

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EFEECTO DE ABONOS ORGÁNICOS Y BIOFERTILIZANTE EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD BROMATOLÓGICA DEL MAÍZ FORRAJERO

TESIS DE MAESTRÍA

KARLA IVETTE ONTIVEROS BORJÓN

VENECIA, DGO.

JUNIO DE 2023

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EFEECTO DE ABONOS ORGÁNICOS Y BIOFERTILIZANTE EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD BROMATOLÓGICA DEL MAÍZ FORRAJERO

TESIS DE MAESTRÍA

KARLA IVETTE ONTIVEROS BORJÓN

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGRICULTURA ORGÁNICA SUSTENTABLE

VENECIA, DGO.

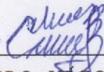
JUNIO DE 2023

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN ESTUDIOS DE POSGRADO

Junio de 2023

La tesis "EFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS Y BIOFERTILIZANTE EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD BROMATOLÓGICA DEL MAÍZ FORRAJERO" presentada por: KARLA IVETTE ONTIVEROS BORJÓN para obtener el grado académico de: MAESTRO EN CIENCIAS EN AGRICULTURA ORGÁNICA SUSTENTABLE ha sido revisada por el Comité Particular Revisor de Tesis.

El Comité Particular Revisor de Tesis
DIRECTOR



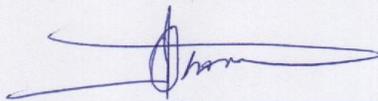
DR. CIRILO VÁZQUEZ VÁZQUEZ

ASESOR



DR. MIGUEL ÁNGEL GALLEGOS ROBLES

ASESOR



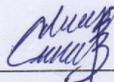
DR. IGNACIO ORONA CASTILLO

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO
FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
DIVISIÓN ESTUDIOS DE POSGRADO

Junio de 2023

La tesis "EFECTO DE ABONOS ORGÁNICOS Y BIOFERTILIZANTE EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD BROMATOLÓGICA DEL MAÍZ FORRAJERO" presentada por: KARLA IVETTE ONTIVEROS BORJÓN para obtener el grado académico de: MAESTRO EN CIENCIAS EN AGRICULTURA ORGÁNICA SUSTENTABLE ha sido aprobada por el Comité Particular Asesor de Tesis.

El Comité Particular Asesor de Tesis
DIRECTOR



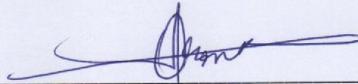
DR. CIRILO VÁZQUEZ VÁZQUEZ

ASESOR



DR. MIGUEL ÁNGEL GALLEGOS ROBLES

ASESOR



DR. IGNACIO ORONA CASTILLO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por brindarme vida y salud para seguir adelante.

A mis padres, que siempre han estado conmigo apoyándome en cada uno de mis proyectos, por brindarme las herramientas necesarias para enfrentarme a la vida, por creer en mí, porque gracias a ustedes me siento capaz de afrontar cualquier reto que me ponga la vida.

A mis hermanas por estar conmigo incondicionalmente.

A mis compañeros y amigos de los programas MAOS y PIDCAF por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación.

A cada uno de los Doctores que me impartieron clases y que de esta forma aportaron en mí un poco de sus conocimientos los cuales serán pilares importantes en mi vida profesional.

A los miembros de mi comité de tesis, por todo el apoyo brindado durante la investigación.

A la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango por abrirme sus puertas y brindarme un lugar en el cual puedo seguir creciendo profesionalmente.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento para llevar a cabo este proyecto.

DEDICATORIAS

A mi familia, ya que puedo decir con certeza que mis logros en esta vida se deben a que ustedes siempre han estado conmigo, a que han fomentado en mí el deseo de superación y triunfo, los amo infinitamente.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo general	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 El maíz a nivel mundial	4
2.2 El maíz en México	4
2.3 La Comarca Lagunera	5
2.4 Fertilizantes químicos	6
2.4.1 Aumento en el precio de los fertilizantes sintéticos ..	7
2.5 Suelos agrícolas	8
2.5.1 Capacidad productiva del suelo.	8

2.6	Abonos orgánicos	9
2.6.1	Propiedades en los abonos orgánicos.....	10
2.6.2	Tipos de abonos orgánicos.	11
2.6.2.1	Estiércol.....	11
2.6.2.2	Té de estiércol.	11
2.6.2.3	El compost.....	12
2.6.2.4	Té de compost.	12
2.6.2.5	Humus de lombriz o vermicomposta.....	12
2.6.2.6	Bocashi.....	12
2.7	Microorganismos en el suelo.....	13
2.7.1	Microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV).	14
2.7.2	Bacterias fijadoras de nitrógeno.	15
2.7.3	Bacillus amyloliquefaciens.	15
2.8	Casos de éxito con el uso abonos orgánicos y biofertilizantes	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1	Ubicación y descripción del área de estudio	19
3.2	Manejo del cultivo	19
3.2.1	Preparación del suelo.....	19

3.2.2 Siembra.	20
3.2.3 Cuidados del cultivo.	20
3.3 Tratamientos evaluados.	21
3.3.1 Aplicación de tratamientos.	21
3.3.1.1 Vermicomposta.	21
3.3.1.2 Composta.	22
3.3.1.3 Químico.	22
3.3.1.4 <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	22
3.4. Área Experimental.	23
3.5 Diseño Experimental	24
3.5.1 Modelo estadístico.	25
3.6 Cosecha	25
3.7 Variables evaluadas	25
3.7.1 Variables en suelo.	25
3.7.1.1 Materia Orgánica.	26
3.7.1.2 Conductividad Eléctrica.	26
3.7.1.3 Nitrógeno en forma de nitratos y amonio. ...	26
3.7.1.4 Fósforo.	27
3.7.1.5 potencial de Hidrogeno.	27

3.7.2 Variables fenológicas.....	28
3.7.2.1 Altura.....	28
3.7.2.2 Diámetro del tallo.....	28
3.7.2.3 Peso en verde.....	28
3.7.2.4 Peso en seco.....	28
3.7.3 Variables bromatológicas.....	29
3.7.3.2 Fibras ácido detergentes.....	29
3.7.3.3 Fibras neutro detergentes.....	29
3.7.3.4 Proteína cruda.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
V. CONCLUSIONES.....	46
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. TIPOS DE TRATAMIENTOS Y CONCENTRACIONES EVALUADAS.....	21
CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS INICIALES DEL SUELO DEL ÁREA EXPERIMENTAL DE FAZ-UJED 2021.	28
CUADRO 3. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA TRATAMIENTOS EVALUADOS EN VARIABLES DE SUELO CON UNA PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM EN CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO.....	31
CUADRO 4. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA TRATAMIENTOS EVALUADOS EN VARIABLES DE SUELO CON UNA PROFUNDIDAD DE 15 A 30 CM EN CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO.....	37
CUADRO 5. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIABLES FENOLÓGICAS EVALUADAS EN PLANTA DE MAÍZ FORRAJERO.....	40
CUADRO 6. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA VARIABLES DE RENDIMIENTO SECO Y RENDIMIENTO VERDE EVALUADAS EN MAÍZ FORRAJERO.....	42
CUADRO 7. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIABLES BROMATOLÓGICAS EVALUADAS EN MAÍZ FORRAJERO.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Ubicación del campo experimental.	19
FIGURA 2. Croquis de campo con la distribución de tratamientos del área experimental.....	24
FIGURA 3. Comparación de medias para la variable de Materia Orgánica (%) en suelo de 0 a 15 cm de profundidad...32	
FIGURA 4. Comparación de medias para la variable de Fósforo (mg kg^{-1}) en suelo de 0 a 15 cm de profundidad.	33
FIGURA 5. Comparación de medias para la variable de Nitratos (mg kg^{-1}) en suelo de 0 a 15 cm de profundidad.	34
FIGURA 6. Comparación de medias para la variable de Amonio (mg kg^{-1}) en suelo de 0 a 15 cm de profundidad.	36
FIGURA 7. Comparación de medias para la variable de potencial de Hidrogeno en suelo con una profundidad de 15 a 30 cm.....	38
FIGURA 8. Comparación de medias para la variable de conductividad eléctrica (ds m^{-1}) en suelo con una profundidad de 15 a 30 cm. 39	
FIGURA 9. Comparación de medias para la variable de altura (m) en planta de maíz forrajero.	41

FIGURA 10. Comparación de medias para la variable de Fibras Neutro
Detergentes (%) en maíz forrajero. 44

FIGURA 11. Comparación de medias para la variable de Fibras Ácido
Detergentes (%) en maíz forrajero. 44

RESUMEN

En México, el maíz es uno de los cultivos más importantes, ocupando el séptimo lugar como productor de maíz con una producción de 27,503,477 toneladas a nivel mundial (FAOSTAT, 2022). Esto se debe a que además de alimento, la planta es también un excelente forraje para el ganado (SADER, 2020). Sin embargo, el uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos ha creado una alta dependencia por parte de los agricultores para así cubrir la alta demanda de los cultivos; debido a esto se puede observar que la degradación de los suelos ha aumentado de manera considerable, generando una amenaza a los suelos agrícolas (Bednar & Sarapatka, 2018). Trinidad y Velasco (2016) nos dicen que al utilizar los abonos orgánicos en forma rutinaria en los suelos agrícolas se aumenta el contenido de materia orgánica a mediano y largo plazo y, además, la disponibilidad de nutrimentos. Por lo cual en el presente estudio se determinó la respuesta de fuentes orgánicas sobre la calidad del maíz forrajero y el efecto en las propiedades fisicoquímicas de suelo. Se evaluaron los siguientes tratamientos: T1= vermicomposta 10 ton ha⁻¹; T2= vermicomposta 15 ton ha⁻¹; T3= composta 60 ton ha⁻¹; T4= composta 80 ton ha⁻¹; T5= químico 200-80-00; T6= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= blanco. A pesar de que en base a rendimiento de forraje seco y rendimiento de forraje verde no se encontró diferencia significativa, los mejores tratamientos fueron el T2 y el T4 logrando mejores resultados en variables de suelo al terminar el ciclo del cultivo, así como en algunas variables de calidad del maíz, mostrando que el uso de abonos orgánicos en el cultivo de maíz son una buena opción para reducir el uso de fertilizantes químicos.

ABSTRACT

In Mexico, corn is one of the most important crops, occupying seventh place as a corn producer with a production of 27,503,477 tons worldwide (FAOSTAT, 2022). This is because in addition to food, the plant is also an excellent fodder for livestock (SADER, 2020). However, the indiscriminate use of synthetic fertilizers has created a high dependence by farmers to cover the high demand of crops, due to this it can be observed that soil degradation has increased considerably, generating a threat to agricultural soils (Bednar & Sarapatka, 2018). Trinidad & Velasco, (2016). tell us that using organic fertilizers routinely in agricultural soils increases the organic matter content in the medium and long term and, in addition, the availability of nutrients. Therefore, in the present study, the response of organic sources on the quality of forage corn and the effect on soil physicochemical properties was determined. The following treatments were evaluated: T1= vermicompost 10 ton ha⁻¹; T2= vermicompost 15 ton ha⁻¹; T3= compost 60 ton ha⁻¹; T4= compost 80 ton ha⁻¹; T5= chemical 200-80-00; T6= *Bacillus amyloliquefaciens* bacteria; T7= white. Although no significant differences were found in dry forage yield and green forage yield, the best treatments were T2 and T4, achieving better results in soil variables at the end of the crop cycle, as well as in some corn quality variables, showing that the use of organic fertilizers in corn cultivation is a good option to reduce the use of chemical fertilizers.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes de México, cifras oficiales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) nos muestran que México ocupa el lugar número siete en producción de maíz con una cantidad de 27,503,477 toneladas en el año 2021. Además de alimento, la planta es también un excelente forraje para el ganado (SADER, 2020).

