



UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO

DOCTORADO INSTITUCIONAL EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES

Evaluación de la calidad del suelo y su respuesta a la
incorporación de abonos orgánicos y bioinoculantes como
bioremediadores

Por

María Amada Avalos de la Cruz

Como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES

Opción terminal: Agricultura sustentable

Director de tesis: Dr. José Luis García Hernández

Gómez Palacio, Dgo., México

2020

Universidad Juárez del Estado de Durango
Doctorado Institucional en Ciencias Agropecuarias y
Forestales

Los abajo firmantes, certifican que la tesis de doctorado que se presenta como requisito parcial para la obtención del Grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Forestales por parte de María Amada Ávalos de la Cruz ha cumplido con los requisitos estipulados por la UJED

Dr. José Luis García Hernández
Director de Tesis

Dr. Luis Manuel Valenzuela Núñez
Asesor externo

Dr. Cirilo Vázquez Vázquez
Asesor

Dr. Miguel Ángel Gallegos Robles
Asesor

Dr. Ignacio Orona Castillo
Asesor

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir esta experiencia, a mi familia que camina a mi lado en cada momento de vida; a todas las personas que contribuyeron para que este proyecto se llevara a cabo.

Dedico mi trabajo y esfuerzo de todo lo realizado a mi esposo e hijos.

Mario

Sofía

Iván

Omar

Oscar

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico para realizar este proyecto.

GRACIAS!!!!

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	5
1.2. Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 El suelo.....	6
2.1.1. El suelo, textura y estructura	7
2.2 Materia orgánica en el suelo	11
2.2.1 La función de la materia orgánica en la calidad del suelo	12
2.2.1.1 Efectos físicos	12
2.2.1.2. Efectos nutricionales y químicos	13
2.2.1.3 Efectos biológicos	13
2.3 Respiración	14
2.4. Bioinoculantes	15
2.4.1 Impacto de los bioinoculantes en México	16
2.4.2. Perspectivas de los bioinoculantes.....	17
2.4.3 Uso de los bioinoculantes en el cultivo de maíz	20
2.5 Abonos orgánicos.....	22
2.5.1 Vermicompost.....	24
2.5.2 Estiércol Bovino	26
2.5.3 Problemática del uso de Bioinoculantes y Abonos Orgánicos	28
2.5.3.1 Suelos	29
2.5.3.2 Agua.....	29
2.5.4. Uso de abonos Orgánicos en el cultivo de maíz	30
2.6 Fertilización química.....	33
2.6.1 Fertilización Química en Maíz	33
2.7. Cultivo de Maíz.....	35
2.7.1 Contexto internacional	36
2.7.1 Maíz Forrajero	38
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1 Localización del experimento	40

3.2 Tipo de suelo del predio	40
3.3 Características del híbrido.....	40
3.4 Bioinoculantes y abonos orgánicos.....	40
3.5 Diseño experimental.....	41
3.6 Siembra	41
3.7 Fertilización inorgánica y manejo del cultivo	42
3.8 Colecta de información.....	42
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1 Análisis inicial de suelo	44
4.1.2 Materia orgánica	44
4.1.3 Conductividad Eléctrica	44
4.1.4 pH	45
4.1.5 Nitrógeno inorgánico.....	46
4.1.6 Fósforo.....	46
4.2 Variables de rendimiento.....	47
4.2.1 Forraje verde y forraje seco	47
4.2.2 Porcentaje de materia seca (MS)	48
4.2.3 Altura de planta.....	48
4.2.4 Nitrógeno en planta	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	55
LITERATURA CITADA	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tamaño relativo de las partículas del suelo (Sullivan, 2007).....	8
Figura 2. Triangulo de texturas de suelos (Burke et al., 2019)	9
Figura 3. Partículas, agregados y estructura del suelo (Kumar, 2017)	10
Figura 4. Tipos de estructuras del suelo (Kumar, 2017)	11
Figura 5. Componentes de la materia orgánica del suelo y su función (FAO, 2015).	14
Figura 6. Cuando aplicar nitrógeno en maíz forrajero (Figuroa, 2016)	35
Figura 7. Maíz en México: Superficie sembrada más baja registrada (USDA, 2019)	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de los abonos orgánicos (Agüero y Elein, 2014).....	23
Cuadro 2. Análisis químico de los abonos orgánicos más usados en la agricultura..	24
Cuadro 3. Propiedades químicas de estiércol bovino de la Comarca Lagunera (Trejo <i>et al.</i> , 2013).....	28
Cuadro 4. Comportamiento de la producción mundial de maíz (Ranum et al., 2014)	37
Cuadro 5. Algunas propiedades químicas y contenido de nutrientes de los abonos orgánicos utilizados en el presente estudio	41
Cuadro 6. Análisis de suelo del predio donde se estableció el experimento, previo a la aplicación de los tratamientos.....	44
Cuadro 7. Valores medios para las características de suelo, en el cultivo de maíz forrajero con dosis de bioinoculante y fuentes de fertilización	45
Cuadro 8. Separación de medias de la interacción entre bioinoculante y fuente de fertilización, para el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo	46
Cuadro 9. Separación de medias de la interacción entre bioinoculante y fuente de fertilización, para el contenido de fósforo en el suelo	47
Cuadro 10. Valores medios para rendimiento de forraje verde (RFV), porcentaje de materia seca (MS), rendimiento de forraje seco (RFS) y altura de planta (AP) para maíz forrajero, con dosis de bioinoculante y fuentes de fertilización	49
Cuadro 11. Valores medios de la concentración de nitrógeno y fósforo en plantas del cultivo de maíz forrajero, con dosis de bioinoculante y fuentes de fertilización ..	50
Cuadro 12. Separación de medias para concentración de fósforo en planta, de la interacción entre bioinoculante y fuente de fertilización, en el cultivo de maíz forrajero	51

RESUMEN

La producción de forrajes en la Comarca Lagunera se realiza de forma intensiva, por lo que no hay un intervalo de tiempo que le permita al suelo recuperarse. El cultivo de maíz forrajero en esta región es el segundo en importancia. Por ello es imprescindible buscar estrategias que nos permitan recuperar la calidad de los suelos sin que el rendimiento se vea afectado.

Se evaluó la producción de maíz forrajero con el híbrido P3258W de Pioneer ®. Se usó un bioinoculante comercial para suelo con dosis de 0, 20 y 40 L ha⁻¹. El bioinoculante se usó en combinaciones con siete fuentes de fertilizante: vermicompost en 5 y 10 t ha⁻¹, estiércol de bovino lechero en 80 t ha⁻¹, fertilizante inorgánico (191-75-30 de N, P, y K, respectivamente), así como un fertilizante comercial orgánico a dosis de 2.5 y 5 L ha⁻¹ y el tratamiento sin ningún tipo de bioinoculante o fertilizante sintético (testigo). El diseño experimental fue en bloques al azar, con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. La parcela mayor fue el bioinoculante y la parcela menor la fuente de fertilización. Las variables que se evaluaron fueron: rendimiento de forraje verde y seco; y altura de planta a la cosecha. Antes y después de la cosecha se evaluaron en muestras de suelo compuestas las siguientes variables: materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno inorgánico y fósforo. En muestras de planta tomadas en la cosecha se determinó nitrógeno y fósforo totales.

Con respecto a los resultados, se encontró diferencia significativa en cuanto al rendimiento respecto a la fuente de fertilizante. El tratamiento con mayor rendimiento fue donde se aplicó estiércol a una dosis de 80 t ha⁻¹. En las características del suelo de materia orgánica, nitrógeno y fósforo se observaron diferencias significativas entre dosis de bioinoculante del suelo y entre fuentes de fertilizante. Para el nitrógeno en planta, las diferencias fueron significativas entre dosis de bioinoculante del suelo y entre fuentes de fertilizante. En la concentración de fósforo en planta, el análisis mostró una interacción significativa entre dosis de bioinoculante del suelo y fuentes de fertilizante.

Los resultados obtenidos señalan el potencial de llevar a cabo la producción de maíz forrajero utilizando bioinoculantes y abonos orgánicos sin que el rendimiento se vea afectado y se favorece el contenido de materia orgánica, N y P del suelo.

Palabras Clave: Materia orgánica, estiércol, vermicompost, nitrógeno, fósforo.

ABSTRACT

Forage production at Laguna region is made intensively, so there is not a time interval to allow soil recovering. Forage maize cultivation is the second most important. Therefore, it is essential to improve strategies that allow to recover the quality of the soil without affecting performance.

Forage maize production was evaluated with Pioneer ® hybrid P3258W. A commercial soil bioinoculant with doses of 0, 20 and 40 L ha⁻¹ was used. The bioinoculant was used in combinations with seven sources of fertilizer: vermicompost at 5 and 10 t ha⁻¹, dairy cattle manure at 80 t ha⁻¹, inorganic fertilizer (191-75-30 of N, P, and K, respectively). As well as an organic commercial fertilizer at doses of 2.5 and 5 L ha⁻¹ and treatment without any type of bioinoculant or synthetic fertilizer (control). Experimental design was in random blocks, with arrangement of treatments in divided plots. The largest plot was the bioinoculant and the smallest plot the source of fertilization. Variables evaluated were: green and dry forage yield; and plant height at harvest. Before and after the harvest, the following variables were evaluated in composite soil samples: organic matter, pH, electrical conductivity, inorganic nitrogen and phosphorus. Total nitrogen and phosphorus were determined in plant samples taken at harvest.

Results showed a significant difference in yield related to the source of fertilizer. Treatment with the highest yield was where manure was applied at a dose of 80 t ha⁻¹. In the characteristics of the soil of organic matter, nitrogen and phosphorous, significant differences were observed between doses of soil bioinoculant and between sources of fertilizer. For plant nitrogen, the differences were significant between doses of soil bioinoculant and between sources of fertilizer. In the phosphorus concentration in the plant, the analysis showed a significant interaction between doses of soil bioinoculant and sources of fertilizer.

Results showed the potential of carrying out forage maize production using bioinoculants and organic fertilizers without affecting the yield and favoring the content of organic matter, N and P in the soil.

