultivo de maíz también creció al pasar de 4.2 en 1991 a 14.8 ton/ha en el ciclo 2020-2021, mientras que el resto de los cultivos los rendimientos se mantuvieron sin cambios significativos (SADER, 2024).

En general, en el estado se maneja un nivel alto de tecnología de producción, lo cual aunado a los apoyos a la comercialización y disponibilidad de financiamiento, se traduce en un incremento de producción y rendimientos con tendencia al alza. La producción de maíz de Sinaloa, es en su gran mayoría de grano blanco, que se destina en su totalidad al mercado nacional para consumo humano (Trujillo, 2011).

Clasificación taxonómica

El maíz (*Zea mays* L), pertenece a la familia de las gramíneas, subfamilia Panicoideae, y tribu Andropogoneae; la cual incluye siete distintos géneros: *Zea* (como el teocintle), *Tripsacum* (conocidas como arrocillo o maicillo), *Coix*, *Chionachne*, *Sclerchne*, *Polytoca* y *Trilobachne* (Tovar, 2008).

Clasificación racial del maíz

La primera clasificación del maíz, de acuerdo con la variación dentro del grano, la hizo Sturtevant de manera artificial, basado en la textura o estructura del endospermo y consideró siete grupos (Acosta, 2009).

Maíz tunicado: *Zea mays tunicata* St., se considera uno de los tipos más primitivos de los maíces cultivados. Se caracteriza por presentar cada grano envuelto en su propia bráctea. No tiene valor comercial.

Maíz reventón: *Zea mays everta* St. Se caracteriza por presentar granos pequeños con endospermo cristalino, constituido preferentemente por almidón córneo. Es capaz de explotar cuando es sometido al calor. Da lugar a las llamadas palomitas.

Maíz cristalino: *Zea mays indurata* St. Se caracteriza por presentar granos con endospermo vítreo duro, cristalino y translúcido, con almidón en su mayoría córneo.

Maíz amiláceo: *Zea mays amilácea* St. Se caracteriza por presentar granos con endospermo blando, suave amiláceo. En este grupo, el maíz blanco gigante del Cuzco o blanco Imperial es legado del imperio incaico, que causa la admiración por

el gran tamaño de su grano y alto rendimiento.

Maíz dentado: *Zea mays indentata* St. Se caracteriza por presentar granos con endospermo formado con almidón córneo cristalino, tanto en su exterior como interior. Están coronados en la parte superior con almidón blando suave, que a la madurez origina una depresión central superior, debido a una mayor hidratación, dándole al grano la forma característica de diente.

Maíz dulce: *Zea mays saccharata* St. Se caracteriza por presentar maíces dulces y un grano completamente arrugado cuando están maduros. Posee un gen recesivo en el cromosoma 4, el cual impide la conversión de algunos azúcares solubles en almidón.

Maíz ceroso: *Zea mays ceratina* Kul. Se caracteriza por presentar un aspecto ceroso en el endospermo. El maíz normal o corriente, la molécula de almidón está compuesta por 75% de amilopectina y 25% de amilosa. En cambio, el maíz ceroso, el almidón está constituido por 100% de amilopectina, lo que origina un almidón de característica parecido al de yuca.

Morfología de la planta de maíz

Raíz. El maíz es una gramínea anual. Las raíces son fasciculadas y robustas y su función es de aportar alimentos a la planta como también ser un perfecto anclaje de la planta que refuerza con la presencia de las raíces adventicias.

Tallos. Los tallos o cañas lo forman una sucesión de nudos y entrenudos. Los primeros son zonas abultadas a partir de los cuales se produce la elongación de los entrenudos y se diferencian las hojas. Los entrenudos están rellenos de una médula esponjosa. El tallo del maíz es sin ramificaciones y tiene escasa capacidad de ahijamiento, de hecho la aparición de algún hijo es un efecto no deseado que perjudica la capacidad productiva.

Hojas. Las hojas se disponen alternadamente en dos filas a lo largo del tallo. En cada una de ellas pueden distinguirse dos partes: la vaina y la lámina o limbo. El número de hojas depende de la variedad, del ciclo, de la época de siembra, etc. Pero, aunque pueden llegar hasta 30 hojas, lo normal es que haya un máximo de 15 hojas. Al parecer que el número de hojas está relacionada con el potencial de producción.