La Comarca Lagunera es una de las principales cuencas lecheras del país, por lo cual cuenta con una gran cantidad de cabezas de ganado bovino. El hato lechero de la región demanda altas cantidades de forraje de calidad durante todo el año, por lo cual, en 2017 se establecieron 55 000 has de maíz forrajero en dos ciclos agrícolas, primavera-verano y otoño-invierno (García *et al.*, 2019).

Hernández *et al.* (2010) mencionan que la inclinación de los productores a aplicar grandes cantidades de fertilizantes químicos, especialmente nitrogenados, para asegurar altos rendimientos de productos de buena calidad es una iniciativa no deseable desde el punto de vista ambiental, ya que de acuerdo con Mozumder y Berrens (2007) el uso intensivo de fertilizantes químicos trae consigo una pérdida de la biodiversidad y la alteración de los ciclos biológicos debido a la interrupción en la liberación de nutrientes.

Hoy en día contamos con diferentes tipos de fertilización que nos traen consigo una serie de beneficios, los abonos orgánicos son muy valiosos porque mejoran las condiciones del suelo en general (FAO, 2002).

Según Eghball *et al.* (2004) "Los abonos orgánicos aportan materia orgánica, nutrimentos y microorganismos, lo cual favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas". La materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce la erosión del mismo, tiene un efecto regulador en la temperatura del suelo y le ayuda a almacenar más humedad, mejorando significativamente de esta manera su fertilidad (FAO, 2002).

Así mismo Lovaisa *et al.*, (2018) Nos dice que el uso de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, puede ser considerado como una alternativa para disminuir la aplicación de fertilizantes de síntesis química.

Por lo tanto, con el presente estudio se pretende igualar el rendimiento del maíz forrajero fertilizado químicamente utilizando como fuentes de fertilización abonos orgánicos y biofertilizante, así como determinar que tratamiento mejora las condiciones químicas presentes en el suelo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto de composta, vermicomposta y *Bacillus amyloliquefaciens* en comparación con un fertilizante químico sobre la calidad del maíz y el efecto en las propiedades fisicoquímicas de suelo.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Identificar cual es el mejor tratamiento de fertilización orgánica en base a la calidad y rendimiento del maíz forrajero.
2. Determinar cuál de los tratamientos orgánicos mejora las propiedades químicas del suelo.

1.2 Hipótesis

El rendimiento y la calidad del maíz forrajero fertilizado de manera orgánica será superior al fertilizado con fertilizante de síntesis química.

Al menos uno de los tratamientos orgánicos aplicados mejorará las propiedades químicas del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El maíz a nivel mundial

En la actualidad el maíz es el segundo cultivo más importante en el mundo, superado solamente por el trigo. Dicho cultivo es de gran importancia económica a nivel mundial, debido a sus cualidades alimenticias ya sea animal o de consumo humano y el uso industrial (FIRA, 2016).

De acuerdo con la Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT), en el 2022 los principales productores de maíz a nivel mundial fueron: Estados Unidos, China y Brasil con una producción de: 38,3943,000 ton; 272,552,000 ton; 88,461,943 ton, respectivamente. Dejando por debajo a países como México que ocupa el lugar número siete en el listado.

2.2 El maíz en México

El maíz es uno de los cultivos más importantes de México, además de alimento la planta es también un excelente forraje para el ganado, especialmente para las vacas lecheras (SADER, 2020).

La Información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020) muestran que durante el periodo 2010 a 2020 se sembraron en promedio 9.9 millones de hectáreas de granos básicos, en el cual el maíz representa el 76% del total, con un rendimiento promedio de 3.5 ton ha⁻¹, teniendo como resultado una

producción de maíz de 26.3 millones de toneladas; de los cuales el maíz blanco representa el 82.9%, el amarillo 10.3% y otros tipos de maíz el 6.8% del total de la producción.

En el 2021 México ocupó el séptimo lugar como productor de maíz con una producción de 27,503,477 toneladas a nivel mundial (FAOSTAT, 2022); mientras que en el 2019 la producción de maíz forrajero a nivel nacional fue de 15,569,846.80 toneladas siendo Jalisco, Durango y Zacatecas los principales estados productores (SADER, 2020).

2.3 La Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera es la principal cuenca lechera de México ya que produce más de 2 433 millones de litros de leche anuales que provienen de un hato de más de 465 mil cabezas de ganado bovino lechero (SIAP, 2017).

Debido a esto, en Región Laguna existe una alta demanda de forraje de calidad durante todo el año, por lo tanto, en 2017 se establecieron 55 000 ha de maíz forrajero en dos ciclos agrícolas primavera-verano y otoño-invierno (SIAP, 2017).

Tomando en cuenta que una de las principales características de los suelos en la Comarca Lagunera es su bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno disponible, todos los cultivos requieren de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos para poder mantener una condición nutricional óptima que logre proyectar el

máximo potencial de rendimiento y calidad del maíz forrajero (Cueto *et al.*, 2006).

2.4 Fertilizantes químicos

El desarrollo de la agricultura se ha regido por una producción cada vez más intensa, contribuyendo al uso indiscriminado de fertilizantes y otros productos químicos (Hernández *et al.*, 2017).

El consumo de fertilizantes a nivel mundial fue de 181,9 millones de toneladas en el periodo 2014-2015, correspondiente a 102,5 millones de toneladas de nitrógeno; 45,9 millones de toneladas de fósforo y 33,5 millones de toneladas de Potasio (IFA, 2019).

A nivel mundial el modelo de producción agrícola intensiva tiene la finalidad de aumentar los rendimientos de cultivos, utilizando como fuente de fertilización insumos agrícolas de síntesis química, esto a pesar de que se ha demostrado que tienen efectos nocivos para el medio ambiente (Jaime *et al.*, 2020).

La agricultura convencional depende de la aplicación de fertilizantes minerales solubles, con el fin de lograr mayor rendimiento en los cultivos. Pero la aplicación excesiva de estos ha generado: contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas,

desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (Chen *et al.*, 2018).

Los fertilizantes químicos sustentan la productividad a corto plazo de los agroecosistemas, mientras que su uso indiscriminado reduce la fertilidad del suelo (Ansari & Mahmood, 2017).

Cabe destacar que las plantas pueden absorber entre un 30% y 50% de los fertilizantes químicos, el resto se pierde en el suelo (Wang *et al.*, 2018).

2.4.1 Aumento en el precio de los fertilizantes sintéticos. En el 2022, el valor en dólares de las importaciones de fertilizantes químicos de América Latina y el Caribe aumentaron en promedio 136.6% en comparación con el periodo del 2021, Este aumento de precio de las importaciones de fertilizantes químicos es resultado de los efectos acumulados de varias crisis, entre ellas el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania, y de un aumento en la demanda mundial de insumos desde inicios de la pandemia. El conflicto armado es una de las principales causas del encarecimiento de los precios de fertilizantes debido a que Rusia es líder exportador mundial de estos insumos (Consilla *et al.*, 2022).

2.5 Suelos agrícolas

Los suelos agrícolas presentan efectos nocivos que afectan su estructura y composición debido al uso indiscriminado de fertilizantes, lo que ha traído consigo la presencia de suelos con alta salinidad y agotamiento de sus recursos minerales. Esto ocasiona una alta dependencia a los fertilizantes de síntesis química por parte de los agricultores debido a lo cual se puede observar que la degradación de los mismos ha aumentado de manera considerable, generando una amenaza a los suelos agrícolas de todo el mundo (Bednar & Sarapatka, 2018). Hernandez-Rodriguez, *et al.* (2010) nos mencionan que la pérdida de fertilidad en este tipo de suelo es un problema mundial además de comentar que las prácticas de manejo son determinantes en dicho problema; por su parte, Ju *et al.*, (2009) nos dicen que el uso excesivo de fertilizantes químicos para satisfacer la demanda de suministro de alimentos a menudo causa importantes problemas ambientales.

Hoy en día las prácticas agrícolas convencionales y las fertilizaciones sintéticas asociadas suponen una carga insostenible para la agricultura (Tal, 2018).

2.5.1 Capacidad productiva del suelo. El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo que permitan un manejo adecuado de los nutrimentos para evitar su carencia o pérdidas por

lixiviación y de la materia orgánica para potenciar la biodiversidad edáfica y optimar su conservación. Para este fin se requiere aplicar prácticas agroecológicas, así como generar información de la evolución de las características del suelo en diferentes condiciones de manejo (Ávarez, 2010).

2.6 Abonos orgánicos

La Revolución Verde a fines de la década de 1960 convirtió a la agricultura en un sistema industrial, que incorporó la aplicación de maquinaria moderna, el uso de agroquímicos sintéticos y organismos genéticamente modificados a los agroecosistemas (Urra *et al.*, 2019). Desafortunadamente, la salinización del suelo causada por la meteorización mineral y las intervenciones humanas y la escasez de agua ha hecho que extensas áreas del total de tierras cultivables sean improductivas (Diacono & Montemurro, 2015).

Un abono orgánico es el material que resulta de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes, los cuales digieren los materiales, logrando transformarlos en otros que aporten nutrimentos al suelo y, por tanto, a las plantas que crecen en él. Es un proceso controlado y acelerado de descomposición de los residuos, que puede ser aeróbico o anaerobio, dando lugar a un producto estable de alto valor como mejorador del suelo (Libreros, 2012).

Los abonos orgánicos se han utilizado desde hace mucho tiempo con la intención de aumentar la fertilidad de los suelos, además de mejorar sus características en beneficio del adecuado desarrollo de los cultivos (INTAGRI, 2016). También constituyen un elemento crucial para la regulación de muchos procesos relacionados con la productividad agrícola; son bien conocidas sus principales funciones, como sustrato o medio de cultivo, mantenimiento de los niveles originales de materia orgánica del suelo y complemento o reemplazo de los fertilizantes sintéticos (Ramos y Terry, 2014).

Por lo tanto, el uso de abonos orgánicos forma una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos, mejorando sus propiedades, físicas, químicas y biológicas (Chichipe & Oliva, 2017).

2.6.1 Propiedades en los abonos orgánicos. Trinidad y Velasco (2016) nos dicen que al utilizar los abonos orgánicos en forma rutinaria en los suelos agrícolas aumenta el contenido de materia orgánica a mediano y largo plazo y, además, la disponibilidad de nutrientes. Las plantas cuentan con mayor disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes y registran mayor capacidad de intercambio catiónico mayor que los suelos pobres en materia orgánica.

Los abonos orgánicos tienen propiedades que brindan ciertos efectos sobre el suelo (Arévalo y Castellano, 2009). Propiedades

físicas: Facilita el manejo del suelo para las labores de arado o siembra, aumenta la capacidad de retención de la humedad del suelo, reduce el riesgo de erosión, ayuda a regular la temperatura del suelo, Reduce la evaporación del agua y regula la humedad. Mejora las propiedades químicas: aporta macronutrientes, como N, P, K y micronutrientes, mejora la capacidad de intercambio de cationes. La actividad biológica: aportan organismos capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para las plantas y degradar sustancias nocivas y mejora las condiciones del suelo y aportando carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna (Román *et al.*, 2013).