Keywords: Organic matter, manure, vermicompost, nitrogen, phosphorus.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha tomado conciencia del agotamiento de los recursos naturales debido a la explotación desmesurada de los mismos (Grageda *et al.*, 2012). En el ámbito agrícola, parte de la razón de sistemas de producción intensiva es que el objetivo es lograr altos rendimientos por unidad de superficie (Gutiérrez *et al.*, 2014). Eso, tanto para obtener mayores ganancias económicas como para satisfacer la creciente demanda de alimentos (Cáceres 2015). Todo ello sin considerar aspectos de sostenibilidad de la producción (viabilidad técnica, rentabilidad económica y sin contaminación) (Grageda *et al.*, 2012; Franco *et al.*, 2013). Los éxitos de esta estrategia han sido importantes, pero es una agricultura muy ineficiente y altamente contaminante. Esto ha ocasionado daños diversos, como la pérdida de la diversidad biológica, disminución de los recursos forestales, erosión del suelo, cambio climático, entre otros (Grageda *et al.*, 2012; Khaitov *et al.*, 2019). Esta situación se refleja en diversos efectos negativos. Por ejemplo, ha disminuido la superficie apropiada para la agricultura, causando graves problemas ecológicos, económicos y sociales (Grageda *et al.*, 2012; Cáceres 2015). Por tal motivo, es necesario encontrar alternativas de producción adecuadas. Las nuevas tecnologías deben estar orientadas a mantener la sostenibilidad del sistema mediante la explotación racional de los recursos naturales y aplicación de medidas adecuadas para preservar el ambiente (Grageda *et al.*, 2012; Damian *et al.*, 2018; Mahmood *et al.*, 2020).

El suelo es un ecosistema vivo y dinámico. A pesar de su importancia para la vida no ha recibido la atención que merece, su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad (Atlas *et al.*, 2002; Pimentel y Burgess, 2013; Kanianska, 2016). El suelo donde vivimos es el futuro de los cultivos y los habitantes del mundo. Los suelos contienen los nutrientes que sostienen los cultivos que alimentan a todo ser vivo. La problemática que enfrenta el sector agrícola en la actualidad tiene un origen antropogénico (Gomiero, 2019). Pese a los impactos que ha generado la agricultura, la naturaleza tiene la capacidad de resiliencia. Sin embargo, cada vez es más evidente el agotamiento de los recursos naturales que genera degradación ambiental (Plazas y García, 2014; Ferranti, 2016; Gomiero, 2019).

Los ecosistemas terrestres, incluyendo los suelos agrícolas, dependen en gran medida de la actividad microbiana del suelo y de los ciclos bioquímicos de los nutrientes (Pedraza, 2010). Los desafíos que enfrenta la agricultura en el siglo XXI imponen la adopción de estrategias capaces de incrementar la producción de alimentos sin aumentar aún más el área de tierra cultivable y con bajo impacto ambiental (Grageda *et al.*, 2012; Damian *et al.*, 2018; Mahmood *et al.*, 2020). Los microorganismos del suelo son un componente importante de la fertilidad natural de los suelos. Los microorganismos benéficos del suelo pertenecen a algunos de los géneros *Bacillus*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, *Saccharomyces*, entre otros (Cano, 2011; Díaz *et al.*, 2018). Estos intervienen en diversas funciones esenciales para las plantas: facilitan la captación de agua, producen fitohormonas, incrementan la tolerancia a la sequía y salinidad, protegen a la planta contra organismos patógenos, mejoran la estructura del suelo y descomponen sustancias tóxicas (Garza *et al.*, 2003; Altomare, 2011; Jacoby *et al.*, 2017). Además, los microorganismos del suelo son importantes en la solubilización de minerales y nutrientes, y contribuyen al mantenimiento de la calidad del suelo (Loreto *et al.*, 2004; Altomare, 2011; Bargaz *et al.*, 2018). El creciente interés por desarrollar una agricultura de bajo consumo de agroquímicos, la mayor concientización sobre el cuidado del medio ambiente, aunado al alto costo y baja eficiencia de los fertilizantes inorgánicos, han contribuido a que los agricultores vean como buena alternativa la aplicación de los inoculantes biológicos y abonos orgánicos (Altomare, 2011; Umesha *et al.*, 2014).

La labranza mecanizada practicada irracionalmente es uno de los factores que pueden afectar muy negativamente los suelos agrícolas. Prácticas recurrentes de barbecho, rastreo y otras prácticas de labranza puede reducir el nivel de materia orgánica a menos de 1 % haciéndolo biológicamente muerto, rompiendo también los agregados del suelo y dejándolo susceptible a erosión hídrica y eólica (Sullivan, 2007; García *et al.*, 2018). Las prácticas de conservación son una manera de aumentar y mantener la fuente de los nutrientes que se encuentran en el suelo. Cuando la condición del suelo es baja o ha sido erosionada, hay menos nutrientes y menos vida para apoyar ese cultivo. Aunque no siempre vea un beneficio directo e inmediato de ciertas prácticas de manejo, es importante trabajar para mejorar su suelo a través de prácticas de conservación (Kennedy *et al.*, 2004; Baumhardt y Blanco, 2014).

Con el tiempo, los resultados de la práctica de construcción del suelo se hacen evidentes. Por esas razones, organismos de índole internacional; como la FAO y el CIMMYT, promueven que ese tipo de prácticas se adopten cotidianamente en los sistemas de producción (Rodríguez, 2010). Un criterio que ayuda a determinar el grado de degradación del suelo es la valoración de su calidad (Estrada *et al.*, 2017). Mantener la calidad del suelo es de gran importancia para el crecimiento de los cultivos y para mejorar la productividad (Khaitov *et al.*, 2019). La calidad de un suelo se define como la capacidad continua del suelo para funcionar como un sistema vivo vital, dentro de los límites de la utilización del suelo y del ecosistema. Con enfoque de preservar la productividad biológica, mantener y promover la calidad del aire y agua, así como favorecer la salud de los animales, las plantas y los humanos (Vallejo *et al.*, 2018). La calidad no puede ser determinada por un único parámetro y se sugiere emplear un conjunto mínimo de datos que permita valorar la calidad de un suelo e integre una variedad de parámetros fisicoquímicos y biológicos que indiquen el estado y funcionamiento del mismo (Kennedy *et al.*, 2004; García *et al.* 2018; Vallejo *et al.*, 2018).

En lo que respecta a los bioinoculantes, así se conocen las preparaciones de microorganismos aplicados al suelo o planta que se reconocen por tener potencial de aportar grandes beneficios (Grageda *et al.*, 2012; Díaz *et al.*, 2018). Por ejemplo, promover el desarrollo de las plantas (Díaz *et al.*, 2018). De los bioinoculantes se ha reportado que tienen potencial para sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética, así como disminuir la contaminación generada por los agroquímicos (Khan *et al.*, 2015; Owen *et al.*, 2015). Los microorganismos utilizados en estos productos son clasificados dentro de dos grupos: el primer grupo incluye microorganismos que tienen la capacidad de sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de la planta, fijando nitrógeno atmosférico, solubilizando hierro y fósforo inorgánico y mejorando la tolerancia al estrés por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de plaguicidas, por parte de la planta. El segundo grupo incluye microorganismos los cuales son capaces de disminuir o prevenir los efectos de deterioro de microorganismos patógenos (Bashan y Holguin, 1998; Lucy *et al.*, 2004; Owen *et al.*, 2015).

Asimismo, la incorporación de abonos orgánicos al suelo como el vermicompost

y estiércol bovino que aporten a la planta los nutrientes necesarios para un óptimo desarrollo y mejoren las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo son enmiendas que en la actualidad se usan como alternativa para contrarrestar los efectos negativos que la agricultura convencional ha ocasionado en el medio ambiente limitando la productividad de los agroecosistemas (Plazas y García, 2014; Ramos, 2014; Owen *et al.*, 2015).

La producción de forrajes en México es importante debido a que constituyen una de las fuentes más económicas de nutrientes para la alimentación de los rumiantes (Moreno *et al.*, 2017). El contenido de proteínas y minerales de la mayoría de los forrajes es bajo; sin embargo, el contenido de fibras es alto. El empleo de maíz en la alimentación animal tiene una gran versatilidad ya que puede ser consumido en verde, ensilado, seco (heno o rastrojo) o como grano (Reta, 2004; Moreno *et al.*, 2017). Para poder satisfacer la creciente demanda de forraje y cubrir las necesidades alimenticias del ganado lechero de la Comarca Lagunera ha sido necesario establecer grandes superficies de cultivos forrajeros específicamente maíz y sorgo. En este contexto las estadísticas indican que se han llegado a sembrar en años recientes aproximadamente 30 000 ha de maíz forrajero en la región Lagunera (SIAP-SAGARPA, 2017; Moreno *et al.*, 2017; Santiago *et al.*, 2018)

Con base en lo anterior, en este proyecto se realizaron muestreos en suelos donde se producen cultivos de forma intensiva antes y después de la aplicación de bioinoculantes y abonos orgánicos a diferentes dosis así como analizar antes y después del establecimiento del cultivo las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para poder determinar la fertilidad del mismo y al final de la investigación poder cumplir con el objetivo de establecer el efecto de los bioinoculantes y abonos orgánicos como bioremediadores así como también en el rendimiento y calidad nutricional del cultivo establecido que para esta investigación fue maíz forrajero.

1.1. Objetivos

Determinar las características físicas, químicas y biológicas de suelos considerados con alto valor para la producción agrícola, al inicio y al final del establecimiento de nuestro trabajo de investigación.

Establecer las dosis de abono orgánico y bioinoculantes que sea la mejor para evaluar la salud del suelo, usando como indicadores la respiración y contenido nutrimental suelo.

Evaluar el impacto de los abonos orgánicos y bioinoculantes sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Mantener el rendimiento de maíz forrajero mediante el uso de bioinoculantes y/o abonos orgánicos.

1.2. Hipótesis

Mediante la aplicación de bioinoculantes y abonos orgánicos, es posible mejorar la actividad biológica del suelo así como también sus características físicas y químicas.

Existe una dosis óptima de bioinoculantes y abonos orgánicos para generar biorremediación del suelo, sin que la producción se vea afectada.

Mediante la aplicación de abonos orgánicos y/o bioinoculantes es posible mantener los rendimientos en el cultivo de maíz.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El suelo

El suelo es un recurso indispensable para la vida que permite el desarrollo de las plantas, los animales y el hombre (García *et al.*, 2012). Sin embargo, aún no se reconocen todas las funciones que realiza. El concepto general de suelo fértil se refiere más bien a sus propiedades químicas, específicamente a la disponibilidad de los macroelementos primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) (Burke *et al.*, 2019). En los últimos años se han propuesto nuevas definiciones que integran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, así como su capacidad de ser sostenibles, producir alimentos sanos y mitigar la contaminación medioambiental (García *et al.*, 2012; Rocha *et al.*, 2012; Vallejo, 2013).