Inflorescencia: El maíz es una planta monoica, tiene flores masculinas y flores femeninas separadas pero en la misma planta. La flor masculina tiene forma de panícula y está situada en la parte superior de la planta. La flor femenina, que es la futura mazorca, se sitúa a media altura de la planta y está compuesta en realidad por numerosas flores dispuestas en una ramificación lateral, cilíndrica y está envuelta por falsas hojas llamadas brácteas. Los estilos de cada flor sobresalen de las brácteas formando las sedas. Cada flor fecundada formará un grano que estará agrupado en torno a un eje grueso que es el olote. El número de granos y de las filas de la mazorca dependerá de la variedad y del vigor del maíz (Ortas, 2008).

Etapas fenológicas del cultivo de maíz

Germinación y emergencia. Es una serie de procesos que incluyen desde la imbibición o absorción de agua por parte de la semilla, hasta emergencia de la radícula; y por emergencia, a la etapa desde que emerge la radícula hasta la aparición del coleóptilo sobre el suelo (Bewley & Black, 1994) Germinación o Nascencia, cuya duración aproximada es de seis a ocho días.

Crecimiento: en esta fase de crecimiento es cuando más se notan las diferencias varietales, prolongándose este período en los ciclos largos más que en otra etapa de la vida de la planta.

Floración: se considera como floración al momento en que la panoja se encuentra

emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos. La emisión de polen dura de cinco a ocho días.

Fructificación: con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia la fructificación.

Maduración y secado: hacia el final de la octava semana después de la polinización, el grano alcanza su máximo de materia seca, pudiendo entonces considerarse que ha llegado a su madurez fisiológica. Entonces suele tener el 35% de humedad.

Condiciones ecológicas del cultivo

El maíz es un cultivo de crecimiento rápido (3-5 meses), que proporciona un mayor rendimiento con temperaturas moderadas y un suministro adecuado de agua, con excepción en la zona alta donde su crecimiento llega a hasta los 8 meses; su adaptación oscila entre 0 – 2,500 m.s.n.m (Cruz, 2013).

Condiciones climáticas

Temperatura. La temperatura óptima para la germinación está entre 18 y 21°C; por debajo de 13°C se reduce significativamente y de 10°C hacia abajo no se presenta germinación (Cruz, 2013). El maíz requiere una temperatura de entre 24.4 a 35.6°C., siendo una media de 32°C, la temperatura ideal para lograr una óptima producción. La planta de maíz puede soportar una temperatura mínima de 8°C y máximas de 39°C, pero a partir de los 40°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes y una baja polinización (Cruz, 2013). En el período de fructificación la planta requiere temperaturas de 20 a 32°C. El clima ideal para el maíz, es un ambiente con días soleados, noches frescas, temperaturas y vientos moderados.

Luminosidad. Cruz (2013), menciona que el maíz requiere bastante cantidad de

luz solar, bajando su rendimiento en los climas húmedos. La intensidad óptima de luz está entre 32.3 y 86.1 klux (Corral et al., 1999).

Precipitación. La lluvia es necesaria y benéfica ya que existe un control de plagas en forma natural, sobre todo en el período de crecimiento. Una variedad tropical de maíz con un ciclo de cultivo de 120 días, requiere aproximadamente de 600 a 700 mm de agua durante su ciclo vegetativo (Cruz, 2013). De la siembra a la madurez requiere de 500 a 800 mm, dependiendo de la variedad y del clima (Corral et al., 1999).

La fase de floración. Es el período más crítico porque de ella depende el llenado de grano y la cantidad de producción obtenida, por lo que se recomienda hacer riegos suplementarios, entre unos 8 a 20 días antes de la floración, para evitar el estrés hídrico y mantener la humedad, para asegurar una polinización eficaz y un llenado total de granos. Los períodos críticos por requerimiento de agua son en general; el espigamiento, la formación de la mazorca y el llenado de grano (Corral et al., 1999).

Humedad ambiental. Lo mejor es una atmósfera moderadamente húmeda (Corral et al., 1999).

Condiciones edáficas

Suelos. Los suelos más apropiados para la producción de maíz son los francos o francos arcillosos con buen drenaje. Prospera en suelos de textura ligera a media (Corral et al., 1999).

Salinidad. Este cultivo se considera moderadamente sensible a la salinidad. La disminución del rendimiento como consecuencia del aumento de la salinidad del suelo es la siguiente: 0% para una conductividad eléctrica de 1.7 mmhos/cm; 10% para 2.5 mmhos/cm, 25% para 3.8 mmhos/cm; 50% para 5.9 mmhos/cm y 100%

para 10 mmhos/cm (Corral et al., 1999)

pH. El pH óptimo está entre 5.5 y 7.5 (moreno, 1992)

Fertilización

La fertilización se define en dos aspectos clave: primero, la fertilidad natural, mediante un análisis de suelo, y, segundo, la meta de producción. En el cultivo de maíz se recomiendan cuatro aplicaciones: una en presiembra, otra al cierre de cultivo, una tercera al inicio de floración y la última al llenado de grano. Este método proporciona una nutrición más balanceada al cultivo y favorece su rendimiento (Meza y Angulo, 2008).