2.6.2 Tipos de abonos orgánicos. Existen diferentes tipos de abonos orgánicos, entre los más comunes de pueden mencionar los siguientes:

2.6.2.1 Estiércol. Es el nombre que se le da a los excrementos de los animales y son utilizados para fertilizar cultivos. Se emplean principalmente los desechos de ganado vacuno, de gallinas, cabras, cerdos y ovejas. Este material debe estar descompuesto antes de su uso (Arévalo y Castellano, 2009).

2.6.2.2 Té de estiércol. es una preparación donde se convierte el estiércol sólido en un abono líquido. En ese proceso, el estiércol suelta sus nutrientes al agua y así se hacen disponibles para las plantas (Ormeño y Ovalle, 2007).

2.6.2.3 El compost. composta o compuesto es el producto que se obtiene del compostaje y constituye un "grado medio" de descomposición de la materia orgánica. El compost es obtenido de manera natural por descomposición aeróbica de residuos orgánicos, como lo son los restos vegetales, animales y estiércoles, por medio de la reproducción masiva de bacterias que están presentes en forma natural en cualquier lugar (Arévalo y Castellano, 2009).

2.6.2.4 Té de compost. la preparación es parecida al té de estiércol, con la diferencia que se agregan otros elementos, como la melaza, el suero de leche, la ceniza y otros ingredientes, los cuales aceleran la descomposición del estiércol y aumenta su contenido nutricional (Ormeño y Ovalle, 2007).

2.6.2.5 Humus de lombriz o vermicomposta. Las lombrices se alimentan de materiales orgánicos en proceso de descomposición y producen el humus. Éste es un material biológico que está listo para ser absorbido por las raíces de las plantas. El intestino de la lombriz es capaz de convertir los nutrientes contenidos en los materiales orgánicos en asimilables y disponibles para las plantas (Ormeño y Ovalle, 2007).

2.6.2.6 Bocashi. Es un abono orgánico fermentado, hecho a base de desechos vegetales y estiércol de animal. Su objetivo principal es activar y aumentar la cantidad de microorganismos benéficos en el

suelo, además de suplir nutrientes a los cultivos y alimento a los organismos del suelo (Arévalo y Castellano, 2009).

2.7 Microorganismos en el suelo

El desequilibrio en las comunidades microbianas del suelo causado por las prácticas agrícolas intensivas no sostenibles desencadena una serie de problemas, tales como: la de degradación biológica y con ella reduce el rendimiento/calidad de los cultivos al aumentar la vulnerabilidad ante diversos tipos de estrés y limita la capacidad de llevar a cabo sus principales servicios ecosistémicos (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2021).

Las comunidades microbianas en los suelos dirigen entre 80 y 90% de los procesos biológicos los cuales se desarrollan en el mismo (Bajsa *et al.*, 2013), esto se debe a sus nichos ecológicos, entre los que se pueden mencionar la mitigación de alteraciones exógenas, promoción de crecimiento vegetal, actividad de biocontrol, ciclaje de nutrientes, producción de biomasa vegetal, estructura y fertilidad del suelo, la degradación de compuestos tóxicos, entre otros (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2016).

Entre las comunidades microbianas se encuentran un conjunto denominado microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV), los cuales favorecen el crecimiento vegetativo, generan tolerancia al estrés abiótico y biótico en la planta, facilitan la

nutrición de la planta y antagonizan fitopatógenos en las plantas hospederas (Dohrmann *et al.*, 2013).

Rodríguez *et al.*, (2020) nos dice que los microorganismos promotores del crecimiento vegetal tienen la capacidad de ayudar a disminuir el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas usados en la producción agrícola.

2.7.1 Microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV) .

Entre el microbioma de la rizosfera, la mayoría de las bacterias conocidas como microorganismos promotores del crecimiento de las plantas (MPCV) tienen una interacción positiva con la planta y promueven su crecimiento y supervivencia (Kumar y Dubey, 2020). Hakim *et al.* (2021) nos mencionan que dichas bacterias o microorganismos beneficiosas estimulan el crecimiento de las plantas hacen que los nutrientes estén disponibles para las plantas, suprimen el crecimiento de patógenos y mejoran la estructura del suelo, desempeñando posteriormente un papel esencial para la producción sostenible de cultivos. Estas bacterias son una opción sustentable para favorecer la disponibilidad de nutrimentos, mejorar el crecimiento de las plantas e incrementar el rendimiento (Rodríguez *et al.*, 2020).

Los MPCV tienen diferentes características que ejercen efectos positivos en el crecimiento de las plantas a través de mecanismos directos e indirectos. Los principales mecanismos directos de

acción de los MPCV incluyen la movilización de nutrientes (P, Zn y Fe), la fijación de nitrógeno y la producción de fitohormonas. Además del biocontrol de patógenos mediante la producción de ACC-desaminasa, sideróforos, antibióticos, enzimas líticas, resistencia sistémica inducida e inducción de resistencia contra estreses abióticos como mecanismos indirectos de acción (Hakim *et al.*, 2021).

2.7.2 Bacterias fijadoras de nitrógeno. Hakim *et al.* (2021), nos dicen que la fijación biológica de nitrógeno, el proceso en el que las bacterias convierten el nitrógeno elemental en amoníaco, es una fuente alternativa de nitrógeno para las plantas.

Estas bacterias fijadoras de nitrógeno son de naturaleza ubicua y funcionan en diferentes condiciones ambientales. El aporte de nitrógeno al suelo a través de bacterias fijadoras de nitrógeno varía de 0 a 60 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Reghuvaran *et al.*, 2012) con una contribución estimada de 175 millones de toneladas métricas anuales que cubren el 70% de todo el nitrógeno fijo anual en la Tierra (Lodewyckx *et al.*, 2002).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno mejoran la actividad de la nitrogenasa del suelo, así como el crecimiento y la absorción de N en las plantas (Masood *et al.*, 2020).

2.7.3 *Bacillus amyloliquefaciens*. Rodríguez *et al.* (2020) Menciona que la bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*, tiene la capacidad de

promover el crecimiento y desarrollo de plantas de maíz a través de su capacidad fijadora de nitrógeno.

Estudios realizados refieren que *Bacillus amyloliquefaciens*, ha sido empleado como biocontrol de enfermedades de plantas causadas por microorganismos transmitidos por el suelo (Islam *et al.*, 2016).

Las cepas de *Bacillus amyloliquefaciens*, asociadas a las plantas, tienen la capacidad colonizar la rizosfera promover crecimiento y eliminar fitopatógenos competidores; por lo que se han utilizado como bioplaguicidas y biofertilizantes (Wu *et al.*, 2015).

2.8 Casos de éxito con el uso abonos orgánicos y biofertilizantes

Li *et al.* (2022) encontraron que la aplicación de compost de estiércol de vaca puede promover el crecimiento del maíz y mejorar la calidad del suelo en suelos salinos y alcalinos. Además, el aumento de la tasa de adición de compost de estiércol de vaca mejoró el contenido de materia orgánica y nutrientes del suelo, promoviendo así el crecimiento de los brotes y el rendimiento del maíz y que la aplicación de compost de estiércol de vaca aumentó el rendimiento del maíz en un 6,0 % a un 28,4 %.

Jjagwe *et al.* (2020) nos mencionan que no se encontró diferencia significativa el rendimiento del cultivo de maíz entre los tratamientos de fertilizantes de DAP, vermicompost, estiércol

almacenado bajo sombra, estiércol almacenado al aire libre y estiércol de ganado con la misma tasa de aplicación de nitrógeno, sin embargo, los rendimientos obtenidos en dichos tratamientos son mayores del obtenido con una fertilización convencional.

Olivares-Campos *et al.* (2012) tuvieron por resultados que al utilizar como tratamientos de fertilización composta y vermicomposta en un cultivo de lechuga obtuvieron mayor contenido de materia orgánica en el suelo en comparación con los tratamientos testigo y químico, ya que el efecto de la incorporación de composta y vermicomposta impactan directamente en el contenido de materia orgánica de los suelos.

En otro estudio se pudo observar que rendimiento del maíz estuvo influenciado por la vermicomposta de estiércol de ganado y la aplicación tradicional de composta ya que el rendimiento de grano en parcelas fertilizadas con vermicomposta de estiércol de ganado fue significativamente mayor que la fertilizada con compost tradicional en la etapa de cosecha (Guo *et al.*, 2015).

Fortis-Hernández *et al.* (2009) obtuvo como resultados de producción que la vermicompost con 64.38 Mg ha⁻¹ de forraje verde y 12.87 Mg ha⁻¹ de materia seca fue el mejor tratamiento evaluado en cultivo de maíz comparado contra un fertilizante químico y compost, además nos menciona que las variables de calidad bromatológica del maíz obtenidas, evidencian que la aplicación de

abonos orgánicos (biocompost y vermicompost), son una alternativa de fertilización viable para alcanzar niveles de calidad óptimos y sin contaminar el ambiente.

García-de la Paz *et al.* (2022). Encontró que al utilizar tratamientos que incluyen *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloliquefaciens* los valores de rendimiento seco en maíz no resultaron con diferencia estadística, sin embargo, ambos muestran resultados similares al tratamiento químico e incluso mayor en el caso del *Bacillus subtilis*.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y descripción del área de estudio

El experimento se llevó a cabo durante el ciclo agrícola primavera verano 2021 en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, ubicada en el ejido Venecia Durango con coordenadas $25^{\circ}47'08''$ de latitud al norte y $103^{\circ}20'44''$ de longitud al oeste, con una altura de 1 150 msnm. La precipitación pluvial es de 240 mm y la temperatura media anual de 20.7°C . Con suelo aridosol, tipo aluvi3n con textura migaj3n limosa.



FIGURA 1. Ubicaci3n del campo experimental.

3.2 Manejo del cultivo

3.2.1 Preparaci3n del suelo. Se utiliz3 un sistema de labranza convencional, que consisti3 en dos pasos de barbecho con arado de disco con el fin de incorporar restos de cosecha del cultivo

anterior, dos pasos de rastra; para destruir los terrones y formar una cama de siembra adecuada para la germinación de la semilla, así mismo se realizó el trazo de riego; con lo cual se delimito el área experimental y también se le dio un mejor aprovechamiento al agua de riego.

Se procedió a dar el primer riego, conocido como riego de aniego, dicho procedimiento se llevó a cabo con el método de agua rodada. 15 días después del riego se realizó nuevamente dos pasos de rastra.

3.2.2 Siembra. La siembra se llevó a cabo el día 13 de mayo del 2021, el material genético utilizado fue la variedad de maíz forrajero San Lorenzo, desarrollada en la Facultad de Agricultura Y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Dicha semilla se distribuyó de manera uniforme en las tolvas de la sembradora y se procedió a sembrar con una profundidad de 5 cm y una densidad de siete plantas por metro lineal.

3.2.3 Cuidados del cultivo. Durante el desarrollo del cultivo se dieron tres riegos de auxilio para de esta forma completar el requerimiento hídrico del maíz con láminas de riego de 15 cm. A su vez se llevó a cabo el control de malezas de forma manual.

3.3 Tratamientos evaluados.

Se determinó la implementación de siete tratamientos diferentes los cuales fueron evaluados durante la conducción de este experimento (cuadro 1).

CUADRO 1. TIPOS DE TRATAMIENTOS Y CONCENTRACIONES EVALUADAS.