El suelo es un recurso no renovable sobre el cual se desarrolla prácticamente la totalidad de la producción agrícola, ganadera y forestal (García *et al.*, 2012; Tiago *et al.*, 2019). Su formación es un proceso complejo que involucra cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria. Los físicos implican la reducción del tamaño de las partículas sin ninguna alteración en su composición, y son causados por ciclos de hielo-deshielo, lluvia y otros efectos ambientales. Los químicos son originados por la separación de las partículas minerales de las rocas; su alteración o destrucción y la resíntesis a compuestos sólidos estables se deben, principalmente, a la acción del agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos (García *et al.*, 2012; Balasubramanian, 2017; Kalev y Toor, 2018)

Por su parte, los cambios biológicos son realizados por la comunidad que habita en el suelo: flora (plantas), macrofauna (invertebrados), mesofauna (artrópodos, anélidos, nemátodos y moluscos), microfauna (protozoos y algunos nemátodos) y microbiota (bacterias, actinomicetes, hongos y algas), y el 80-90% de los procesos son reacciones mediadas por la microbiota, estos cambios biológicos son: la degradación y el aporte de materia orgánica, la producción de CO₂ en la respiración, la intervención en la movilidad de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y los efectos mecánicos de los animales y las plantas, así como el fraccionamiento de las rocas por las raíces, entre otros (García *et al.*, 2012; Estrada *et al.*, 2017; Kalev y Toor, 2018)

El suelo es esencial para la propagación de la vida en la Tierra y, por lo tanto, es una parte integral de la biosfera. Sin embargo, cuando se erosiona de la tierra, el suelo se convierte en sedimento, un contaminante en los cuerpos de agua. Algunas de las funciones cruciales del suelo incluyen el ciclo de nutrientes, el crecimiento de las plantas, el intercambio de gases, el almacenamiento de carbono y la eliminación de desechos. El suelo comprende una mezcla de componentes individuales, que le dan a cada tipo de suelo características y estructura distintivas (Estrada *et al.*, 2017; Kalev y Toor, 2018)

La degradación de los suelos agrícolas generalmente está asociada a una disminución en la calidad de las características físicas, químicas y biológicas del mismo, estas resultan en una pérdida de biodiversidad, estructura y materia orgánica; se estima que el 40% de los suelos utilizados en la agricultura en todo el mundo son severamente degradados debido a un manejo inadecuado y que aproximadamente 12 millones de hectáreas de tierra agrícola se pierden debido a un aumento en la degradación (Vallejo *et al.*, 2018; Kalev y Toor, 2018; Tiago *et al.*, 2019). El suelo, el medio ambiente, y la productividad se benefician cuando la productividad natural del suelo se administra de manera sostenible (FAO, 2015; EEA INTA, 2017). La confianza en agregados comprados declina año con año mientras que el valor de la tierra y el potencial de generación de ingreso incrementa. Algunas de las cosas en que gastamos pueden ser realizadas por el proceso natural con poco o sin ningún gasto. El buen manejo del suelo produce cultivos y animales que son más saludables, menos susceptibles a enfermedades, y más productivos (Roncallo *et al.*, 2012; FAO, 2015)

2.1.1. El suelo, textura y estructura

Los suelos están formados por cuatro componentes básicos: minerales, aire, agua y materia orgánica. La composición y textura del suelo proporcionan un marco físico y determinan en gran medida su capacidad para suministrar agua y nutrientes y para desarrollar una estructura del suelo resistente a la erosión. Las fracciones más finas, que tienen el área de superficie más grande, son las más activas (Krupenikov, 2011; Burke *et al.*, 2019). La textura del suelo, o la distribución del tamaño de partícula, es importante en varios aspectos, especialmente influyendo en la respuesta a la labranza. En la mayoría de suelos, los minerales representan alrededor de 45% del

volumen total, agua y aire cerca de 25% cada uno, y materia orgánica entre 2% y 5%. La porción mineral consiste en tres distintos tamaños de partículas clasificadas como arena, limo, y arcilla. La arena es la partícula más grande que se puede considerar como suelo (Sullivan, 2007; Krupenikov, 2011; Parik y James, 2012; Burke *et al.*, 2019).

La arena es por mayor parte el mineral cuarzo, aunque otros minerales también están presentes. El cuarzo no contiene nutrientes para las plantas, y la arena no puede sostener nutrientes estos se lavan fácilmente con la lluvia. Las partículas de limo son mucho más pequeñas que las de arena, pero tal como ésta, limo es casi todo de cuarzo. La partícula más pequeña es la de arcilla. Las arcillas son partículas muy diferentes a las de arena o limo y la mayoría de los tipos de arcilla contienen cantidades apreciables de nutrientes para las plantas. La arcilla tiene una gran área de superficie en forma de plato resultado de cada partícula individual. (Sullivan, 2007; Valdivia *et al.*, 2017). La textura del suelo es esencial para caracterizar las propiedades hidrofísicas del suelo, ya que influye en la capacidad de retención de agua, la curva característica del agua del suelo para la desorción y la conductividad hidráulica (Sullivan 2007; Parikh y James, 2012; Valdivia *et al.*, 2017).

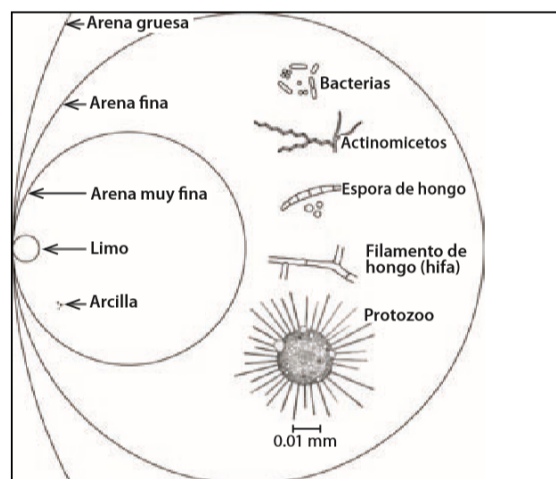


Figura 1. Tamaño relativo de las partículas del suelo (Sullivan, 2007)

En términos generales, los suelos con mayor contenido de arcilla tienden a ser más productivos porque pueden retener la humedad y los nutrientes por más tiempo que los suelos más gruesos. Si bien la clasificación de la textura parece depender de

mediciones tediosamente precisas, en realidad es una de las pruebas características más simples y confiables disponibles (Burke *et al.*, 2019).

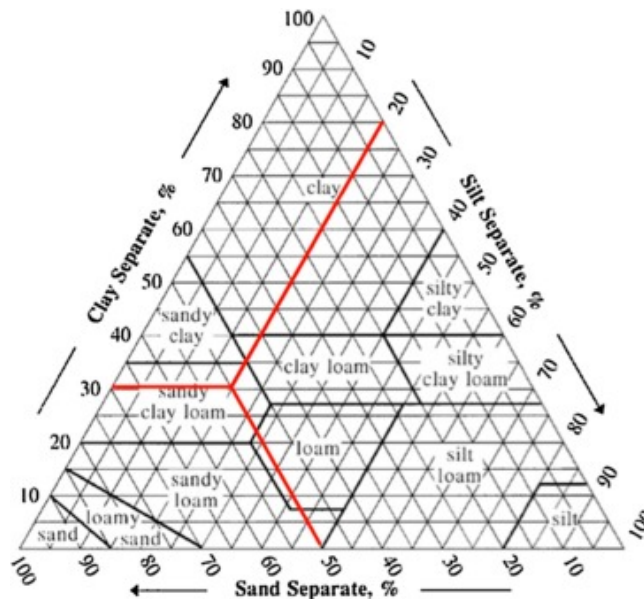


Figura 2. Triángulo de texturas de suelos (Burke *et al.*, 2019)

La estructura del suelo es distinta a su textura. Estructura se refiere a como se aglomeran o a la “reunión” de arena, limo y arcilla en terrones secundarios mayores. Si se toma un puñado de tierra, es aparente la buena estructura cuando se deshace fácilmente en la mano. Esta es una indicación de que las partículas de arena, limo y arcilla están reunidas en gránulos o migajas grandes (Sullivan, 2007; Parikh y James, 2012). Tanto la textura como la estructura determinan el espacio de poros para la circulación de aire y agua, resistencia a la erosión, soltura, facilidad para ararse y penetración de las raíces. En una estructura prismática, el movimiento del agua en el suelo es predominantemente vertical y, por lo tanto, el suministro de agua a las raíces de las plantas suele ser deficiente. Aunque la textura está relacionada a los minerales en el suelo y no cambia con las actividades agrícolas, la estructura se puede mejorar o destruir fácilmente con la selección y duración de prácticas agrícolas (Sullivan, 2007; Parikh y James, 2012; Kumar, 2017).

A diferencia de la textura, la estructura del suelo no es permanente. Mediante prácticas de cultivo (arado, surcos, etc.), el agricultor intenta obtener una estructura granular de la capa superior del suelo para los campos agrícolas (Kumar, 2017).

Así mismo la estructura del suelo, la disposición espacial de las partículas individuales, sus agregados y los poros, desempeñan un papel clave multifacético en los factores que determinan el rendimiento de los cultivos y la vegetación. Estos factores no solo incluyen el físico y el fisicoquímico procesos y efectos de la actividad biológica que interactúan con el uso del suelo y el clima si no también prácticas de manejo (labranza, drenaje, riego, fertilización y mulching) destinado a crear y/o mantener condiciones óptimas para emergencias, enraizamiento, y absorción de agua y nutrientes (Miedema, 1997; Kumar, 2017).

La estructura del suelo también se refiere a la disposición de estos agregados

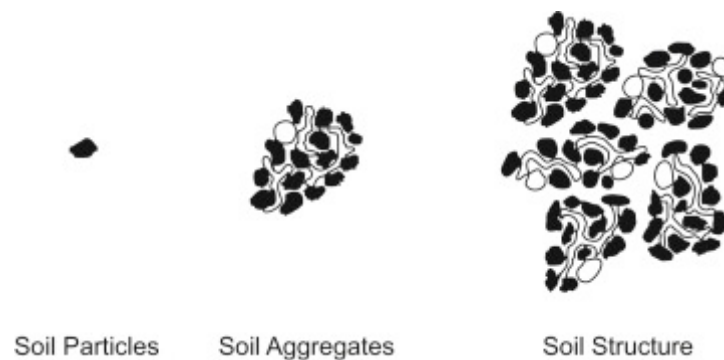


Figura 3. Partículas, agregados y estructura del suelo (Kumar, 2017)

Los tipos básicos de arreglos agregados son: estructuras granulares, en bloques, prismáticas y masivas. Cuando está presente en la capa superior del suelo, una estructura masiva bloquea la entrada de agua, y la germinación de las semillas es difícil debido a la pobre aireación. Por otro lado, si la capa superior del suelo es granular, el agua ingresa fácilmente y la germinación de las semillas es mejor (Miedema, 1997; Kumar, 2017).