El primer paso para determinar las necesidades de fertilizante es realizar un análisis de suelo, tratando que la muestra sea lo más representativa posible del lote de producción. Por supuesto que entre más submuestras se tomen en un lote, más exacta y precisa será la muestra final y, por lo tanto, el resultado del análisis (Meza y Angulo, 2008).

Con el análisis de suelo podemos saber si nuestro suelo es de baja o alta fertilidad, si es ácido (pH menor de 7.0) o alcalino (pH superior a 7.0) y su contenido de materia orgánica. Con estos datos, un técnico capacitado puede definir los nutrientes que debemos aplicar y las fuentes más convenientes que nos aporten estos nutrientes (Meza y Angulo, 2008).

Fertilización química

En la producción de maíz, el nutriente, al que los productores le dan mucha importancia, es el nitrógeno (N), pero éste, al igual que todos los demás, ocupa la relación con otros nutrientes y diversos factores para su mejor asimilación por la planta. Una nutrición balanceada en el cultivo del maíz (como en todo organismo) proporciona mayor resistencia a plagas y enfermedades.

Los principales nutrientes que requiere el maíz para una alta productividad son: Los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); los nutrientes secundarios calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) y microelementos como el hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B), estos últimos, sobre todo, en suelos alcalinos, en donde se bloquea su asimilación.

Para producir una tonelada de grano de maíz se requieren 23 kilogramos por hectárea (kg/ha) de nitrógeno (N), 10.7 kg/ha de fósforo (P) Y 25 kg/ha de potasio (K) (Meza y Angulo, 2008). Por lo tanto, de acuerdo al potencial productivo de cada suelo y al resultado de su análisis químico será la aportación de nutrientes a aplicar. En cuanto a la etapa de aplicación de cada nutriente, el 40% del nitrógeno se puede utilizar en presiembra, durante el riego de presiembra, o de preferencia, durante la escarificación y el 60% restante durante el cultivo y abierta de surco.

De requerirse fósforo y potasio, el 100% de éstos, por su lenta movilidad, se debe aplicar en presiembra, preferentemente durante la marca de surcos. El fósforo es más asimilable en combinación con el nitrógeno, procedente de fuentes amoniacales como el fosfato monoamónico o MAP (11-52-00) y el fosfato diamónico o DAP (18- 46-00); pero para los suelos de las zonas maiceras de la región central del estado de Sinaloa, que en su mayoría son suelos alcalinos con Ph superior a 7.0, es más conveniente aplicar el MAP por su reacción ácida. En cuanto a los micronutrientes, la forma más fácil de aplicarlos es vía foliar, pues éstos se requieren en pequeñas cantidades (Meza y Angulo, 2008).

Biofertilización

Otra alternativa, en cuanto a nutrición de maíz, son los fertilizantes orgánicos, ya sea mediante la utilización de compostas, harinas de rocas o humus líquido de lombriz; es importante tomar en cuenta que, debido al bajo porcentaje de materia orgánica y a la baja o nula actividad microbiana de los suelos en la zona centro y

norte de Sinaloa, es arriesgado cambiar por completo a este tipo de fertilización.

Lo mas adecuado es cambiar paulatinamente alternandolos con los métodos de tradicionales de fertilización. Además de los beneficios en la recuperación de los suelos, el alza en los insumos agrícolas, en este caso los fertilizantes como la urea y el gas amoniacal, despiertan la inquietud en los productores de buscar otras alternativas para lograr un método de producción sustentable y competitivo.

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de fertilización química, orgánica a base de lombricomposta y mixta (químico con orgánico) sobre el rendimiento de cultivo de maíz en Guasave, Sinaloa.

Específicos

1. Establecer el diseño experimental con tratamientos y repeticiones de cultivo de maíz en el campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.
2. Determinar la variabilidad del comportamiento agronómico de la planta de maíz, en base al tipo de fertilización.
3. Evaluar el rendimiento del cultivo de maíz con distinta fertilización en toneladas por hectárea.
4. Determinar el tratamiento óptimo para el desarrollo del cultivo de maíz.