	TRATAMIENTOS	CONCENTRACIÓN
1	Vermicomposta	10 ton ha ⁻¹
2	Vermicomposta	15 ton ha ⁻¹
3	Composta	60 ton ha ⁻¹
4	Composta	80 ton ha ⁻¹
5	Químico (Urea, DAP)	Nitrógeno 200 kg ha ⁻¹ Fósforo 80 kg ha ⁻¹
6	<i>Bacillus</i> <i>amyloliquefaciens</i>	1x10 ⁹ UFC ml ⁻¹
7	Blanco	-

3.3.1 Aplicación de tratamientos.

3.3.1.1 Vermicomposta. Dicho tratamiento fue aplicado directamente en la zona radicular de la planta, realizando manualmente pequeños surcos al lado de las plantas, esto se llevó a cabo 20 días después de la siembra, a cada unidad experimental se le aplicó la dosis correspondiente a su tratamiento.

3.3.1.2 Composta. fue aplicada 20 días antes de la siembra, la implementación se realizó de manera uniforme en cada unidad experimental correspondiente a cada tratamiento, fue incorporada al suelo de forma manual con ayuda de palas esto al momento de la aplicación y después se le dio un paso de rastra para una mejor incorporación.

3.3.1.3 Químico. El DAP constó de una aplicación 20 días después de la siembra, fue aplicado a nivel radicular, realizando pequeños surcos al lado de la planta. Mientras que la Urea se dividió en dos aplicaciones, la primera 20 días después de la siembra y la segunda 45 días después de la siembra, esto se realizó utilizando el mismo método que se utilizó con el DAP.

3.3.1.4 *Bacillus amyloliquefaciens*. Dicho tratamiento fue aplicado directamente sobre la semilla la cual fue embebida en medio líquido el cual contenía cepas de la bacteria las cuales se multiplicaron en medio de enriquecimiento YPG durante 24 horas, las semillas estuvieron sumergidas en el medio líquido al menos por 6 horas. Las semillas inoculadas con la bacteria fueron depositadas uniformemente en las tolvas de la sembradora procediendo después con la siembra de las mismas.

Cabe destacar que esta bacteria fue aislada en la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

3.4. Área Experimental.

El área de estudio tuvo una superficie total de 1,368 m², dividida en 21 parcelas experimentales de 6 metros de ancho por 10 metros de largo con una separación de 1 metro entre cada una de ellas. (Figura 2). La unidad experimental fue conformada por 8 surcos con una distancia de 0.75 metros entre ellos y 10 metros lineales.

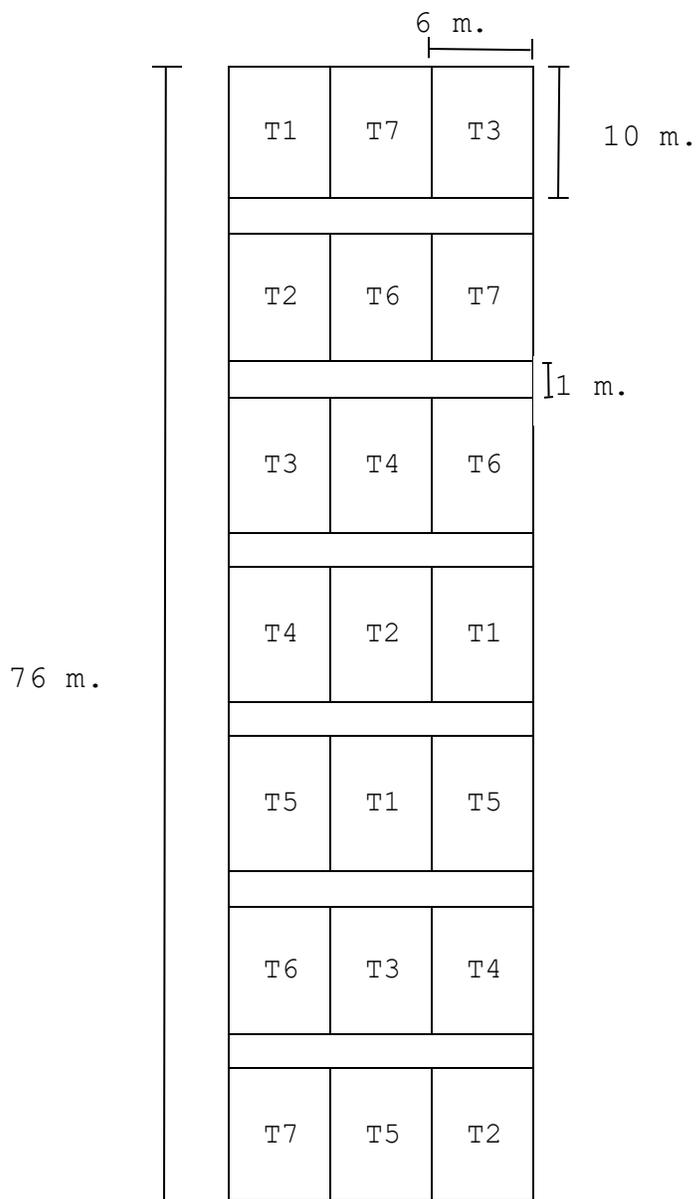


FIGURA 2. Croquis de campo con la distribución de tratamientos del área experimental.

3.5 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar, constando de tres repeticiones. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza utilizando comparación de medias DMS ($P \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) 2010.

3.5.1 Modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, T$ (tratamientos).

$j = 1, 2, \dots, R$ (repeticiones).

Y_{ij} = Valor observado en el i -ésimo tratamiento y la j -ésima repetición.

μ = Media general.

t_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto de la j -ésima repetición.

ϵ_{ij} = Error experimental.

3.6 Cosecha

Se llevó a cabo el 17 de agosto del 2021 cuando el maíz se encontraba en un tercio lechoso, se recolectaron 3 metros lineales de los 2 sucos centrales de cada unidad experimental, después se tomaron y almacenaron 3 plantas por cada unidad experimental para los análisis correspondientes. Esta práctica fue realizada manualmente con un hoz o rozadera y una cinta métrica.

3.7 Variables evaluadas

3.7.1 Variables en suelo. Se evaluaron condiciones químicas del suelo antes de establecer el cultivo y al finalizar la cosecha, las variables evaluadas fueron las siguientes:

3.7.1.1 Materia Orgánica. Por el método de Walkley y Black, en la cual se determina a través del carbono orgánico, basada en su oxidación. Para esta variable se utilizaron 0.5 gr de suelo seco y tamizado por una malla de 2 mm en el cual se agregaron diferentes reactivos como: 10 ml de dicromato de potasio, 20 ml de ácido sulfúrico y después de reposar 30 minutos se le agrego también 200 ml de agua destilada, 10 ml de ácido fosfórico y 20 gotas de difenilamina. El procedimiento termino al titular con sulfato ferroso y haciendo los cálculos correspondientes.

3.7.1.2 Conductividad Eléctrica. Realizado según las especificaciones en la NOM-021-RECNAT-2000, en la cual se utilizaron 400 gr de suelo seco y tamizado por una malla de 2 mm en un recipiente al cual se le agrego agua destilada hasta obtener una pasta que resbalara fácilmente de la espátula se dejó reposar por 24 horas y posteriormente se pasó a un embudo con papel filtro y con la ayuda de un matraz kitazato se realizó la filtración en una bomba de vacío, se recolecto el extracto y se midió con un conductímetro.

3.7.1.3 Nitrógeno en forma de nitratos y amonio. Se llevó a cabo según las especificaciones en la NOM-021-RECNAT-2000, para ambas variables se pesaron 10 gr de suelo seco y tamizado en una malla de 2 mm a la cual se le agregaron 50 ml de cloruro de potasio a la 2 N, de dicha mezcla previamente agitada por 30 minutos y dejada

reposando por otros 30 minutos se toman 20 ml de alícuota con una macro pipeta y se agregaron a tubos de destilación, en estos tubos fueron agregados oxido de magnesio y aleación de Devarda para los nitratos y para el amonio solo oxido de magnesio, fueron sometidos a destilación y posteriormente se realizó titulación con ácido clorhídrico al 0.005 N.

3.7.1.4 Fósforo. Realizado según las especificaciones en la NOM-021-RECNAT-2000 con el método de Olsen en este se utilizaron 2.5 gr de suelo seco y tamizado por una malla de 2 mm, este llevo a cabo realizando una curva de calibración en el espectrofotómetro y posteriormente pasando las muestras por este mismo.

3.7.1.5 potencial de Hidrogeno. Para la determinación de pH se utilizaron 10 gr. De suelo seco y tamizado por una malla de 2 mm. Medido potencio métricamente en la solución sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2.

Las muestras iniciales se tomaron de distintos sitios del área experimental, estas fueron conformadas por tres muestreos a diferentes profundidades: de 0-15 cm y de 15-30 cm (Cuadro 2).

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS INICIALES DEL SUELO DEL ÁREA EXPERIMENTAL DE FAZ-UJED 2021.

Profundidad (cm)	PH.	CE (ds m ⁻¹)	MO (%)	NO ₃ , NH ₄ , P		
				(mg kg ⁻¹)		
0-15	8.6	1.82	2.24	29.67	1.54	13.13
15-30	8.5	1.80	2.14	26.63	3.85	10.33

pH= potencial de hidrogeno; CE= Conductividad eléctrica; MO= Materia orgánica; NO₃= nitratos; NH₄= amonio; P= Fosforo

Para los análisis finales se consideraron dos profundidades 0-15 cm y 15-30 cm las cuales fueron recolectadas después de la cosecha en cada una de las unidades experimentales teniendo como total 42 muestras sometidas a los análisis antes mencionados.

3.7.2 Variables fenológicas.

3.7.2.1 Altura. Se realizó al término de la cosecha con una cinta métrica marca Truper de 50 metros.

3.7.2.2 Diámetro del tallo. Los diámetros fueron medidos al finalizar la cosecha con un calibrado vernier.

3.7.2.3 Peso en verde. Se tomaron plantas completas de la cosecha y se pesaron una a una con una báscula manual digital marca Truper.

3.7.2.4 Peso en seco. Las muestras recolectadas se dejaron en un ambiente seco hasta perder la máxima cantidad de humedad, después fueron cortadas y colocadas en bolsas de papel, fueron etiquetadas y puestas en una estufa a 100°C hasta peso constante.

3.7.3 Variables bromatológicas. Las muestras recolectadas constaron de 3 plantas por unidad experimental, estas fueron secadas y trituradas hasta llegar a una granulometría adecuada para después ser sometidas a los siguientes análisis.

3.7.3.2 Fibras ácido detergentes. En esta técnica se colocaron 0.5 gr de muestra en vasos Berzelius con 100 ml de la solución de FAD y se colocan en el aparato de fibra cruda, contando una hora desde su ebullición, después se filtró el contenido utilizando papel filtro Whatman no. 541, se lavó el residuo con agua caliente y acetona, se dobló el papel filtro y se metió en el horno de aire a 100°C por 24 horas, después de las 24 horas las muestras se metieron por 30 minutos a un desecador de vidrio y para finalizar se tomó su peso.

3.7.3.3 Fibras neutro detergentes Se colocaron 0.5 gr de muestra en vasos Berzelius con 100 ml de la solución de FND y se colocan en el aparato de fibra cruda, contando una hora desde su ebullición, después se filtró el contenido utilizando papel filtro Whatman no. 541, se lavó el residuo con agua caliente y acetona, se dobló el papel filtro y se metió en el horno de aire a 100°C por 24 horas, después de las 24 horas las muestras se metieron por 30 minutos a un desecador de vidrio y para finalizar se tomó su peso.