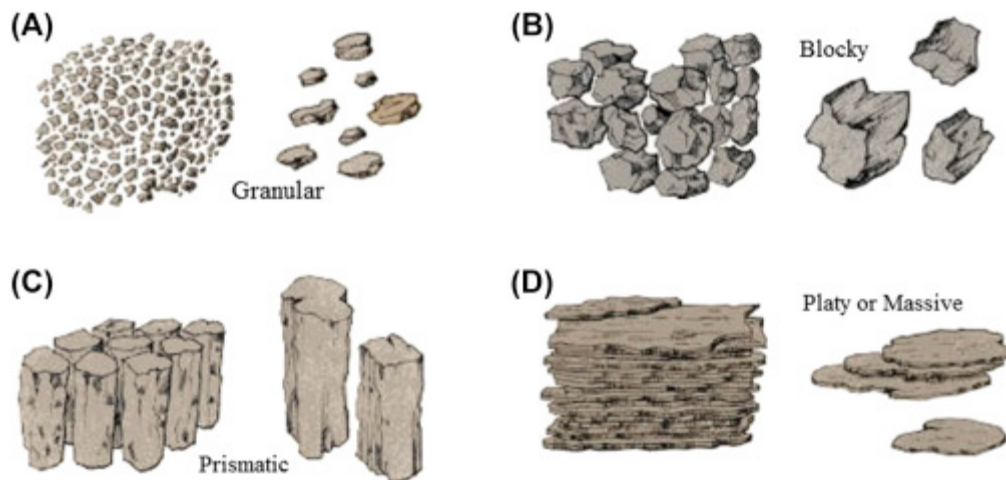


Figura 4. Tipos de estructuras del suelo (Kumar, 2017)

Si bien el suelo se conoce con frecuencia como el "sustrato fértil", no todos los suelos son adecuados para el cultivo. Los suelos ideales para la agricultura están equilibrados en las contribuciones de los componentes minerales (arena: 0.05–2 mm, limo: 0.002–0.05 mm, arcilla: <0.002 mm), materia orgánica del suelo, aire y agua. Las contribuciones equilibradas de estos componentes permiten la retención y drenaje de agua, oxígeno en la zona de la raíz, nutrientes para facilitar el crecimiento del cultivo; y proporcionan soporte físico para las plantas (Kumar, 2017).

2.2 Materia orgánica en el suelo

La materia orgánica se define como la fuente energética que hace posible la actividad de los microorganismos heterótrofos del suelo. Esta actividad microbiana conduce a una serie de efectos benéficos para la fertilidad de los suelos, como la mineralización, humificación y liberación de compuestos (Julca *et al.*, 2006; Parikh y James 2012; Trejo *et al.*, 2013; FAO, 2015).

La materia orgánica activa que representa alrededor del 10-20% de la materia orgánica total del suelo, está constituida por la microbiota responsable de los procesos de descomposición de los sustratos orgánicos y de la síntesis de sustancias que dan origen a otros productos metabólicos y por supuesto CO₂. Durante las etapas iniciales de la descomposición de los materiales orgánicos recientemente incorporados hay un rápido incremento en el número de organismos heterótrofos, acompañado por la emisión de grandes cantidades de CO₂. De esta manera la actividad microbiológica

global también puede ser considerada como el reflejo del nivel energético de un medio dado (Sullivan, 2007; Guerrero *et al.*, 2012; FAO, 2015).

La descomposición de la materia orgánica es en gran medida un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad está determinada por tres factores principales: los organismos del suelo, el entorno físico y la calidad de la materia orgánica. En el proceso de descomposición, se liberan diferentes productos: dióxido de carbono (CO₂), energía, agua, nutrientes vegetales y compuestos orgánicos de carbono resintetizados. La descomposición sucesiva de material muerto y materia orgánica modificada da como resultado la formación de una materia orgánica más compleja llamada humus. Este proceso se llama humificación. El humus afecta las propiedades del suelo. A medida que se descompone lentamente, colorea el suelo más oscuro; aumenta la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; aumenta la capacidad de atraer y retener nutrientes; y aporta N, P y otros nutrientes (Julca *et al.*, 2006; FAO, 2015)

2.2.1 La función de la materia orgánica en la calidad del suelo

Aunque la materia orgánica es sólo un pequeño porcentaje del peso de la mayoría de los suelos (generalmente de 1% al 6%), la cantidad y el tipo de materia orgánica influyen en casi todas las propiedades que contribuyen a la calidad del suelo. La cantidad y calidad de la materia orgánica puede cambiar las propiedades del suelo, cuando la estructura y disponibilidad de los nutrientes mejora y existe más diversidad biológica en suelos con un buen manejo de la materia orgánica. En algunos casos la materia orgánica modifica los efectos de ciertas propiedades del suelo. Los diversos efectos de la materia orgánica pueden agruparse bajo las influencias ejercidas en las propiedades físicas, químicas, nutricionales y biológicas del suelo (Parikh y James, 2012; Molina *et al.*, 2015)

2.2.1.1 Efectos físicos

Un suelo que tiene gran cantidad de materia orgánica tendrá una mejor agregación y tenderá a ser menos denso, permitiendo un mejor desarrollo y penetración de las raíces, que ante una situación de disminución de materia orgánica. Además, el suelo tendrá tasas superiores de infiltración debido a una estructura

superficial más estable, siendo capaz de resistir la fuerza dispersiva del impacto de las gotas de lluvia. El suelo estará menos propenso a la erosión si existe una mayor infiltración de agua en vez de un escurrimiento superficial (Orozco *et al.*, 2016; Burke *et al.*, 2019).

2.2.1.2. Efectos nutricionales y químicos

La materia orgánica es una fuente de nutrientes. Los organismos la descomponen y transforman las formas orgánicas de los elementos en formas que sirven a las plantas. Además, por ser la principal fuente de capacidad de intercambio catiónico (CIC), la materia orgánica ayuda a «almacenar» los nutrientes disponibles, y los protege de la lixiviación que produce el agua. Las moléculas orgánicas ayudan a quelar un gran número de micronutrientes, tales como el Zinc (Zn) y el Hierro (Fe), además los protege para evitar que sean convertidos en formas menos disponibles para las plantas. En muchos suelos la materia orgánica, debido a su naturaleza ácida débil, tiene un efecto de amortiguación frente a cambios en el pH (Orozco *et al.*, 2016; Burke *et al.*, 2019). Esto también puede ayudar a proteger las plantas de los efectos nocivos de sustancias químicas, como por ejemplo la toxicidad por aluminio (Orozco *et al.*, 2016).

2.2.1.3 Efectos biológicos

Un suelo con alto contenido de materia orgánica, tenderá a tener una comunidad más diversa de organismos y de este modo, brindará un medioambiente biológico más adecuado para el crecimiento de las plantas (Hernández *et al.*, 2010). Además, la presencia de diversas poblaciones de organismos cuando la materia orgánica del suelo es abundante ayuda a asegurar un ambiente de plagas menos hostil para las plantas (Hernández *et al.*, 2010; Orozco *et al.*, 2016). Las numerosas influencias físicas, químicas, nutricionales y biológicas se combinan para dar a la materia orgánica una influencia abrumadora sobre la calidad del suelo (Orozco *et al.*, 2016).

La descomposición de la materia orgánica depende de los microorganismos presentes en el suelo y es un concepto general de una secuencia completa de procesos muy detallados en los cuales los organismos utilizan los compuestos

orgánicos como fuente de alimento. La descomposición de esta, se verá influenciada directamente por factores como la temperatura, humedad, labranza, pH del suelo, entre otros (Salazar *et al.*, 2005; Trejo *et al.*, 2013; Orozco *et al.*, 2016).

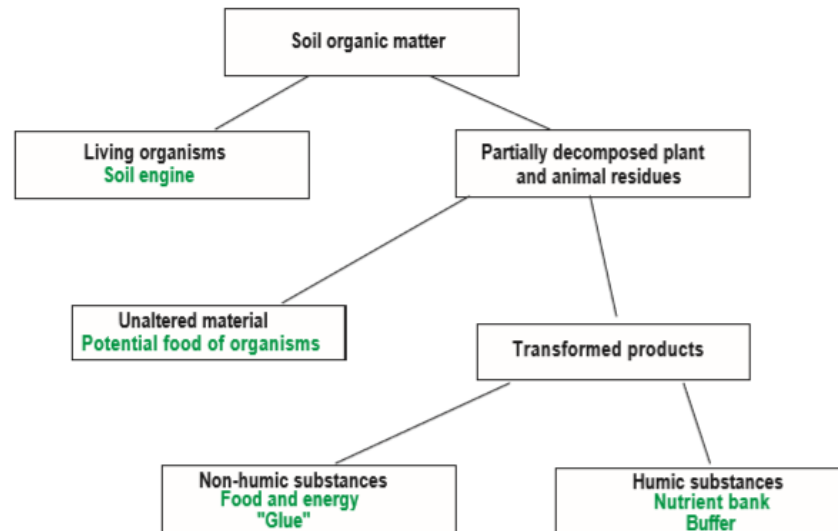


Figura 5. Componentes de la materia orgánica del suelo y su función (FAO, 2015)

2.3 Respiración

La respiración del suelo se define como la producción total de CO₂, por unidad de área y de tiempo y se debe a la respiración de organismos edáficos, raíces y en menor grado a la oxidación bioquímica de los compuestos de carbono (Vásquez, *et al.*, 2013). La actividad de organismos en el suelo es considerada como un atributo positivo para la calidad del suelo. Un índice elevado de respiración del suelo es indicativo de una elevada actividad biológica. Por ello puede ser signo indicativo de una rápida descomposición de residuos orgánicos hacia nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas. Inmediatamente a continuación de una operación de labranza, la evolución del CO₂ puede acelerarse debido a la exposición de la materia orgánica (Franzluebbers, 2016).