HIPÓTESIS

El rendimiento del cultivo de maíz en Guasave, Sinaloa será en un 10% mayor en el tratamiento donde se aplique una fertilización mixta (químico con orgánico), así como mayores valores en variables agronómicas como la altura de planta, peso de semilla, altura de mazorca, longitud y peso de mazorca.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Será posible obtener un rendimiento mayor del cultivo de maíz con la aplicación de una fertilización mixta (químico con orgánico) en Guasave, Sinaloa así como valores mayores en variables agronómicas como la altura de planta, peso de semilla, altura de mazorca, longitud y peso de mazorca?

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

- Conocer las diferencias de las propiedades fisicoquímicas del suelo con la aplicación de fertilización química y orgánica
- Evaluar el rendimiento en una hectárea de maíz
- Medir las variables agronómicas de las plantas de maíz
- Realizar el experimento en ciclo agrícola otoño-invierno

Limitaciones

- Plagas que acaban con el cultivo
- Fenómenos climatológicos (fenómenos naturales adversos)
- El maíz no alcance su límite máximo de crecimiento
- Cantidad de agua disponible para los riegos del cultivo de maíz
- No darle su tratamiento adecuado

METODOLOGÍA

Área de estudio

El municipio de Guasave está ubicado en la zona noroeste del Estado de Sinaloa, cuenta con una superficie de 2,935.60 kilómetros cuadrados, que representan el 5.1 por ciento de la superficie estatal y el 0.15 por ciento de la superficie nacional de esta superficie, más del 50 por ciento es utilizada para actividades agrícolas (Figura 1).

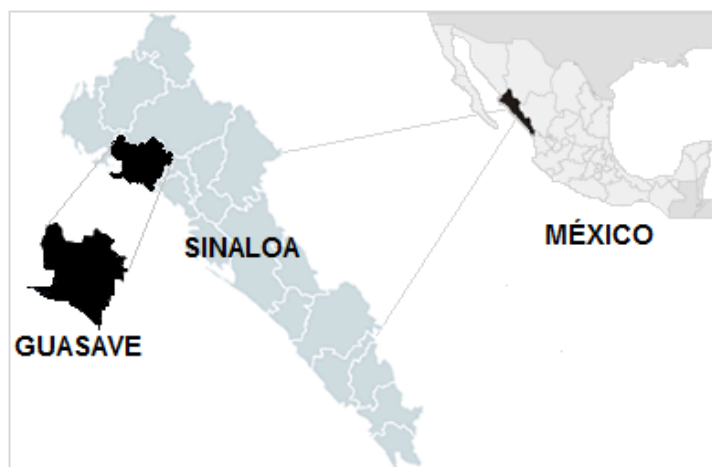


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Guasave, Sinaloa, México.

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

Los ensayos se establecieron en el campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, el cual tiene una extensión de 5 hectáreas y está ubicado en el ejido Burrioncito, Guasave, Sinaloa, entre las coordenadas 25° a 26° N, y 108° a 109° O (Figura 2).



Figura 2. Ubicación del campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Fuente: tomado de Google Earth, 2024.

Tipos de investigación

Se desarrolló una investigación cuantitativa, en la cual los datos se obtuvieron directamente en campo experimental con un muestreo de tipo aleatorio, el procesamiento de los datos se realizó con el programa Minitab 19, del cual se cuenta con licencia en el Instituto Tecnológico Superior de Guasave, donde se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar las diferencias entre los tratamientos del experimento y sus repeticiones. Las gráficas fueron diseñadas con el programa de libre acceso Sigma Plot 14 y Microsoft Excel.

Diseño Experimental

En la presente investigación se estableció un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, como variable de respuesta fue el efecto de la fertilización sobre variables agronómicas del cultivo de maíz en cada uno de los tratamientos del experimento, los cuales se establecieron con base a la alternativa de fertilización; orgánica, química y mixta (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos evaluados en la presente investigación.

Tratamiento	Alternativa de fertilización
T1	Fertilización orgánica 100%
T2	Fertilización química 100%
T3	Fertilización mixta: orgánica 50%- química 50%

Manejo de tratamientos

El ensayo se llevó a cabo en el Campo Experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave (ITSG), que presenta un suelo franco-arenoso. La preparación de la cama de siembra consistió en dos pasadas de rastra, para incorporar el rastrojo de sorgo y permitir una buena degradación del mismo, una pasada de rastra liviana, y por último una pasada de cincel, logrando una cama de siembra firme. La densidad objetivo fue de 8 plantas por metro, dividiendo el terreno en tres tratamientos; cada tratamiento tiene una superficie de 200 m², donde se distribuyen tres repeticiones. Durante todo el ciclo del cultivo se realizaron 3 riegos por gravedad o convencionales, con altos caudales, logrando láminas de riego uniformes en cuanto a su frente de avance y distribución en la profundidad del perfil.