3.7.3.4 Proteína cruda. La determinación de proteína cruda consta de tres fases; digestión, destilación y titulación.

Se colocaron 0.5 gr de la muestra junto con dos catalizadores 0.4 gr de sulfato cúprico y 3.5 gr de sulfato, también se le agregaron 15 ml de ácido sulfúrico y se colocaron en el digestor por una hora, después de esto se dejó enfriar un poco la muestra y se le agrego 300 ml de agua destilada, la muestra se pasó a un tubo de destilación y se le agregaron 40 ml de hidróxido de sodio, se colocó un matraz Erlenmeyer con ácido bórico para recolectar la muestra y se procedió con la destilación, para finalizar la muestra se tituló con ácido clorhídrico al 0.1 N.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en suelo con profundidad de 0-15 cm en las variables de MO (materia orgánica), P(fósforo), NO_3 (nitratos) y NH_4 (amonio). No se observaron diferencias en pH (potencial de Hidrogeno) y CE (conductividad eléctrica) (Cuadro 3).

CUADRO 3. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA TRATAMIENTOS EVALUADOS EN VARIABLES DE SUELO CON UNA PROFUNDIDAD DE 0 A 15 CM EN CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO.

TRAT	pH	CE (ds m^{-1})	MO (%)	P		
				NO_3 (mg kg^{-1})	NH_4	
VC10	8.30 a	1.20 a	1.87 ab	9.90 abc	12.87 bc	6.03 ab
VC15	8.35 a	1.18 a	1.87 ab	12.98 abc	11.54 bc	6.03 Ab
C60	8.34 a	1.42 a	1.49 ab	25.03 a	11.71 bc	6.53 ab
C80	8.32 a	1.27 a	2.75 a	24.37 ab	23.24 a	6.03 ab
Q	8.31 a	1.42 a	0.94 b	8.40 abc	8.19 c	3.51 b
BBA	8.21 a	1.45 a	0.98 b	3.74 c	13.57 b	7.03 a
B	8.31 a	1.26 a	0.73 b	5.32 bc	12.07 bc	6.53 ab

Letras diferentes dentro de columnas indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), TRAT= tratamientos; VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; pH= potencial de Hidrogeno; CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica; P= fósforo; NO_3 = nitratos; NH_4 = amonio.

El mayor contenido de MO (2.75%) en suelo con profundidad de 0 a 15 cm es en el cual se utilizó como tratamiento Composta 80 ton ha^{-1} siendo superior en un 65% y 76% al tratamiento Químico y al Blanco respectivamente (Figura 3).

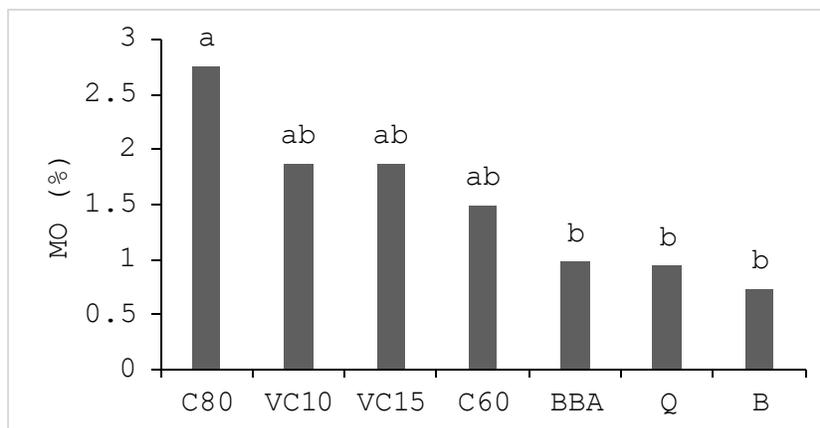


FIGURA 3. Comparación de medias para la variable de Materia Orgánica (%) en suelo de 0 a 15 cm de profundidad.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; MO= materia orgánica.

Se encontraron porcentajes similares de MO (2.21%) al incorporar 40 ton ha^{-1} de estiércol de bovino en cultivo de maíz forrajero (Salazar *et al.*, 2007). Diversas investigaciones reportan el incremento de materia orgánica en suelo por el aporte de abonos orgánicos como composta y vermicomposta lo cual refleja un beneficio sobre los tratamientos químicos (Jiménez-Ortiz *et al.*, 2019; Olivares-Campos *et al.*, 2012). Kwiatkowski *et al.* (2020) nos dicen que el efecto de la incorporación de abonos orgánicos impacta directamente en el contenido de materia orgánica de los suelos manifestándose en una alta fertilidad natural además de tener efectos positivos en características físicas y químicas del suelo.

Para el P el tratamiento de Composta 60 ton ha^{-1} resultó ser el mayor en base a la comparación de medias, estando por encima

del tratamiento Químico y el Blanco con un 66% y 78% respectivamente (Figura 4).

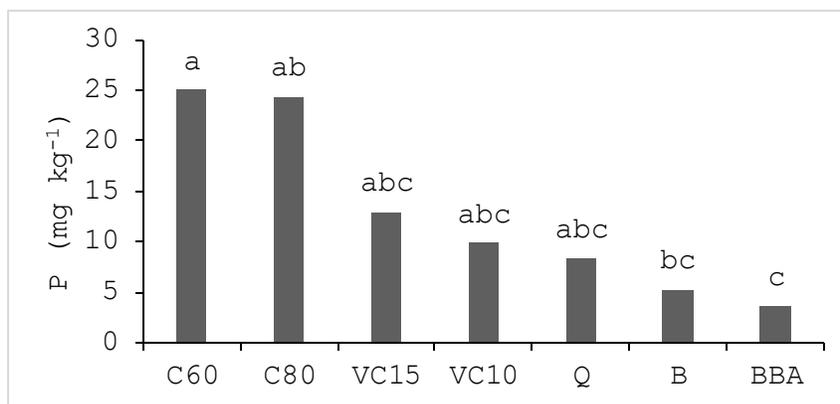


FIGURA 4. Comparación de medias para la variable de Fósforo (mg kg^{-1}) en suelo de 0 a 15 cm de profundidad.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; P= fósforo.

Los valores obtenidos son similares a los reportados por Fortis *et al.* (2009) quienes encontraron que al utilizar composta registraron 27.6 mg kg^{-1} de fósforo al final de un ciclo de cultivo de maíz forrajero. Ávalos *et al.* (2018) encontraron una mayor concentración de fósforo en suelo de las parcelas en las cuales se aplicó 80 ton ha^{-1} de estiércol bovino composteado. Así mismo Jiménez-Ortiz *et al.* (2019) nos dicen en sus estudios que el contenido de Fósforo en suelo durante el ciclo otoño-invierno fue mayor en los tratamientos en donde se aplicó estiércol composteado de 30 y 45 ton ha^{-1} con relación a los tratamientos sin

fertilización y con fertilización química. Esto podría deberse a que, según Félix et al., (2008) la aplicación de materia orgánica mejora la estructura del suelo, aporta y mantiene nutrientes para próximos cultivos.

Para la variable de NO_3 se obtuvo como resultado una mayor concentración en el suelo fertilizado con composta 80 ton ha^{-1} estando por encima del tratamiento químico en un 65% con una concentración de 23.24 mg kg^{-1} y 8.19 mg kg^{-1} respectivamente (Figura 5).

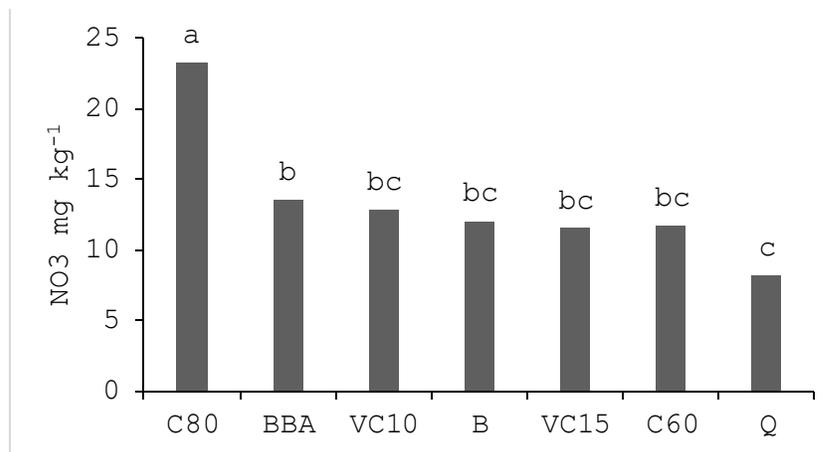


FIGURA 5. Comparación de medias para la variable de Nitratos (mg kg^{-1}) en suelo de 0 a 15 cm de profundidad.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; NO_3 = nitratos.

La concentración de nitratos al inicio del cultivo fue de 29.67 mg kg^{-1} , para el muestreo final la concentración más alta la obtuvo el tratamiento en el cual de aplicaron 80 ton ha^{-1} de

composta (25.4 mg kg^{-1}), esta disminución podría deberse a lo indicado por Li *et al.* (2003) y Quezada *et al.* (2007) los cuales nos dicen que la disminución de nitratos, en el suelo, se debe al consumo de la planta y de la biota del suelo y, muy probablemente, a la eficiencia del sistema de riego, que mejoró el transporte de nitratos por los microporos. Resultados similares nos reportan Gonzales-Salas *et al.* (2018), que al aplicar 160 ton ha^{-1} de estiércol solarizado con 3 ton ha^{-1} de vermicomposta en maíz forrajero obtuvieron una concentración de NO_3 de 25.4 mg kg^{-1} , dicho valor fue encontrados en el mismo estrato del suelo (0-15 cm). Fortis *et al.* (2009) nos mencionan en su investigación en maíz forrajero la mayor concentración de nitratos en todos los tratamientos se encontró en los primeros estratos porque es ahí donde las condiciones de temperatura, aeración y humedad favorecen la actividad enzimática.

En el caso del NH_4 el tratamiento con la Bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* mostro una mayor concentración, seguida por la composta 60 ton ha^{-1} , además de eso el tratamiento químico fue el que obtuvo menor concentración en un 50% en comparación con el tratamiento de BBA.

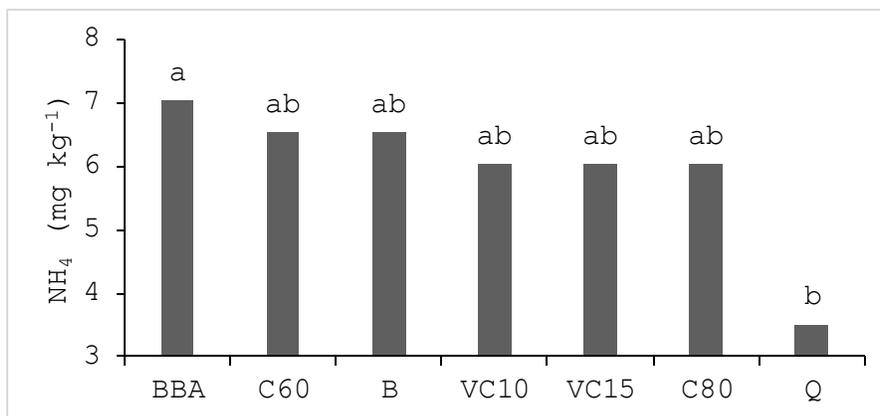


FIGURA 6. Comparación de medias para la variable de Amonio (mg kg^{-1}) en suelo de 0 a 15 cm de profundidad.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; NH_4 = amonio.