Los microorganismos juegan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica en el suelo (Hernández *et al.*, 2010). Se ha reportado que existe una correlación entre el número de microorganismos presentes en el suelo y el consumo

de oxígeno (Prasanna *et al.*, 2016). Sin embargo, esto depende directamente del contenido de materia orgánica que se encuentra en el suelo (Mahmood *et al.*, 2017; (Burke *et al.*, 2019). La transformación de la materia orgánica a formas más simples contribuye a aumentar la fertilidad del suelo (Mahmood *et al.*, 2017). De tal manera que la medición de dióxido de carbono respirado es una estimación de la actividad microbiana. Tal actividad varía en función de varios factores como el uso del suelo, mineralogía, cobertura vegetal, prácticas de manejo, calidad de los residuos que entran al sistema (Mora, 2006)

El adoptar una prueba de la actividad biológica del suelo como la determinación del flujo de CO₂, permite llevar los análisis de suelo a una evaluación más holística que considere la fertilidad y la salud del suelo (Franzluebbers, 2016). Este método en específico permite describir el ciclo de nutrientes, como se da la descomposición de las enmiendas orgánicas y estabilización de una gran variedad de procesos microbianos (Franzluebbers, 2016).

2.4. Bioinoculantes

En el suelo existe una notable población microbiana (Grageda *et al.*, 2012). Dentro de la que se encuentran los organismos benéficos caracterizados por realizar funciones como la fijación de nitrógeno atmosférico y la solubilización del fósforo insoluble presente en el suelo (Reyes *et al.*, 2014). Así como la antibiosis y la estimulación del crecimiento y desarrollo vegetal, entre otras; todas ellas de suma importancia para el normal establecimiento y aumento de la productividad de especies cultivables de importancia económica (Dibut *et al.*, 2006).

El término bioinoculante puede definirse como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo o potencializadoras de diversos nutrientes (Cano, 2011; Grageda *et al.*, 2012). Estos se aplican a las semillas o al suelo (Schmidt y Gaudin, 2018). El objetivo es incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen en el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Carrillo 2010; Sánchez *et al.*, 2011; Schmidt y Gaudin, 2018).

Los microorganismos del suelo son cada vez más reconocidos como elementos cruciales de la producción agrícola sostenible. Ya sea introducido por inoculación o mejorado por prácticas de manejo, se ha demostrado que las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas aumentan los rendimientos y la tolerancia al estrés sin comprometer la calidad ambiental (Prassana *et al.*, 2016; Roychowdhury, 2017; Schmidt y Gaudin, 2018).

Si bien tanto las bacterias como los hongos son componentes clave de la ecología de la rizósfera y pueden usarse en formulaciones de bioinoculantes, el uso de bacterias para la elaboración de estos ha sido más ampliamente estudiado debido a que abarca una mayor amplitud taxonómica de cepas bacterianas para la elaboración de bioinoculantes; por otro lado las distintas preferencias metabólicas, las respuestas fisiológicas a las condiciones ambientales y los mecanismos de colonización del huésped y la promoción del crecimiento de las plantas por hongos beneficiosos hacen que los bioinoculantes fúngicos sean abordados de manera separada (Schmidt y Gaudin, 2018).

Las condiciones climáticas como la temperatura y la precipitación dan forma al entorno del suelo y los patrones de biogeografía microbiana. El tipo de suelo, la fertilidad y la gestión también determinan la disponibilidad de recursos, lo que afecta la actividad microbiana y la composición de la comunidad (García, 2012; Schmidt y Gaudin, 2018). Nuestra comprensión de las interacciones entre inoculantes y comunidades microbianas nativas del suelo también sigue siendo limitada (Schmidt y Gaudin, 2018)

2.4.1 Impacto de los bioinoculantes en México

La agricultura a nivel mundial ha buscado alternativas biológicas para mejorar la sustentabilidad de la producción de los cultivos. La utilización de bioinoculantes se considera una opción para sustituir parcial o totalmente el uso de los fertilizantes químicos (Bojórquez *et al.*, 2010; Villa *et al.*, 2014). En la agricultura que se practica en México los bioinoculantes son ampliamente usados, se le considera uno de los países líderes en el campo de la inoculación (Couillerot *et al.*, 2012). La interpretación del término bioinoculante es muy amplia, representando desde microorganismos, abonos verdes y estiércoles, hasta extractos de plantas.

De manera sintetizada, podemos decir que son productos que contienen microorganismos, que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y le ayudan a su nutrición y protección (Grageda *et al.*, 2012). Se encuentra que los bioinoculantes contribuyen positivamente a la fertilidad del suelo, lo que resulta en un aumento en el rendimiento del cultivo sin causar ningún riesgo ambiental, de contaminación del agua o del suelo (Umesha *et al.*, 2014). En la preparación de bioinoculantes otro aspecto importante que se tiene que considerar aparte de que sean efectivos tanto para el cultivo como el cuidado del ambiente es el costo de los mismos. (Franco *et al.*, 2013).

En México el mayor impacto de los bioinoculantes fue en los años 70's y 80's con la fijación biológica de nitrógeno en soya y garbanzo, donde se logró sustituir la fertilización nitrogenada en Sinaloa que en ese tiempo fue el principal productor nacional de estas leguminosas (Bojorquez *et al.*, 2010), la utilización de inoculantes comerciales a base de *Rhizobium* fue una práctica generalizada por los productores agrícolas, además de ser recomendada por los centros de investigación (Bojorquez *et al.*, 2010). Por otra parte, la sustentabilidad de los sistemas agrícolas debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas. En este sentido los bioinoculantes son un componente vital de los sistemas sustentables ya que constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la calidad y cantidad de los recursos internos (Roychowdhury, 2017; Schmidt y Gaudin, 2018).

2.4.2. Perspectivas de los bioinoculantes

El aumento de la concientización sobre el cuidado del medio ambiente y la evidencia del deterioro ambiental que causan los agroquímicos ha hecho que los productores agrícolas, vean como buena alternativa la aplicación de los bioinoculantes ya que en la actualidad se usa bacterias promotoras del crecimiento de las plantas y hongos micorrízicos, entre los productores de plántulas en invernaderos y viveros, así como el incremento de microempresas productoras de abonos orgánicos que incluyen los bioinoculantes y la producción de estos insumos por los propios productores, que los introducen a un manejo más sustentable del suelo, estas prácticas van en aumento tanto en agricultura orgánica como convencional, sobre todo en el noroeste del país,

aun siendo donde se tiene la tecnología agrícola más avanzada. Se está adoptando una estrategia de suministro de nutrientes a los cultivos (hortalizas y cultivos de grano), integrando una inteligente combinación de fertilizantes orgánicos, humus de lombriz y bioinoculantes; todo ello dentro del marco de la sustentabilidad, para reducir los daños causados al ambiente y a la salud del hombre y los animales por los métodos irracionales que se han empleado en las últimas décadas (PRODUCE, 2006).

En las dos últimas décadas, una de las áreas de estudio que están impactando en la agricultura, es la aplicación de bioinoculantes a través del empleo de microorganismos como bacterias y hongos que viven en intercambio con las plantas, lo cual ha resultado muy positivo para fertilizar diversos cultivos. Algunos microorganismos que se pueden utilizar como fuente de reguladores de crecimiento (auxinas, giberelinas y citocininas), para hacer más eficiente la absorción de nutrientes, ayudando a las plantas en su crecimiento y desarrollo (Loredo, 2004; Rueda *et al.*, 2007).

La producción de biofertilizantes se centra en países desarrollados donde es una práctica adoptada. Se fabrican por empresas gubernamentales o privadas e incluyen micorrizas, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y agentes de biocontrol como *Trichoderma*. Los inoculantes deben ser inocuos y se requiere de un cuidadoso manejo para no menguar su efectividad. En muchos países en desarrollo no hay industrias de inoculantes (Grageda *et al.*, 2012). Ello hace aún más difícil su popularización. Además, en muchas áreas rurales hay una renuencia básica a usar bacterias y hongos como microorganismos benéficos, en estas culturas los microbios están asociados con enfermedades humanas y de animales (Cano, 2011; Grageda *et al.*, 2012).

En nuestro país, la producción actual de biofertilizantes se realiza por pequeñas empresas, instituciones de educación e investigación y por el INIFAP. Estas instituciones reciben apoyos del gobierno federal y por gobiernos estatales. A pesar de este desarrollo, la distribución y aplicación a gran escala ha tenido serias dificultades, principalmente por problemas de promoción y distribución. (Grageda *et al.*, 2012).

Diversas investigaciones se han enfocado en buscar los efectos que los bioinoculantes tienen en la producción. Así como en cómo reducir o reemplazar el uso

de fertilizantes sintéticos y por otro lado reducir el impacto negativo que el uso de agroquímicos ha ocasionado al medio ambiente (Armenta *et al.*, 2010; Grageda *et al.*, 2012).

Actualmente, existen productos en el mercado agrícola, los cuales prometen una mejora en la calidad del cultivo y del suelo. Estos productos no son fertilizantes como tal, sino que son formulados de bacterias los cuales benefician a los cultivos sin ocasionar un gran daño al medio ambiente (Villar *et al.*, 2005).

Uno de estos productos es el llamado Blue life®. Este producto es un conjugado de bacterias de diversos tipos (fototróficas, ácido-lácticas, heterotróficas, entre otras), los cuales en conjunto ayudan acelerando la ruptura de compuestos como las proteínas y azúcares. La empresa menciona que estos microorganismos promueven la rápida descomposición de la materia orgánica lo cual facilita la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Además de esto, la empresa señala que el Blue Life ayuda a mantener el suelo libre de patógenos debido a que los múltiples grupos de bacterias compiten por nutrientes contra géneros patógenos. De acuerdo a la información proporcionada por la empresa Terra Nova, la cual es la que comercializa el Blue Life en su página web (<http://www.terra-nova.com.mx/productos>) el uso continuo de este producto regenera el suelo por falta de materia orgánica y prácticas agrícolas como el volteo.

Otro producto que se encuentra dentro de esta categoría es el Blue 76, el cual combina 76 elementos coloidales, altamente disponibles que facilitan su absorción en las plantas. Un alto porcentaje de ácidos húmicos, fúlvicos y aminoácidos concentrados en conjunto con un amplio espectro de microorganismos específicos; hongos, bacterias y actinomicetos que en conjunto logran mejorar la nutrición de las plantas, reducen la incidencia nutricional al desbloquear los suelos y las limitaciones de agua al proveer permeabilidad.

De acuerdo con la información proporcionada por la empresa distribuidora, a pesar de que este producto contiene también grupos de bacterias, es más considerado como un fertilizante que como un bioinoculador en sí (<http://www.terra-nova.com.mx/productos>).