Determinación de variables agronómicas

Para la toma de muestra de suelo se tomó como referencia el manual de muestreo FERTILAB (2013), se tomaron un total de doce submuestras con ayuda de un localizador GPS, para la interpretación y clasificación de suelos se utilizó como guía la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones para los estudios de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

Para evaluar la medición de las propiedades físicas de la planta, se etiquetaron de manera aleatoria 20 plantas de cada tratamiento con la finalidad de evaluar su desarrollo durante el proceso. A dichas plantas se les evaluó la altura de planta (m), la cual consiste en tomar la medida desde el primer nodo de la planta hasta la punta

de la hoja que emerge en el momento de la medición. Los datos se recolectaron con una cinta métrica de 5 m de longitud marca TRUPER®. La altura de mazorca (m), número de hileras por mazorca, longitud de mazorca (cm), longitud de grano (mm) y peso de 1,000 semillas (gr) se realizaron con base a lo descrito en Guía técnica para la descripción varietal del maíz, (2014). Además, se estimó el rendimiento por hectárea de maíz (ton-ha^{-1}).

RESULTADOS

Al obtener los resultados de las variables analizadas en los diferentes tratamientos de cultivo de maíz, se puede definir con qué tipo de fertilización se obtiene mayor rendimiento, se comparan los resultados de la presente investigación con resultados de investigaciones realizadas en distintos proyectos realizados alrededor del mundo, los promedios de las variables analizadas de muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Resultados promedio de variables agronómicas analizadas en distintos tratamientos.

Tratamientos	Altura de planta (m)	Altura de mazorca (m)	Nº de hileras	Longitud mazorca (cm)	Longitud de grano (mm)	Peso 1000 semillas (gr)	Rendimiento (ton-ha ⁻¹)
Orgánico	2.90	1.39	17.33	12.78	12.29	322.52	9.85
Químico	2.97	1.44	16.67	13.53	12.47	346.67	12.85
Míxto	3.10	1.36	16.67	12.33	11.71	350.21	13.11

Altura de planta (m)

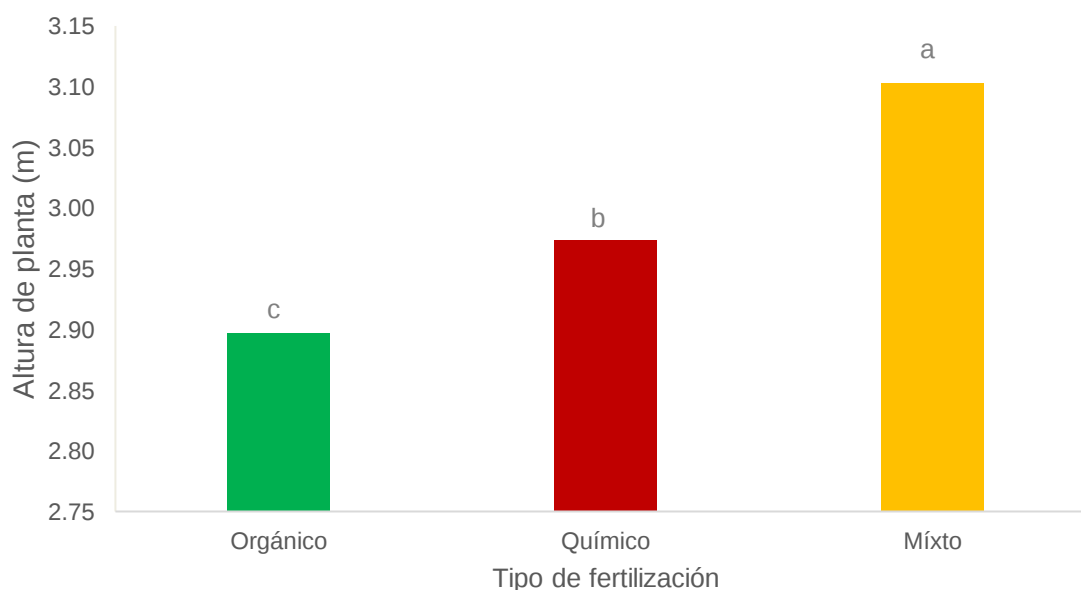


Figura 3.- Altura de planta de maíz promedio en distinta fertilización.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la altura de planta promedio en los tres tratamientos del cultivo de maíz, se observa que con el tratamiento de fertilización mixta se obtuvo una altura de planta mayor, con 3.10 metros, mientras que el tratamiento con fertilización orgánica reflejó la menor altura de planta, con 2.90 metros.