Ávalos *et al.* (2018) nos dice que al aplicar bioinoculante se incrementó la concentración de N inorgánico en el suelo, lo anterior indica que los microorganismos incluidos en el bioinoculante promovieron una mayor mineralización de N de la MO del suelo. Por su parte Trejo-Escareño *et al.* (2013) mencionan en su investigación que el nitrógeno amoniacal proveniente de la mineralización del estiércol aplicado en los tratamientos dio como resultado que la concentración de amonio no rebasó 13.7 mg kg^{-1} ya que, bajo condiciones de temperatura ambiente cálida, las bacterias nitrificantes son más eficientes.

Estos resultados podrían deberse a que los organismos del suelo son responsables de la transformación de N en formas disponibles para la planta, controlando el proceso de

mineralización de N. Las bacterias del suelo son responsables de la inmovilización y mineralización de N del suelo y de los procesos que controlan el suministro de amonio NH_4 y nitrato NO_3 para las plantas (He y Zhang, 2014).

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las variables de pH (potencial de Hidrogeno) y CE (conductividad eléctrica) en suelo con profundidad de 15 a 30 cm. No se observaron diferencias en MO (materia orgánica), P (fósforo), NO_3 (nitratos) y NH_4 (amonio) (Cuadro 4).

CUADRO 4. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA TRATAMIENTOS EVALUADOS EN VARIABLES DE SUELO CON UNA PROFUNDIDAD DE 15 A 30 CM EN CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO.

TRAT	pH	CE (ds m^{-1})	MO (%)	P		
				NO3 (mg kg^{-1})	NH4	
VC10	8.20 b	1.03 ab	1.58 a	9.81 a	8.54 a	3.01 a
VC15	8.31 ab	0.86 b	1.56 a	6.63 a	7.54 a	8.04 a
C60	8.34 ab	1.13 ab	0.76 a	9.06 a	13.57 a	7.03 a
C80	8.38 a	1.03 ab	1.01 a	15.31 a	11.56 a	5.53 a
Q	8.43 a	1.45 a	1.06 a	10.93 a	13.57 a	7.54 a
BBA	8.33 ab	1.19 ab	1.90 a	2.90 a	9.04 a	5.52 a
B	8.41 a	1.15 ab	1.15 a	3.55 a	12.06 a	5.02 a

Letras diferentes dentro de columnas indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), TRAT= tratamientos; VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; pH= potencial de Hidrogeno; CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica; P= fósforo; NO_3 = nitratos; NH_4 = amonio.

El tratamiento químico mostro un valor superior de pH (8.43) en comparación con los abonos orgánicos utilizados, siendo los tratamientos con vermicomposta los que resultaron menores.

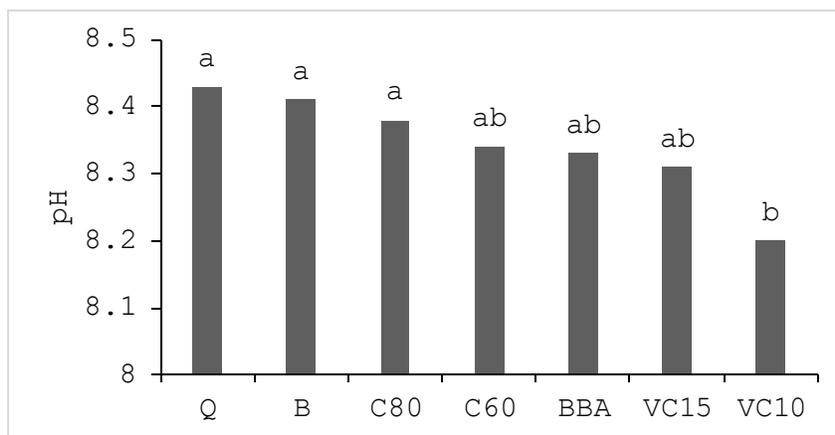


FIGURA 7. Comparación de medias para la variable de potencial de Hidrogeno en suelo con una profundidad de 15 a 30 cm.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha⁻¹; VC15= vermicomposta 15 ton ha⁻¹; C60= composta 60 ton ha⁻¹; C80= composta 80 ton ha⁻¹; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; pH= potencial de Hidrogeno.

Salazar-Sosa *et al.* (2010) obtuvieron un pH que fluctuó entre 7.5 y 8.6, utilizando estiércol bovino en diferentes concentraciones, rango de valores en los cuales se encuentran los resultados obtenidos en este estudio.

Por su parte Ávalos *et al.* (2018) encontraron que al utilizar estiércol 80 ton ha⁻¹ obtuvieron como resultado un pH de 8.14 el cual fue superior al tratamiento en el que aplicaron 5 ton ha⁻¹ de vermicomposta, siendo este tratamiento el que mantuvo el pH más bajo, resultado similar al nuestro ya que el tratamiento que consto de 10 ton ha⁻¹ de vermicomposta fue el que obtuvo igualmente el pH

más bajo. Huang y Chen (2009) encontraron, que el pH del suelo disminuía a medida que la dosis de enmienda orgánica aumentaba. Estos autores atribuían este efecto al aumento de amonificación que se da cuando se aportan enmiendas orgánicas al suelo.

La CE fue mayor en el tratamiento químico siendo nuevamente un tratamiento con vermicomposta el más bajo en esta variable.

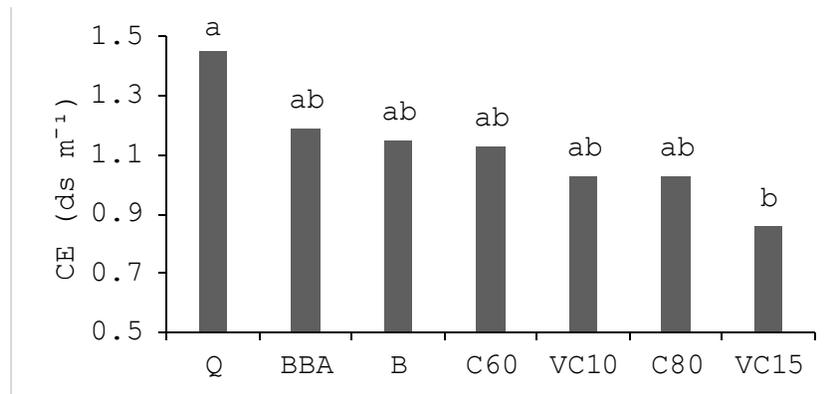


FIGURA 8. Comparación de medias para la variable de conductividad eléctrica (ds m⁻¹) en suelo con una profundidad de 15 a 30 cm.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha⁻¹; VC15= vermicomposta 15 ton ha⁻¹; C60= composta 60 ton ha⁻¹; C80= composta 80 ton ha⁻¹; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; CE= conductividad eléctrica.

Grieve *et al.* (2012) nos dicen que el maíz forrajero tiene un valor límite de tolerancia a la salinidad del suelo de 1.7 dS m⁻¹, a partir de ese valor, el rendimiento se ve afectado y disminuye en 7.4% por cada unidad que se incremente la Conductividad eléctrica, nuestros valores oscilan entre 0.86 a 1.45 dS m⁻¹, por lo cual se encuentran en un rango óptimo y aceptable. Clark *et al.* (2007) encontraron que la aplicación de enmiendas orgánicas como

composta y vermicomposta no tuvieron efecto sobre la conductividad eléctrica en suelo.

No se observaron diferencias en las variables fenológicas peso de planta y diámetro de tallo (Cuadro 5). Sin embargo, se observó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la variable de altura de planta.

CUADRO 5. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIABLES FENOLÓGICAS EVALUADAS EN PLANTA DE MAÍZ FORRAJERO.

TRATAMIENTOS	ALTURA DE PLANTA (m)	PESO DE PLANTA (Kg)	DIÁMETRO DE TALLO (cm)
VC10	3.2 a	0.934 a	2.49 a
VC15	3.12 ab	0.946 a	2.52 a
C60	3.02 ab	0.939 a	2.60 a
C80	3.04 ab	0.856 a	2.38 a
Q	2.97 ab	0.888 a	2.38 a
BBA	2.84 b	0.717 a	2.37 a
B	3.04 ab	0.719 a	2.36 a

Letras diferentes dentro de columnas indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha⁻¹; VC15= vermicomposta 15 ton ha⁻¹; C60= composta 60 ton ha⁻¹; C80= composta 80 ton ha⁻¹; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco.

La mayor altura de planta fue para el tratamiento con Vermicomposta de 10 ton ha⁻¹ siendo superior al tratamiento químico en un 8% (Figura 9).

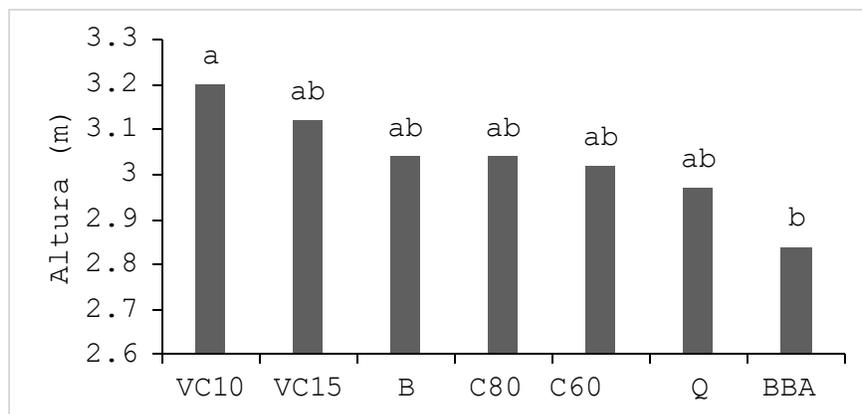


FIGURA 9. Comparación de medias para la variable de altura (m) en planta de maíz forrajero.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco.

De Luna-Vega *et al.* (2016) encontraron diferencias altamente significativas en la altura de planta de maíz, entre tratamientos de abonos orgánicos con y sin fertilización inorgánica siendo los abonos sobresalientes la composta y la vermicomposta al registrar valores de 2.61 m para ambos, estos resultados fueron menores que los obtenidos en este experimento (3.20 m). Además, Ortiz-Díaz *et al.* (2022) obtuvieron como resultados que el tratamiento que aplicaron en maíz forrajero que consto de 100 t ha^{-1} de estiércol presentó la mayor altura de su experimento con 2.04 m. La altura de planta es un indicador importante de las diferencias entre los tratamientos de fertilización aplicados (Lazo *et al.*, 2014).

No se observaron diferencias significativas en las variables RFS (rendimiento de forraje seco) y RFV (rendimiento de forraje verde) (Cuadro 6). Sin embargo, se encontraron resultados mayores a los reportados por Ortiz-Díaz *et al.* (2022) quienes encontraron que al utilizar una dosis de 50 ton ha⁻¹ de estiércol bovino obtuvieron como resultados de rendimientos promedio de forraje verde y seco, con 75.29 y 24.21 ton ha⁻¹.

CUADRO 6. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA VARIABLES DE RENDIMIENTO SECO Y RENDIMIENTO VERDE EVALUADAS EN MAÍZ FORRAJERO.

TRATAMIENTOS	RFS (ton ha⁻¹)	RFV (ton ha⁻¹)
VC10	28.54 a	87.26 a
VC15	27.18 a	79.19 a
C60	31.57 a	91.11 a
C80	28.43 a	83.04 a
Q	27.60 a	78.07 a
BBA	26.98 a	77.20 a
B	21.09 a	64.17 a

Letras iguales dentro de columnas indican valores estadísticamente iguales de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha⁻¹; VC15= vermicomposta 15 ton ha⁻¹; C60= composta 60 ton ha⁻¹; C80= composta 80 ton ha⁻¹; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; RFS= rendimiento de forraje seco; RFV= rendimiento de forraje verde.