2.4.3 Uso de los bioinoculantes en el cultivo de maíz

Los nuevos hábitos alimenticios y los altos requerimientos para la producción de aceite y almidón por parte del sector industrial han ocasionado una tasa de crecimiento en el cultivo de maíz en muchos países (Shehzad *et al.*, 2014; Prasanna *et al.*, 2016). Tanto el sistema de producción convencional como el basado en el uso de bioinoculantes ha reflejado un desarrollo buscando incrementar la producción y la productividad (SAGARPA, 2012; Prasanna *et al.*, 2016); sin embargo, este cultivo tiene una fuerte dependencia de la fertilización química para incrementar la producción (Prassana *et al.*, 2016; Roychowdhury, 2017). Desafortunadamente se ha demostrado que con este tipo de fertilización podemos dañar la salud del suelo si se hace de forma continua a largo plazo, así como para el bienestar de la humanidad y las poblaciones animales (Prassana *et al.*, 2016; Roychowdhury *et al.*, 2017). La agricultura contemporánea se enfoca en la reducción del uso de pesticidas y fertilizantes inorgánicos; la búsqueda de alternativas para hacer una producción agrícola sostenible es muy intensa, en la actualidad se prefiere el uso de agentes biológicos a la aplicación de fertilizantes inorgánicos ya que son no solo amigables ecológicamente y más económicos sino también están involucrados en mejorar y mantener la salud y la biodiversidad del suelo (Fadlalla, 2016; Prassana *et al.*, 2016).

El alto costo de la fertilización del maíz en México reduce la rentabilidad del cultivo y genera la necesidad de la búsqueda de alternativas ecológicas y económicas de biofertilización basadas en la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (García *et al.*, 2012; SAGARPA, 2012).

García *et al.* (2012) evaluaron el efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento de grano de maíz, pese a que el cultivo se estableció bajo condiciones de temporal se obtuvo un incremento en el rendimiento con respecto al testigo (sin inoculación), ellos consideraron que hubo condiciones de suelo y clima que pudieron afectar el buen desarrollo de la bacteria y por lo tanto su eficiencia. El rendimiento de grano en el maíz es un rasgo complejo, pero existen programas de mejoramiento para desarrollar híbridos con la madurez y el rendimiento deseado. Dado que estas plantas dependen del microbioma de la rizosfera que forma los nutrientes accesibles para ellas o para las fitohormonas, que mejoran el crecimiento (Prassana *et al.*, 2016); ellos

concluyeron que los inoculantes basados en cianobacterias se obtienen niveles más altos en las actividades funcionales del suelo en comparación con los fertilizantes inorgánicos, mejora por otro lado el crecimiento y desarrollo de las plantas y se tiene un ahorro importante en fertilización sintética.

De acuerdo a una revisión realizada por Roychowdhury *et al.* (2017), sobre el efecto de los bioinoculantes y vermicompost en el cultivo y la productividad de maíz corrobora el aumento en el rendimiento y la absorción de nutrientes por parte de la planta, menciona que se puede establecer un método rentable y respetuoso con el medio ambiente; concluyen que la aplicación de bioinoculantes y abonos orgánicos como la vermicomposta pueden incrementar el rendimiento en maíz porque favorece el incremento de peso en mazorca, altura de planta y otros componentes de la planta por lo que su aplicación puede ser un factor importante en el desarrollo de una agricultura sustentable.

En el estudio realizado por Shehzad *et al.* (2014) utilizando rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (en específico cepas del género *Bacillus*). Ello con la finalidad de mejorar el desarrollo del cultivo y rendimiento de maíz. Se ha observado que se favorece la solubilización de fosfato y producción de auxinas que son útiles para aumentar el crecimiento, incrementar el rendimiento y la absorción de fósforo en el cultivo de maíz. Se ha concluido que el uso de estas rizobacterias podría significar la sostenibilidad de la producción de cultivos mediante diferentes mecanismos. Por otra parte, se ha considerado la utilización de la roca de fosfato como una fuente eficiente de fósforo que es una limitante importante para la agricultura en los países en desarrollo.

En la investigación hecha por Fadlalla (2016) evaluaron el efecto de dos fertilizantes microbianos, estiércol de pollo, urea y sus posibles combinaciones en el rendimiento de maíz. Los datos que se recolectaron fueron longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras/mazorca, número de semillas/hilera, peso de 100 granos, rendimiento de grano/planta y rendimiento de grano/ha. También determinaron los contenidos de humedad, ceniza, grasa, fibra cruda, proteína cruda, taninos y carbohidratos de los granos, los resultados reflejaron que los biofertilizantes incrementaron la productividad del cultivo, el estiércol de pollo favoreció el incremento

de rendimiento en grano por encima del testigo solamente. Las combinaciones de inoculantes fijadores de N₂ con estiércol o urea mejoraron la calidad del grano del maíz.

2.5 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos fueron los primeros fertilizantes utilizados por el hombre para favorecer el crecimiento de las plantas y aumentar la producción de las cosechas (Pérez *et al.*, 2008).

Con la aplicación de diferentes tipos de abonos orgánicos se generan distintos cambios sobre las propiedades del suelo, debido a que tienen características propias. Dentro de estas características se pueden mencionar su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad.; las cuales deben tenerse en cuenta dentro de las estrategias para un manejo integral de la materia orgánica del suelo (Varela 2007; Fortis *et al.*, 2009). Por otra parte, los abonos orgánicos pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de patógenos del suelo; además de que sirven como fertilizantes y mejoradores del suelo presentan una amplia variación de efectos que dependen del material aplicado y de su grado de descomposición (Pérez *et al.*, 2008; Fortis *et al.*, 2009).

En otro contexto, la aplicación de abonos estimula la producción de raíces finas lo que favorece la absorción de nutrimentos. Indirectamente, los abonos orgánicos pueden mejorar las propiedades físicas del suelo, como la estructura y la densidad aparente, mediante un efecto floculante propio de la materia orgánica. Esto mejora el movimiento del aire, el agua, y los nutrimentos; lo que permite incrementar el crecimiento y la penetración radical. Las enmiendas orgánicas también pueden aumentar la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y favorecer la proliferación de microorganismos benéficos (Chaimsohn *et al.*, 2007; Pérez *et al.*, 2008).

En la actualidad en los sistemas de producción la aplicación de abonos orgánicos es una práctica que se ha extendido a escala mundial, debido a que conlleva una mínima contaminación del ambiente y se han encontrado resultados satisfactorios; lo anterior ha fortalecido la idea del reciclaje eficiente de los desechos orgánicos de la actividad agropecuaria, así como el uso de los abonos orgánicos, de tal manera que

se reduzca al mínimo el uso de los fertilizantes sintéticos como vía de la nutrición de las plantas (Rodríguez *et al.*, 2009; Fortis *et al.*, 2009). Los abonos orgánicos crean a menudo la base para que el uso de los fertilizantes minerales sea exitoso. La combinación de abono orgánico/materia orgánica y fertilizantes minerales (Sistema Integrado de Nutrición de las Plantas, SINP) ofrece las condiciones ambientales que resultan ideales para el cultivo, cuando la aplicación de abono orgánico/materia orgánica mejoran las propiedades del suelo, el suministro de los fertilizantes minerales provee los nutrientes que las plantas necesitan (FAO, 2002). Hoy en día existe una gran diversidad de abonos orgánicos que son usados en la agricultura moderna. Algunos de ellos son:

Cuadro 1. Clasificación de los abonos orgánicos (Agüero y Elein, 2014)

Fuente de nutrimentos	Grado de procesamiento	Sólido	Líquidos
Materia orgánica	Sin procesar	Residuos vegetales: <ul style="list-style-type: none"> - Residuos de cosecha - Residuos de poda - Residuos de postcosecha Residuos animales: <ul style="list-style-type: none"> - Estiércoles frescos - Residuos de mataderos y otros Coberturas: <ul style="list-style-type: none"> - Abonos verdes y mulch 	Efluentes: <ul style="list-style-type: none"> - Pulpa café - Desechos de origen animal - Otros residuos líquidos
	Procesados	<ul style="list-style-type: none"> - Compost - Lombricomposto - Bocashi - Ácidos húmicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Biofermentos - Té compost - Ac. Húmicos - Té de estiércol - Extracto de algas

Las características químicas, físicas y biológicas dependen de la naturaleza de los residuos y del proceso a que se someten. Cabe señalar que los valores expresados en la Cuadro 2 pueden servir de referencia para evaluar dichos abonos, pero no deben tomarse como definitivos porque pueden variar según su procedencia.

Cuadro 2. Análisis químico de los abonos orgánicos más usados en la agricultura

Materia	%				
	Materia orgánica	N	P	K	C/N
Cachaza (CAI)	79	2.10	2.32	1.23	22/1
Estiércol vacuno fresco	65	1.50	0.62	0.90	25/1
Gallinaza camada	54	1.70	1.20	1.00	18/1
Estiércol porcino	45	2.50	0.60	0.50	10/1
Estiércoll ovino caprino	30	0.55	0.26	0.25	32/1
Estiércol equino	17	0.42	0.30	0.70	24/1
Estiércol conejo	40	1.25	1.01	1.18	19/1
Turba interior	60	1.12	0.71	0.14	31/1
Guano	48	3.50	5.25	0.80	8/1
Pulpa de cacao	91	3.21	1.15	3.74	16/1
Gallinaza pura	45	3.50	2.50	2.60	7/1
Paja de arroz	80	0.60	0.30	1.60	77/1
Cascarilla de arroz	80	0.70	0.40	0.80	66/1
Hoja de plátano	85	1.50	0.19	2.80	32/1
Pulpa de café	90	1.80	0.30	3.50	29/1
Hoja de frijol	93	2.00	0.58	2.20	27/1
Restos de hortaliza	70	1.10	0.29	0.70	37/1
Hollejos de naranja	73	0.74	1.32	0.86	57/1
Hierba seca (gramíneas)	70	0.50	0.30	0.90	81/1
Palo de tabaco	71	2.17	0.54	2.78	19/1
Hoja de maíz	97	0.18	0.38	1.64	312/1

2.5.1 Vermicompost

El compostaje y el lombricompostaje, son procesos aeróbicos de transformación de residuos orgánicos, animales y vegetales, que ocurren constantemente en la naturaleza bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores de la materia orgánica. Asimismo, mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, enfocado a una agricultura sostenible, en donde se disminuye y elimina el

empleo de agroquímicos a fin de proteger el ambiente, y la salud animal y humana (Acevedo *et al.*, 2004).

Vermicompost o vermicomposta se genera como resultado de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas de los residuos orgánicos, provocadas en el intestino de las lombrices. Los residuos se transforman en un material rico en elementos nutritivos, fácilmente asimilables para las plantas (Galindo *et al.*, 2014). Entonces la vermicompost es un tipo de composta en la cual cierto tipo de lombrices de tierra, e. g. *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*, transforman los residuos orgánicos en un subproducto estable denominado “vermicomposta” o “worm casting”. Los residuos de la ganadería son una “fuente de alimento” común para las lombrices, pero los residuos de los supermercados, los biosólidos (lodos de aguas negras) la pulpa de papel, y de la industria de la cerveza también se han utilizado en el proceso de vermicomposteo (Soto y Muñoz, 2002).