Número de hileras por mazorca

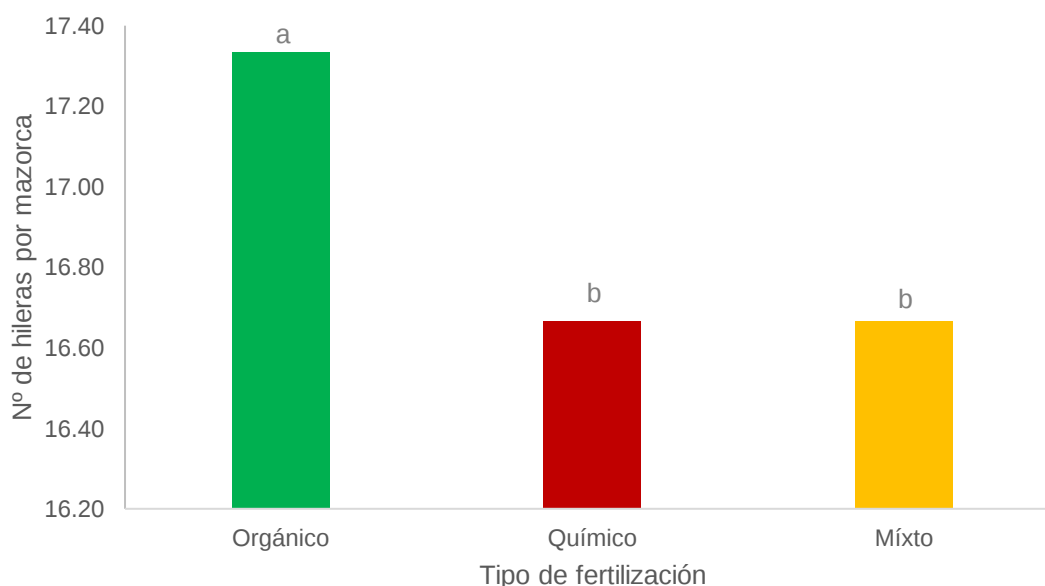


Figura 4.- Número de hileras por mazorca promedio en distinta fertilización.

En la Figura 4 se muestra el comportamiento del número de hileras por mazorca promedio en los tres tratamientos del cultivo de maíz con distinta fertilización, se observa que con el tratamiento de fertilización orgánica se obtuvo un mayor número de hileras, con 17.33, mientras que en los tratamientos con fertilización química y mixta, no hubo diferencia significativa en el número de hileras, con 16.67 hileras promedio por mazorca de maíz.

Rendimiento

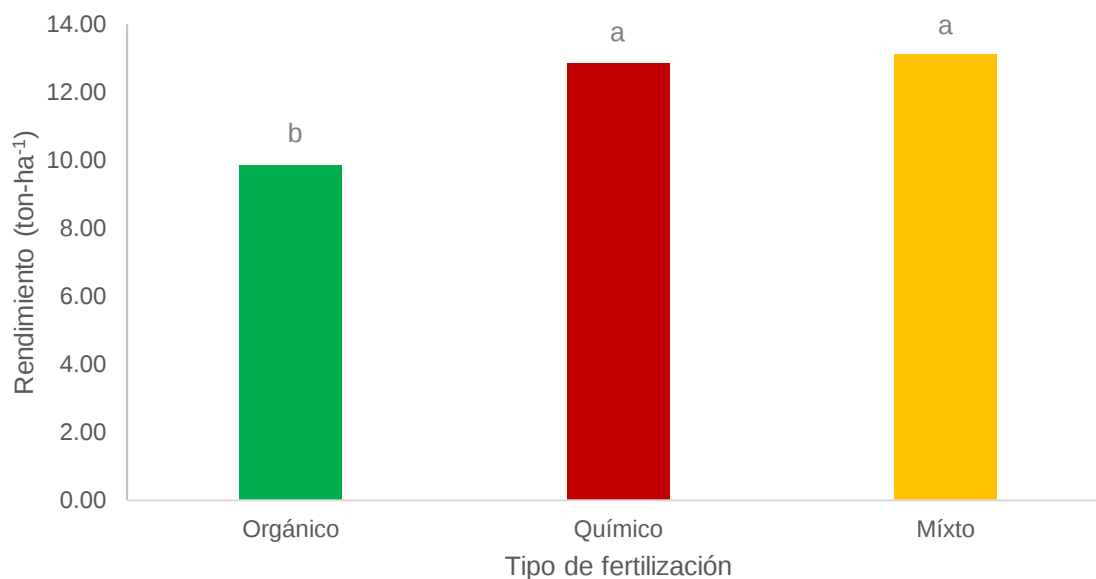


Figura 5.- Rendimiento de maíz promedio en distinta fertilización.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento del rendimiento promedio en los tres tratamientos del cultivo de maíz con distinta fertilización, se observa un rendimiento mayor en los tratamientos de fertilización química y mixta, donde no hubo diferencia significativa con rendimientos de 12.85 ton-ha⁻¹ y 13.11 ton-ha⁻¹, respectivamente. Mientras que en el tratamiento con fertilización orgánica, el rendimiento fue menor, con 9.85 ton-ha⁻¹.