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las variables bromatológica del maíz tales como: FND (fibras neutro detergentes) y FAD (fibras ácido detergentes). No se observaron diferencias en PC (proteína cruda) (Cuadro 7).

CUADRO 7. COMPARACIÓN DE MEDIAS DE VARIABLES BROMATOLÓGICAS EVALUADAS EN MAÍZ FORRAJERO.

TRATAMIENTOS	PC (%)	FND (%)	FAD (%)
VC10	7.87 a	59.34 ab	31.05 ab
VC15	8.28 a	64.39 a	28.52 b
C60	8.04 a	58.01 ab	32.37 ab
C80	7.81 a	63.52 a	39.15 a
Q	7.81 a	59.35 ab	30.26 ab
BBA	7.98 a	57.7 ab	30.41 ab
B	7.93 a	56.76 b	33.28 ab

Letras diferentes dentro de columnas indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha⁻¹; VC15= vermicomposta 15 ton ha⁻¹; C60= composta 60 ton ha⁻¹; C80= composta 80 ton ha⁻¹; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; PC= proteína cruda; FND= fibras neutro detergentes; FAD= fibras ácido detergentes.

Para la variable del porcentaje de FND se observa que el mejor tratamiento es el de vermicomposta 15 ton ha⁻¹ siendo superior al tratamiento químico y al blanco absoluto con un 8 y un 12 % respectivamente (Figura 10), para la variable de porcentaje de FAD el mejor tratamiento fue el de composta 60 ton ha⁻¹ en la cual se obtuvo un valor de 39.15%, estando por encima del tratamiento químico en un 22% (Figura 11).

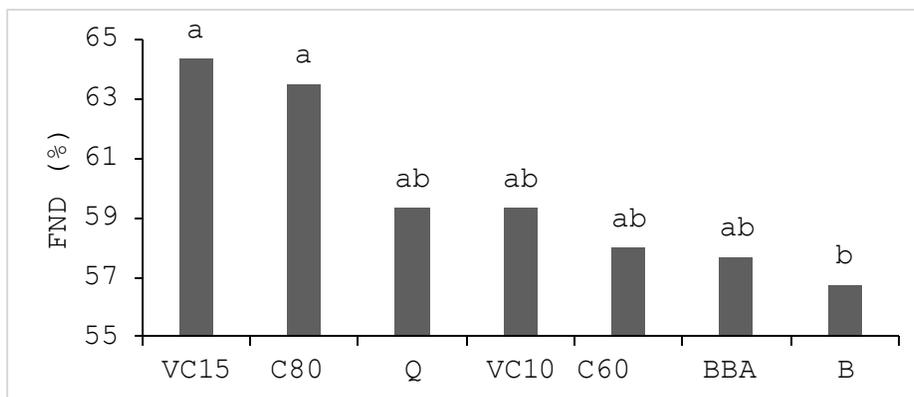


FIGURA 10. Comparación de medias para la variable de Fibras Neutro Detergentes (%) en maíz forrajero.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; FND= fibras neutro detergentes.

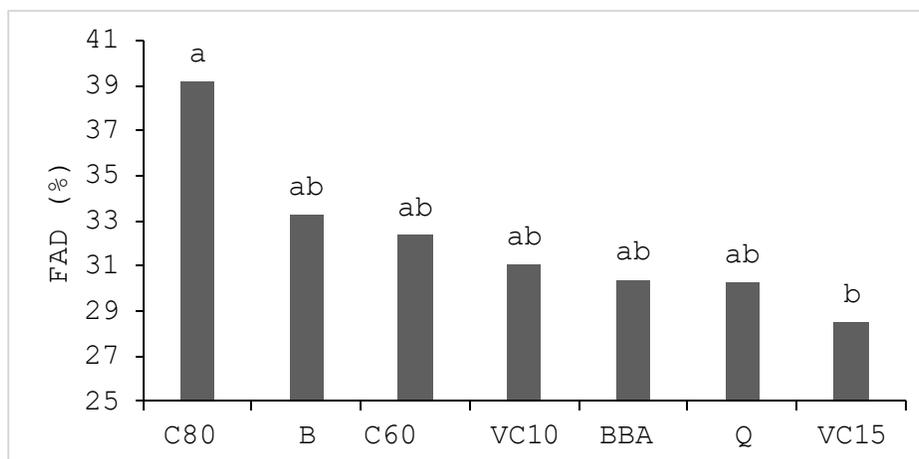


FIGURA 11. Comparación de medias para la variable de Fibras Ácido Detergentes (%) en maíz forrajero.

*Letras diferentes indican valores estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($P \leq 0.05$), VC10= vermicomposta 10 ton ha^{-1} ; VC15= vermicomposta 15 ton ha^{-1} ; C60= composta 60 ton ha^{-1} ; C80= composta 80 ton ha^{-1} ; Q= químico; BBA= bacteria *Bacillus amyloliquefaciens*; B= blanco; FAD= fibras ácido detergentes.

En un estudio realizado en la Comarca Lagunera en el cual se aplicaron tratamientos químicos con una dosis de 300-80-00 durante la primavera y 280-80-00 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio

durante el verano durante 3 años se obtuvo como resultado un porcentaje de FND de 45.19% y 30.04% para FAD estando por debajo de los mayores resultados presentados de este estudio en un 30% para FND y 23 % para FAD (Granados-Niño *et al.*, 2022).

Fortis *et al.* (2009) encontró con respecto a la fibra ácida detergente, el mejor resultado fue para el tratamiento en el cual utilizo composta con 28.68%, en cuanto a fibra neutro detergente, los valores más altos son el tratamiento con fertilización química con 52.18%.

Salazar *et al.* (2007) reportan valores de 28% con aplicaciones de 40 Mg ha⁻¹ de estiércol bovino en la misma variedad de semilla (San Lorenzo) utilizada en este estudio.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir que el uso de abonos orgánicos como fuente de fertilización (composta y vermicomposta) en cultivo de maíz demostraron ser una alternativa para mejora algunas características de calidad bromatológica, además de mostrar mejores condiciones químicas en el suelo al finalizar el cultivo y así mismo mantener un rendimiento competitivo en comparación con fertilizantes de síntesis química.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu Cruz, Enildo, Araujo Camacho, Evencio, Rodríguez Jimenez, Sergio Luis, Valdivia Ávila, Aymara Luisa, Fuentes Alfonso, Leticia, & Pérez Hernández, Yunel. 2018. Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annuum*. *Centro Agrícola*, 45(1), 52-61.
- Andrade-Sifuentes A, Fortis-Hernández M, Preciado-Rangel P, Orozco-Vidal JA, Yescas-Coronado P, Rueda-Puente EO. 2020 *Azospirillum brasilense* and Solarized Manure on the Production and Phytochemical Quality of Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomy*. 2020; 10(12):1956. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121956>
- Ansari, R. A., & Mahmood, I. 2017. Optimization of organic and bio-organic fertilizers on soil properties and growth of pigeon pea. *Scientia Horticulturae*, 226, 1-9.
- Arévalo, G., Castellano, M. 2009. Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 57p.
- Ávalos de la Cruz, M. A., Figueroa Viramontes, U., García Hernández, J. L., Vázquez, C., Gallegos Robles, M. A., & Orona Castillo, I. 2018. Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova scientia*, 10(20), 170-189.

Ávarez-Solís, J. D., Gómez-Velasco, D. A., León-Martínez, N. S., & Gutiérrez-Miceli, F. A. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44(5), 575-586.

Bajsa, N.; Morel, M. A.; Braña, V. and Castro-Sowinski, S. 2013. The effect of agricultural practices on resident soil microbial communities: focus on biocontrol and biofertilization. *Mol. Microbial Ecol. Rhizosphere*. 2:687-700.

BEDNAR, M. and SARAPATKA, B. 2018. Relationships between physical-geographical factors and soil degradation on agricultural land. *Environmental Research*, 164: 660-668.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.042>

Chen, J., Lü, S., Zhang, Z., Zhao, X., Li, X., Ning, P., & Liu, M. 2018. Environmentally friendly fertilizers: A review of material used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*, 613,829-839.

Chichipe Puscan, A., & Oliva, M. 2017. Efecto de abonos orgánicos en el rendimiento de variedades de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) en Quipachacha, distrito Levanto, Chachapoyas - Amazonas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*.

- Chowdhury, R. 2004. Effects of chemical fertilizers on the surrounding environment and the alternative to the chemical fertilizers. IES-ENVIS Newsl, 7, 4-5.
- Clark, G.J., N. Dodgshun, P.W.G. Sale y C. Tang. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. Soil Biol. Biochem. 39, 2806-2817. Doi: 10.1016/j.soilbio.2007.06.003
- Consilla Donaire, M., Arias Segura, J., & Rodríguez Sáenz, D. 2022. Aumenta 137% el valor de las importaciones de fertilizantes químicos de América Latina y el Caribe en 2022. Blog IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21235>
- Delgado-Baquerizo, M.; Maestre, F. T.; Reich, P. B.; Jeffries, T. C.; Gaitan, J. J.; Encinar, D.; Berdugo, M.; Campbell, C. D. and Singh, B. K. 2016. Microbial diversity drives multifunctionality in terrestrial ecosystems. Nat. Comm. 7(1):1-8.
- De Luna-Vega, A., Garcia-Sahagun, M. L., Rodriguez-Guzman, E. y Pimienta-Barrios, E. Evaluación de composta, vermicomposta y excreta de bovino en la producción de maíz (Zea mays l.).2016. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 3-8: 46-52.

- Diacono, M., & Montemurro, F. 2015. Effectiveness of organic wastes as fertilizers and amendments in salt-affected soils. *Agriculture*, 5(2), 221-230.
- Díaz-Rodríguez, A. M.; Salcedo, L. A.; Felix, C. M.; Parra-Cota, F. I.; Santoyo, G.; Puente, M. L.; Bhattacharya, D.; Mukherjee, J. and De los Santos, V. S. 2021. The current and future role of microbial culture collections in food security worldwide. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:614739.
- Dohrmann, A. B.; Küting, M.; Jünemann, S.; Jaenicke, S.; Schlüter, A. and Tebbe, C. C. 2013. Importance of rare taxa for bacterial diversity in the rhizosphere of Bt-and conventional maize varieties. *The ISME journal.* 7(1):37-49.
- FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT Database.
- FAO. (2002). World Fertilizer use Manual, IFA, Paris, 632p. Página Web <http://www.fertilizer.org>.
- FIRA. (2016). Panorama agroalimentario. México: Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Orona-Castillo, I., García-Salazar, J. A., García-Hernández, J.

L., Orozco-Vidal, J. A. 2009. Aplicación de abonos organicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. Terra Latinoamericana [en línea]., 27 (4), 329-336. ISSN: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313040007>

García-de la Paz, Nery Cecilia, Miguel Ángel Gallegos-Robles, Uriel González-Salas, Lucio Rodríguez-Sifuentes, Sarai Shesareli Mendoza-Retana, y Roberto Sánchez-Lucio. 2022. «Potencial De Bacillus Nativos De La Comarca Lagunera Como Biofertilizante En La producción De maíz Forrajero». Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas 13 (28). México, ME:253-61. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3280>.