La descomposición de la materia orgánica bajo condiciones ambientales variables es una característica fundamental de los ecosistemas terrestres. En el caso del vermicomposteo, las interacciones complejas entre residuos orgánicos, microorganismos, lombrices y otros animales de la fauna del suelo provocan la bioxidación y estabilización de dichos residuos (De Luna *et al.*, 2016; Roychowdhury *et al.*, 2017). El sistema de vermicomposteo soporta complejas cadenas alimenticias, y al mismo tiempo, modifica diferentes formas químicas de diversos elementos nutritivos contenidos en los compuestos orgánicos, los cuales son importantes para la dinámica de los elementos nutritivos (Domínguez *et al.*, 2003; Roychowdhury *et al.*, 2017).

Los residuos animales más comunes son las excretas vacunas, gallinaza, porcícolas y de caballo. El manejo de la lombricultura, es una de las nuevas técnicas de la agricultura orgánica, en la que por medio del manejo de procesos naturales en el suelo, permiten favorecer su dinámica y como consecuencia, obtener un impacto benéfico en lo agrícola, social y económico (Morales *et al.*, 2009).

Para la producción de vermicompost es posible utilizar diversas fuentes de materia orgánica; estas pueden proceder de:

- Restos de cosechas. Los restos vegetales jóvenes o frescos, tales como hojas, frutos y tubérculos, son ricos en nitrógeno y pobres en carbono; lo contrario ocurre con restos como troncos, ramas, tallos, aserrines, etc.
- Abonos verdes. Residuos de césped, malas hierbas, etc.
- Las ramas de la poda de los frutales y otros árboles. Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compost, para que no se alargue demasiado el período de descomposición.
- Restos urbanos. Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes del sector doméstico, como pueden ser las basuras, los restos de cocina, de animales de mataderos, de mercados de productos agrícolas, etc.
- Estiércol animal. Se destaca el estiércol vacuno.
- Plantas marinas. Son compuestos ricos en N, P, C, oligoelementos y biocompuestos, cuyo aprovechamiento en la agricultura como fertilizante verde puede ser de gran interés.
- Algas. También pueden emplearse numerosas especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos.

El vermicompost, comparado con las materias primas que lo generan, tienen reducidas cantidades de sales solubles, mayor capacidad de intercambio catiónico, y un elevado contenido de ácidos húmicos totales. Debido a estas características, los residuos orgánicos procesados con lombrices tienen un potencial comercial muy grande en la industria hortícola (Moreno *et al.*, 2014).

2.5.2 Estiércol Bovino

En muchos de los agroecosistemas tradicionales, los pequeños productores de maíz utilizan estiércol como fuente de nutrientes para sus cultivos y con la finalidad de mejorar las características de sus suelos (Chichipe *et al.*, 2017). La sustentabilidad agrícola se encuentra cimentada en el grado de fertilidad del suelo, la calidad de este recurso permite hacer frente a los retos internacionales para mejorar la seguridad alimentaria en todo el mundo (Jacobo *et al.*, 2017). Muchos factores como la fertilidad del suelo, la nutrición desequilibrada, las propiedades alteradas del suelo, los cultivos que se cultivan, la infestación de malezas, etc., limitan su rendimiento en todo el mundo (Jacobo *et al.*, 2017). Se han practicado varios enfoques para el uso beneficioso de

los abonos, algunos de los ejemplos son el compostaje, la aplicación a la tierra y el uso como enmiendas en plantas (Agüero y Elein, 2014; Jjagwe *et al.*, 2020). Al usar abonos orgánicos como fuente de fertilización la agricultura puede beneficiarse de estos abonos y representa una forma para que la sociedad conserve el medio ambiente (Sheikha, 2016; Chichipe *et al.*, 2017).

El estiércol orgánico puede proporcionar nutrientes para los microorganismos del suelo, lo que aumenta las actividades microbianas en el suelo, lo que a su vez ayuda a convertir los nutrientes vegetales no disponibles en formas disponibles para promover el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, podría considerarse que el uso de fertilizantes orgánicos está reemplazando rápidamente el uso de fertilizantes inorgánicos (Roychowdhury *et al.*, 2016).

El estiércol que se genera en las unidades de producción agropecuaria se puede utilizar para mejorar las propiedades del suelo, pero también aporta cantidades considerables de nitrógeno (N) y otros nutrimentos esenciales para los cultivos (Pinos *et al.*, 2012; López *et al.*, 2015; Jaramillo *et al.*, 2016). En regiones productoras de leche es importante contar con áreas agrícolas, en las cuales se reciclen los nutrientes excretados por el bovino lechero, de lo contrario se generan riesgos de contaminación del agua por exceso de N (López *et al.*, 2015; Jacobo *et al.*, 2017). Sin embargo, en cuencas lecheras donde la producción de leche de ganado bovino se realiza en completa estabulación, la acumulación de estiércol en los corrales puede representar un serio problema de manejo del subproducto y de salud para el ganado. Dentro de los abonos orgánicos más utilizados en la región lagunera se encuentra el estiércol, esto es debido a que en esta región se concentra una gran cantidad de ganado bovino. La Comarca Lagunera es una de las principales cuencas lecheras del país, con una gran cantidad de cabezas de ganado bovino, alrededor de 500,000; las cuales producen alrededor de 619,000 t año⁻¹ en materia seca (Figuroa *et al.*, 2015).

Es de esperarse que mediante la adición continua al suelo de materiales orgánicos como el estiércol se incremente el contenido de materia orgánica, así como de las reservas de macro y micronutrimentos a mediano y largo plazo (Wong *et al.*, 2003). Con el uso de estiércol se tiene la ventaja de que los elementos nutritivos no quedan disponibles en el suelo en un solo momento para la planta; sino que, se van

incorporando a lo largo de todo el ciclo vegetativo. La aplicación de materia orgánica en forma de estiércol mejora las características físicas y químicas de suelos deteriorados (Vázquez, 2010).

En un estudio realizado por Trejo *et al.* (2013) en la Comarca Lagunera con el uso de estiércol bovino, se obtuvieron los siguientes datos químicos con respecto a el estiércol utilizado.

Cuadro 3. Propiedades químicas de estiércol bovino de la Comarca Lagunera (Trejo *et al.*, 2013)

Propiedades	Parámetro
pH	7.6
CE	0.63 dS m ⁻¹
MO	5.47%
N total	1.12%
NH ₄	0.1135 %
P	0.3535%
Ca	3.38%
Mg	0.71 %
K	3.27
Na	0.97 ppm

Este abono orgánico, varía sus parámetros químicos en dependencia de la alimentación del ganado. Cabe mencionar, que el estiércol ha sido utilizado desde tiempos remotos como fertilizante y su influencia sobre la fertilidad del suelo ha sido demostrada (Castellanos y Reyes, 1983; Vázquez *et al.*, 2011).

2.5.3 Problemática del uso de Bioinoculantes y Abonos Orgánicos

Con el uso de excretas de animales como abonos orgánicos utilizados como fuente de fertilización para los cultivos se pueden generar problemas de impacto ambiental repercutiendo en el suelo, agua e incluso generando un problema social en la salud humana (Pinos *et al.*, 2012). Se genera un problema social en la salud de la población debido a la contaminación de aguas subterráneas causada por nitratos; contaminación del aire por amonio, metano, malos olores y la transmisión de enfermedades por insectos vectores (Peralta *et al.*, 2016).

Es difícil predecir el resultado de las interacciones entre plantas y microorganismos benéficos del suelo y, más aún, entre las especies de microorganismos (Cano, 2011) no obstante, las comunidades microbianas asociadas con el sistema de raíces, se considera que desempeñan un papel clave en el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles.

2.5.3.1 Suelos

México en sus 196 millones de hectáreas cuenta con riquezas extraordinarias que presentan severos daños; los suelos están degradados en un 64 % principalmente por erosión hídrica y eólica (Hernández *et al.*, 2014), pero sufren también pérdida de nutrimentos, materia orgánica y organismos microscópicos del suelo, así como compactación, acidificación y otros procesos (Hernández *et al.*, 2010; Reza *et al.*, 2017). Uno de los principales problemas que se presentan con el uso de abonos orgánicos en el suelo es el alto contenido de nitratos y aunque hay investigaciones que refieren que el contenido de NO_3^- es más alto cuando la fuente de fertilización es inorgánica (Li *et al.*, 2017), también puede haber un problema grave de lixiviación cuando los abonos orgánicos como el estiércol se aplican sin un tratamiento previo, por las corrientes de agua que lo arrastran durante las tormentas o mediante el viento y por derrames de las lagunas o estanques de almacenamiento una vez que alcanzan el punto de saturación en el suelo los desechos fluyen en corriente, alcanzando los cuerpos de agua, pudiendo conducir un serio daño ambiental y peligro para la salud humana (Acevedo *et al.*, 2017) . Otro de los problemas que se ocasionan cuando la aplicación de estiércol es a dosis altas y de forma continua es la salinidad del suelo debido al incremento de la conductividad eléctrica esto trae como consecuencia la reducción del rendimiento (Salazar *et al.*, 2010).

2.5.3.2 Agua

A nivel mundial, la agricultura representa aproximadamente el 70 % de las extracciones mundiales de agua dulce. Los impactos de la agricultura en el agua se han convertido en el foco de estudio debido al alto volumen de uso, los cambios en los patrones climáticos y los impactos ambientales asociados.

El desarrollo de áreas agrícolas intensivas basadas en el riego con agua subterránea y la aplicación de N en áreas agrícolas ha tenido serios efectos

secundarios en los ecosistemas terrestres, incluyendo el agotamiento de las aguas subterráneas y la lixiviación de nitratos en las aguas subterráneas (Li *et al.*, 2017). Un uso eficiente de fertilizantes a base de nitrógeno es esencial para mantener una producción adecuada en el cultivo de maíz y minimizar la concentración de NO₃ y otros efectos potencialmente negativos al ambiente (Ziadi *et al.*, 2012).