CONCLUSIONES

- La fertilización orgánica, química y mixta aplicada a los distintos tratamientos, tuvo un efecto positivo en el comportamiento de variables agronómicas del cultivo de maíz en Guasave, Sinaloa.
- El tratamiento donde se aplicó fertilización mixta (50% orgánica y 50% química) fue donde se obtuvo un rendimiento mayor, con 13.11 toneladas de maíz por hectárea, además fue el tratamiento donde se tuvo una mayor altura de planta y un mayor valor en la variable de peso de 1,000 semillas, con valores de 3.10 m y 350.21 gr, respectivamente.
- Los fertilizantes orgánicos elaborados a base de lombricultura podrían ser una alternativa viable para producir y disminuir los costos de producción del cultivo de maíz en la región de Guasave, Sinaloa.

RECOMENDACIONES

- Realizar más investigaciones donde se evalué la comparación entre distintas dosis de fertilizantes químicos y abonos orgánicos producidos localmente en cultivo de maíz.
- Evaluar los rendimientos del cultivo de maíz con distintas dosis de fertilizante orgánicos a base de lombricultura, 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.
- Al gobierno y sus respectivas dependencias, que consideren la iniciativa de apoyar a los productores agrícolas de la región de Guasave, Sinaloa que elaboran fertilizantes orgánicos a base de lombricultura.
- 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 biofertilizantes.
- A los diferentes actores de generación del conocimiento en el área 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R. (2009). El cultivo de maíz, su origen y clasificación. *El maíz en Cuba*, 113-120.
- Álvarez, W. (2019). *Sustentabilidad del cultivo de maíz en la zona de Ventanas*. Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo.
- Ayala, C. (2022). *Impacto del alto costo de los fertilizantes en la agricultura ecuatoriana*. Universidad Técnica de Babahoyo.
- Ayvar, S., Díaz, J., Vargas, M., Mena, A. T., & Cuevas, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 9-16.
- Barreto, W., & Pinos, D. (2023). Evaluación del rendimiento en la producción de maíz mediante la aplicación de tres bioestimulantes en el cantón joya de los sachas. *Ciencia Latina revista Científica Multidisciplinar*, 8928-8950.
- Bermúdez, M., & Ramos, J. (2021). *Crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de pipián (Cucurbita argyrosperma Huber) por efecto de fertilización orgánica y sintética*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Bewley, S., & Black, M. (1994). Physiology of development and germination. *Plenum Press*, 445.
- CIEGSIN. (2019). *Centro de Información Estadística y Geográfica del Estado de Sinaloa*. Obtenido de Estadísticas municipales: <https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/inicio.aspx>

- CIMMYT. (15 de junio de 2023). CIMMYT. Obtenido de Investigación del Maíz: <https://www.cimmyt.org/es/nuestro-trabajo/maiz/>
- Cobos, F., Gómez, J., Hasang, E., & Medina, R. (2020). Importancia de los conocimientos tradicionales, recursos genéticos y derechos de propiedad Intelectual. *Journal of Science and Research*, 60-78.
- Corral, J., Medina, G., Gonzalez, I., Ortiz, C., Flores, H., Martínez, R., & Byerly, K. (1999). Requerimientos agroecológicos de cultivos. En *Libro técnico no.3* (págs. 186-190). Guadalajara, México: Conexión gráfica.
- Cruz, O. (2013). El cultivo de maíz. *manual para el cultivo en Honduras*, 7.
- FAO. (2019). *Alcanzar una agricultura sostenible requiere un enfoque integrado*. Obtenido de . <http://www.fao.org/news/story/es/item/1179320/icode/>
- FAO. (13 de octubre de 2024). *Food and Agriculture Organization*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/y5871s/y5871s0p.htm>
- Fernández, P., Sánchez, M., & Jumbo, N. (2023). Sustentabilidad de los sistemas agroforestales de café especial de altura en el sector sur oriental del cantón Loja. *Bosques Latitud Cero*, 80-90.
- Garaicoa, C. (2019). *INTAGRI*. Obtenido de Productos agrícolas. Fertilización química. : <https://www.intagri.com/articulos/cereales/manejo-de-herbicidas-en-maiz>
- Gutiérrez, E., & Cursi, R. (2024). Efecto de niveles de lixiviado de humus de lombriz con diferentes densidades de siembra en forraje verde hidropónico de maíz cubano. *CIBUM SCIENTIA*, 44-54.