García Sepúlveda, J.L., Cueto Wong, J. A., Figueroa Viramontes, U. y Reta Sánchez, D. G. 2019. Inhibidor de la nitrificación DMPP en la fertilización del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol. 10, 13.

González Cortés, J. C., Ramírez Mandujano, C. A., & Avila Bautista, A. 2017. Aplicación de vermicomposta y producción de biomasa en cultivo de maíz de temporal. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 5(2), 27-34. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v5i2.106>

González-Salas, Uriel, Gallegos-Robles, Miguel Ángel, Vázquez-Vázquez, Cirilo, García-Hernández, José Luis, Fortis-Hernández, Manuel, &

- Mendoza-Retana, Sarai Shesareli. 2018. Productividad de genotipos de maíz forrajero bajo fertilización orgánica y propiedades físico-químicas del suelo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(spe20), 4331-4341. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.1002>
- Granados-Niño, J. A., Sánchez-Duarte, J. I., Ochoa-Martínez, E., Rodríguez-Hernández, K., Reta-Sánchez, D. G., & López-Calderón, M. J. (2022). Efecto del ciclo de producción sobre el potencial de rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(SPE28), 207-217
- Grieve, C. M., Grattan, S. R., y Mass, E. V. 2012. Plant salt tolerance. In: Wallender, W. W. y Tanji, K. K. (Eds.) *Agricultural salinity assessment and management*. 2nd. Ed. American Society of Civil Engineers. Page 405-459.
- Guo, L., Wu, G., Li, C. 2015. El vermicompostaje con maíz aumenta los beneficios agrícolas en un 304 %. *Agron. Sostener. desarrollo* 35, 1149-1155. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0307-0>
- Hakim S., Naqqash T., Nawaz M. S., Laraib I., Siddique M. J., Zia R., Mirza M., Imran A. 2021. Rhizosphere Engineering With Plant Growth-Promoting Microorganisms for Agriculture and Ecological

Sustainability. Front Sustain. Food Syst. 5:617157. doi:
10.3389/fsufs.2021.617157

Hernández-Rodríguez, O., Ojeda-Barrios, D., López-Díaz, J. C., y Arras-
Vota, A. M. 2010. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades
físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia Chihuahua*,
vol. 4, 6.

Huang, C.C. y Z.S. Chen. 2009. Carbon and nitrogen mineralization of
sewage sludge compost in soils with a different initial pH. *Soil
Sci. Plant Nutr.* 55, 715-724. Doi: 10.1111/j.1747-0765.2009.00410

INTAGRI. 2016. Los Abonos Orgánicos. Beneficios, Tipos y Contenidos
Nutrimentales Extraído de
[https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/los-
abonos-organicos-beneficios-tipos-y-contenidos-nutrimentales](https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/los-abonos-organicos-beneficios-tipos-y-contenidos-nutrimentales) -

International fertilizer association (IFA). 2017. Assessment of
fertilizer use by crop at the global level. 2014/2015.
Disponible en <http://bcn.cl/28ziw>.

Islam, S., Akanda, A. M., Prova, A., Islam, M. T., and Hossain, M. M.
2016. Isolation and identification of plant growth promoting
rhizobacteria from cucumber rhizosphere and their effect on plant
growth promotion and disease suppression. *Front. Microbiol.* 6:1360.
doi: 10.3389/fmicb.2015.01360

Jaime Calderón, F. E., Castro Guerra, J. W., & Orlando Lucio, D. A. 2020. IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO POR EL INADECUADO USO DE FERTILIZANTES QUIMICOS EN CULTIVOS DE MAÍZ. UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria. ISSN 2602-8166, 3(1), 61-72. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v3.n1.2019.128>

Jiménez Ortiz, Manuela Margarita, Gómez Álvarez, Regino, Oliva Hernández, Jorge, Granados Zurita, Lorenzo, Pat Fernández, Juan Manuel, & Aranda Ibáñez, Emilio Manuel. 2019. Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *Nova scientia*, 11(23), 00009. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1957>

Jjagwe, J.; Chelimo, K.; Karungi, J.; Komakech, A.J.; Lederer, J. 2020. Comparative Performance of Organic Fertilizers in Maize (*Zea mays* L.) Growth, Yield, and Economic Results. *Agronomy*. 10, 69. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010069>

Ju, X. T., Xing, G. X., Chen, X. P., Zhang, S. L., Zhang, L. J., Liu, X. J., ... & Zhang, F. S. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(9), 3041-3046.

Kumar, A., and Dubey, A. 2020. Rhizosphere microbiome: Engineering bacterial competitiveness for enhancing crop production. *J. Adv. Res.* 24, 337-352. doi: 10.1016/j.jare.2020.04.014

Kwiatkowski, C.; Harasim, E.; Staniak, M. 2020. Effect of catch crops and tillage systems on some chemical properties of loess soil in a short-term monoculture of spring wheat. *Journal of Elementology* 25(1): 35-43.

Larsen, J, Jaramillo-López, P, Nájera-Rincon, M, & González-Esquivel, C.E. 2015. Biotic interactions in the rhizosphere in relation to plant and soil nutrient dynamics. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 449-463. Epub 30 de abril de 2015.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000039>

Lazo, J., J. Ascensio, J. Ugarte L. Yzaguirre. 2014. Efecto del humusbol (humato doble de potasio y fósforo) en el crecimiento del maíz en fase vegetativa. *Bioagro* 26(3): 143-152.

Li, J., J. Zhang, and L. Ren. 2003. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. *Irrig. Sci.* 22: 19-30.

Li, S.; Liu, Z.; Li, J.; Liu, Z.; Gu, X.; Shi, L. 2022. Cow Manure Compost Promotes Maize Growth and Ameliorates Soil Quality in Saline-Alkali Soil: Role of Fertilizer Addition Rate and

Application Depth. Sustainability. 14, 10088.

<https://doi.org/10.3390/su141610088>

Libreros, S. S. 2012. La caña de azúcar fuente de energía: Compostaje de residuos industriales en Colombia. *Tecnicaña*, vol. 28, pp. 13-14. ISSN 0123-0409.

Lodewyckx, C., Vangronsveld, J., Porteous, F., Moore, E. R., Taghavi, S., Mezgeay, M., et al. 2002. Endophytic bacteria and their potential applications. *Crit. Rev. Plant Sci.* 21, 583-606. doi: 10.1080/0735-260291044377

López Mtz., José Dimas; Díaz Estrada, Antonio; Martínez Rubin, Enrique; Valdez Cepeda, Ricardo D. 2001 Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*, vol. 19, 8.

Lovaisa, N.C. & Guevara, E.E. & Delaporte-Quintana, P.G.A. & Elías, Juliana & Arroyo, J. & Salazar, Sergio. 2018. Efecto de la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal en plantas de maíz (*Zea mays* L.). 38. 33-38. https://www.researchgate.net/publication/328094705_Efecto_de_la_inoculacion_con_bacterias_promotoras_del_crecimiento_vegetal_en_plantas_de_maiz_Zea_mays_L

Mahmood, Faisal, Khan, Imran, Ashraf, Umair, Shahzad, Tanvir, Hussain, Sabir, Shahid, Muhammed, Abid, Muhammad, & Ullah, Sami. 2017. Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(1), 22-32. Epub 00 de marzo de 2017.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000002>

Martínez Reyes, L., Aguilar Jiménez, C. E., Carcaño Montiel, M. G., Galdámez, J., Morales Cabrera, J. A., Martínez Aguilar, F. B., Llaven Martínez, J., & Gómez Padilla, E. 2018. Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* l.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 026-037.

<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>

Masood, S., Zhao, X. Q., and Shen, R. F. 2020. *Bacillus pumilus* promotes the growth and nitrogen uptake of tomato plants under nitrogen fertilization. *Sci. Hortic.* 272:109581. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109581

Olivares-Campos M.A, Hernández-Rodríguez A, Vences-Contreras C, Jáquez-Balderrama J.L, Ojeda-Barrios D. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores

de suelo. 2012. Universidad y ciencia [revista en la Internet].
28(1): 27-37.

Ormeño, M. A., y Ovalle, A. 2007. Preparacion y Aplicación de abonos orgánicos. Ciencia y Producción Vegetal. INIA Divulga, 10, 29-35.

Ortiz-Diaz, Sergio Arturo, Reyes-González, Arturo, Fortis Hernández, Manuel, Santana, Omar Iván, Zermeño González, Héctor, & Preciado-Rangel, Pablo. 2022. Profundidad de la cinta de riego y estiércol solarizado en la producción y calidad de maíz forrajero. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 13(spe28), 275-286. Epub 13 de enero de 2023.<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3282>

Preciado RangeL, P., García Hernández, J. L., Segura Castruita, M. A., Salas Pérez, L., Ayala Garay, A. V., Esparza Rivera, J. R. y Troyo Diéguez E. 2014. Efecto del lixiviado de vermicomposta en la producción hidropónica del maíz forrajero. Terra Latinoamericana, Vol. 32,6.

Quezada, C., I. Vidal, L. Lemus y H. Sánchez. 2007. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento y calidad de fruta de frambuesa (*Rubus ideaus* L.) bajo dos programas de fertirrigación. R. C. Suelo Nutr. Veg. 7: 1-15.

- Ramos Agüero, D., & Terry Alfonso, E. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59.
- Reghuvaran, A., Jacob, K. K., and Ravindranath, A. D. 2012. Isolation and characterization of nitrogen fixing bacteria from raw coir pith. *Afri. J. Biotechnol.* 11, 7063-7071. doi: 10.5897/AJB11.2205
- Rodríguez-Hernández, M. G., M. Á. Gallegos-Robles, L. RodríguezSifuentes, M. Fortis-Hernández, J. G. Luna-Ortega y U. González-Salas. 2020. Cepas nativas de *Bacillus* spp. como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoamericana* 38: 313-321.
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.690>
- Román, P., Martínez M. M., Pantoja A. 2013. Manual de Compostaje del Agricultor Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago, Chile. E-ISBN 978-92-5-307845-5
- Salazar, S. E., Trejo, E. H. I., Vázquez, V. C., y López, M. J. D. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Phyton* (Buenos Aires), 76, 169-185.
<http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v76/v76a15.pdf>

Salazar-Sosa, E., Trejo-Escareño, H. I., López-Martínez, J. D., Vázquez-Vázquez, C., Serrato-Corona, J. S., Orona-Castillo, I., & Flores-Márgez, J. P. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 381-390.

Salgado Sánchez, Raquel. 2015. Agricultura sustentable y sus posibilidades en relación con consumidores urbanos. *Estudios sociales* (Hermosillo, Son.), 23(45), 113-140.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572015000100005&lng=es&tlng=es

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. 2020. Maíz forrajero, también es maíz. De Gobierno de México Sitio web:
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-forrajero-tambien-es-maiz>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2021. Avance de siembra y cosecha. De Gobierno de México Sitio web:
http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

Tal, A. 2018. Making conventional agriculture environmentally friendly: moving beyond the glorification of organic agriculture and the

demonization of conventional agriculture. *Sustainability*, 10(4), 1078.

Torsvik V, Ovreas L. 2002 Microbial diversity and function in soils: from genes to ecosystems. *Curr. Opin. Microbiol.* 5: 240-245.

Trejo-Escareño, H. I., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D., & Vázquez-Vázquez, C. 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(5), 727-738.

Urrea, J., Alkorta, I., & Garbisu, C. 2019. Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture. *Agronomy*, 9(9), 542.

Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S., & Wang, Y. 2018. ¿What could promote farmer store place chemical fertilizers with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production*, 199, 882-890.