- Leyva, J., García de la Parra, L., Bastidas, P., Atorga, J., Bejarano, J., Cruz, A., . . . Betancourt, M. (2014). Uso de plaguicidas en un valle agrícola tecnificado en el noroeste de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 247-261.
- Meza, R., & Angulo, J. (2008). *Producción de maíz blanco en la zona centro de Sinaloa*. Sinaloa, México: Fundación Produce Sinaloa A.C.
- ODEPA. (2016). *Oficina de Estudios y Políticas Agrarias*. Obtenido de Protocolo de Agricultura Sustentable: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/3-Protocolo-Agricultura-Sustentable.pdf>
- ONU. (13 de septiembre de 2000). *NACIONES UNIDAS*. Obtenido de Asamblea General 55/2. Declaración del Milenio: <https://www.un.org/spanish/milenio/ares552.pdf>
- Ortas, L. (2008). El cultivo del maíz: fisiología y aspectos generales. *Comercial de servicios Agrigan, S.A.*
- Paliwal, R. (2018). *FAO*. Obtenido de Introducción al maíz y su importancia: <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s02.htm>
- Pilla Guaman, A. X. (2024). *Evaluación del desarrollo inicial del cultivo de maíz (Zea mays L.) con la aplicación de fertilización química y orgánica*. Cevallos, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Romero, K., & Ruíz, J. (2021). *Evaluación de la fertilización orgánico y sintético en el cultivo de maíz (Zea mays, L), (Variedad Nutrinta Amarillo) Centro Experimental Las Mercedes, Managua, 2020*. Centro Experimental Las Mercedes, Managua.

Rural, F. (2014). Panorama del Maíz. *Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial y Tecnologías de la información.*, 1-2.

SADER. (8 de agosto de 2024). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/registra-resultados-positivos-la-produccion-de-maiz-con-practicas-agroecologicas-en-sinaloa?idiom=es#:~:text=Menos%20costos%2C%20m%C3%A1s%20rendimiento&text=El%20rendimiento%20de%20ma%C3%ADz%20por,con%20agricultura%20>

Salvador, R. (2001). Monografía del Maiz. *Publicaciones del Programa Nacional de Etnobotánica*.

Sánchez, R. (2018). *Evaluación agronómica del pepinillo híbrido diamante, cultivado aplicando diferentes abonos orgánicos*. . Universidad Técnica de Ambato, Cevallos.

Senés-Guerrero, C., Guardiola_Márquez, C., & Pacheco-Moscoa, A. (2019). Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México. *Agro Productividad*.

SIAP. (15 de abril de 2024). *Sistema de Información Agropecuaria de Consulta*. Obtenido de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Tovar, T. (2008). *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Pachuca, México: Universidad autónoma del estado de Hidalgo.

Trujillo, F. (2011). Las políticas agrícolas nacionales y la agricultura de Sinaloa. *IV Foro Internacional de Maíz*. CAADES. Culiacán. Obtenido de

<http://www.forointernacionaldelmaiz.com/panel3>

Valle, H., & Velázquez, M. (2019). *Evaluación de fertilizantes sintéticos y orgánica en el cultivo de maíz (Zea mays L.) variedad NB-6 bajo riego por microaspersión en la Finca El Plantel, 2017-2018*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.

Velázquez, H. (2018). Determinación del óptimo técnico y económico en maíz (Zea mays L.) modalidad temporal del Estado de México. *Agroproductividad*, 15-21.

Villalta, A. (2016). *PROBELTE*. Obtenido de Fertilización convencional del cultivo de maíz.: <https://probelte.com/#:~:text=Los%20fertilizantes%20de%20origen%20qu%C3%A>

ANEXOS

Anexo 1. Colecta me muestra para análisis de suelo en campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.



Anexo 2. Fertilización base, previa a la siembra de maíz.



Anexo 3. Híbridos de maíz utilizados en la presente investigación.



Anexo 4. Siembra del cultivo de maíz en diseño experimental establecido.



Anexo 5. Materiales para producción de biofertilizante a base lombricultura.



Anexo 6. Medición de variables agronómicas en campo.



Anexo 7. Medición de variables agronómicas en laboratorio.