Los desechos de ganado bovino causan degradación de los sistemas acuáticos por la contaminación de aguas superficiales (eutrofización) (Peralta *et al.*, 2016)

Es por ello que es recomendable para reducir los problemas de contaminación causado por las excretas de ganado bovino se empleen técnicas de manejo, una de ellas es la técnica de compostaje por la cual el estiércol es madurado, favoreciendo la formación de un material prehumificado fácilmente mineralizable y con importante carga bacteriana beneficiosa (Peralta *et al.*, 2016). El estiércol vacuno puede ser utilizado en la producción de biogás como fuente alternativa de energía renovable, mediante la técnica de biodigestión, proceso anaeróbico y de alimentación continua mediante el uso de los biodigestores (Peralta *et al.*, 2016). Como producto residual de la biodigestión se obtiene un efluente líquido (biol) y sólido (biosol) que pueden ser usados como abonos orgánicos también denominados bioabonos. Asimismo, por medio de esta técnica se obtiene beneficios funcionales por la reducción de los gases causantes del efecto invernadero.

En la mayoría de las investigaciones realizadas sobre el uso de abonos orgánicos (Salazar *et al.*, 2010; Pinos *et al.*, 2012; López *et al.*, 2015; Acevedo *et al.*, 2017; Avalos *et al.*, 2018) solo se manifiesta las bondades que tienen estos como bioremediadores del suelo.

2.5.4. Uso de abonos Orgánicos en el cultivo de maíz

Los nutrientes orgánicos e inorgánicos son importantes para la productividad de los cultivos y la salud del suelo; en una investigación realizada por Mahmood (2017) en el que evaluaron los efectos de diferentes abonos orgánicos, así como distintas fuentes de fertilización inorgánica y el impacto que la aplicación de ambos ya sea combinados o separados tienen en las propiedades físico químicas del suelo concluyeron que la integración de ambos puede utilizarse con dosis óptimas para

mejorar la productividad de los cultivos de manera sostenible. Así mismo consideran que su estudio puede ser útil en la elaboración de programas sostenibles de manejo de nutrientes en el futuro para mejorar la productividad de los cultivos con alta eficiencia y mínima pérdida de nutrientes.

Además de ser una fuente valiosa de nutrientes para los cultivos el efecto que el estiércol tiene en el incremento de rendimiento en el cultivo de maíz ha quedado bien establecido y se ha vuelto una fuente importante de nutrientes del suelo en situaciones en las que el uso de fertilizantes inorgánicos no es asequible (Soro *et al.*, 2015; Mohammed, 2019). Lo que hace que los abonos orgánicos sean favorables para su uso, es que son fertilizantes con alto contenido de materia orgánica, la concentración de nitrógeno y otros nutrientes necesarios para las plantas (Pinos *et al.*, 2012; Sheika, 2016), en contra parte con los fertilizantes sintéticos que en los países en desarrollo resulta cada vez más costoso y las repercusiones que tienen en el medio ambiente, afectando principalmente la productividad del suelo (Sheikha, 2016; Jjagwe *et al.*, 2020). Por otra parte, un manejo adecuado de abonos orgánicos ha apoyado el desarrollo de la agricultura orgánica que se considera como un sistema de producción agrícola orientado a la obtención de alimentos de alta calidad nutritiva, sin el uso de agentes químicos (Jacobo *et al.*, 2017).

En este contexto, Okoroafor *et al.* (2013) evaluaron el efecto del estiércol orgánico de aves con una dosis de 20 kg de corral y estiércol de cerdo a la misma dosis, así como un testigo en el desarrollo y rendimiento de maíz hecho en Ebonyi Nigeria. Los parámetros medidos fueron número de hojas, circunferencia del tallo, altura de la planta y número de granos y el peso de la mazorca después de la cosecha, concluyen que la gallinaza fue la que le dio mejores resultados y consideran que dado los costos tan altos de la fertilización inorgánica, el uso de abono orgánico resulta una opción como fuente de fertilización para los pequeños productores.

La importancia del cultivo de maíz se justifica por su contenido nutritivo, especialmente debido a la presencia de alto contenido de proteínas, minerales, vitaminas y otros nutrientes energéticos (Soro *et al.*, 2015). Ellos mencionan que en Costa Marfil la producción de maíz es insuficiente por lo que se han desarrollado varias estrategias para mejorar la producción, evaluaron el efecto del estiércol de pollo a una

dosis de 7 t ha^{-1} en combinación con 70 kg N ha^{-1} , en una variedad mejorada de maíz y una variedad de maíz utilizada para palomitas de maíz. Se evaluaron varios rasgos de crecimiento como la tasa de germinación, la altura, el diámetro, la cantidad de hojas, el nivel de inserción de la mazorca, la cantidad de mazorcas por planta y el rendimiento. Los resultados del estudio revelaron un impacto positivo del estiércol en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz y destacaron que es una buena alternativa para mejorar la productividad del maíz.

Para mantener altos rendimientos y proteger el medio ambiente, la sustitución de fertilizantes químicos por productos orgánicos ha recibido una atención creciente en los últimos años (Geng *et al.*, 2019), quienes realizaron una investigación de dos años para evaluar los efectos de sustituir cantidades iguales de fertilizante mineral con abono orgánico en el rendimiento, la absorción de materia seca (MS) y nitrógeno (N) del maíz de primavera y en la distribución mineral de N en el perfil del suelo. Los tratamientos incluyeron fertilizantes químicos; diferentes cantidades de paja de maíz, estiércol de vaca y estiércol de pollo; y un control no fertilizado. En los tratamientos donde la sustitución de fertilizantes inorgánicos por estiércol bovino y de pollo fue del 25% se reflejó un incremento en el rendimiento. La absorción de nitrógeno y contenido de materia seca fue mejor en la siguiente orden de aplicación: estiércol de pollo, estiércol bovino, fertilizante inorgánico, paja y el testigo. La distribución de N mineral en el suelo fue mayor con relación al incremento de la dosis, y a ciertas profundidades lo que refleja que cuando hubo un incremento de nitrógeno mineral condujo a la lixiviación. Estos autores mencionan que los resultados obtenidos sugieren que una proporción adecuada de sustitución orgánica no solo proporciona suficientes nutrientes sino que también mejora el ambiente del suelo y conduce a mayores rendimientos. Esta técnica representa un método práctico para aumentar continuamente la producción y reducir el riesgo de lixiviación de N.

El compost de residuos urbanos tiene el potencial de ser utilizado como fertilizante orgánico en la agricultura (Mantovani, 2017). En este estudio se evaluó de la fertilización con compost de residuos urbanos sobre las propiedades químicas del suelo, el rendimiento, los nutrientes y los contenidos de metales pesados, en las hojas y granos de maíz, usando 6 diferentes dosis de compost. En este trabajo se concluyó

que la fertilización con compost de residuos urbanos aumenta el rendimiento de grano y el contenido de N, P y K en el tejido de las hojas y los granos de maíz, sin inducir la contaminación de las plantas con metales pesados.

2.6 Fertilización química

Los fertilizantes tienen un papel fundamental en la producción de alimentos, fibras y energía. Estos insumos, permiten restituir a los suelos los elementos nutritivos que las plantas extraen, o que los suelos pierden por lavado, retrogradación y erosión, poniendo a disposición de los cultivos los nutrientes que precisan en cada momento. Los orgánicos, aunque también aportan nutrientes actúan, sobre todo, mejorando las propiedades físico químicas de los suelos y su actividad biológica, y los minerales, en cambio, aportan la mayor parte de los nutrientes que la planta precisa (García *et al.*, 2009; Moreno *et al.*, 2014).

2.6.1 Fertilización Química en Maíz

Dentro de las prácticas agronómicas para el cultivo de maíz, la fertilización química representa un manejo común en regiones de riego, cuya inversión representa alrededor del 30 % de los costos de producción. Sin embargo, especialmente en condiciones de temporal y debido al alto precio de ese insumo, el productor no aplica o reduce la fertilización química (García *et al.*, 2009; SAGARPA, 2012)

Los fertilizantes hacen su mejor contribución a la mejora solo si se encuentra dentro de un sistema jerárquico de buenas medidas tecnológicas y las dosis utilizadas están relacionadas con el cultivo, suelo, clima y el manejo del cultivo (Crista *et al.*, 2014). Ellos mencionan que la fertilización inorgánica influye en el rendimiento de maíz, lo que se refleja en un incremento de la producción, pero que aún no se ha logrado definir una dosis de nitrógeno que sea óptima, que debido a la naturaleza compleja de la variabilidad de suelo y clima de cada lugar los agricultores enfrentan serios desafíos para encontrar una dosis que resulte adecuada aplicar, dado que esta puede variar en cada ciclo, dependiendo de las condiciones mencionadas.

Baldotto *et al.* (2012) evaluaron el rendimiento de maíz en respuesta a la aplicación de dosis de NPK combinadas con la inoculación de la bacteria *Diazotrófica Herbaspirillum seropedicae* en un experimento en invernadero. El experimento

consistió en seis niveles de fertilizante: 0, 25, 50, 75, 100 y 200% de la dosis recomendada de NPK aplicada al maíz inoculado y no inoculado con *H. seropedicae*; después de los 30 días de la aplicación de los tratamientos y evaluar las características de crecimiento y estado nutricional de las plantas. Se observó un mejor desarrollo influenciado por la fertilización pero era mejor en combinación con la bacteria lo que resultó en aumentos significativos en la masa seca de los brotes, y el área de la hoja, en comparación con las plantas no inoculadas. Los resultados mostraron aumentos en la concentración de N, P y K de las plantas de maíz en respuesta a la inoculación bacteriana junto con NPK en comparación con las plantas que solo se fertilizaron.

Burke *et al.* (2019) consideran es crucial para aumentar y mantener en África, aunque el desequilibrio de nutrientes en la producción agrícola es actualmente una de las principales amenazas para el suelo. Ellos se plantearon como objetivo fue cuantificar el impacto del uso de fertilizantes en las características del suelo y rendimiento en maíz.

Considerando que el nitrógeno es el nutriente que en mayor cantidad demandan la mayoría de los cultivos entre estos el maíz forrajero, algunos autores consideran que una aplicación fraccionada de fertilizantes nitrogenados incrementa la eficiencia en el uso del N por el cultivo, en este contexto Cueto *et al.* (2013) determinaron la eficiencia de recuperación del N, en maíz forrajero, aplicando en forma fraccionada el fertilizante nitrogenado en cuatro etapas fenológicas del cultivo. Se aplicó una dosis de 300 kg N ha⁻¹ dividida en cuatro fracciones de 75 kg N ha⁻¹ cada una, correspondientes a cuatro etapas fenológicas del maíz: a la siembra, encañe, inicio de crecimiento de mazorca y emergencia de estigmas. Los resultados obtenidos sugirieron que la mejor forma de aplicar fertilizante nitrogenado es fraccionándolo tres

aplicaciones hasta la fase de inicio de crecimiento de la mazorca con una mayor aplicación en el encañe como se muestra en la Figura 6.

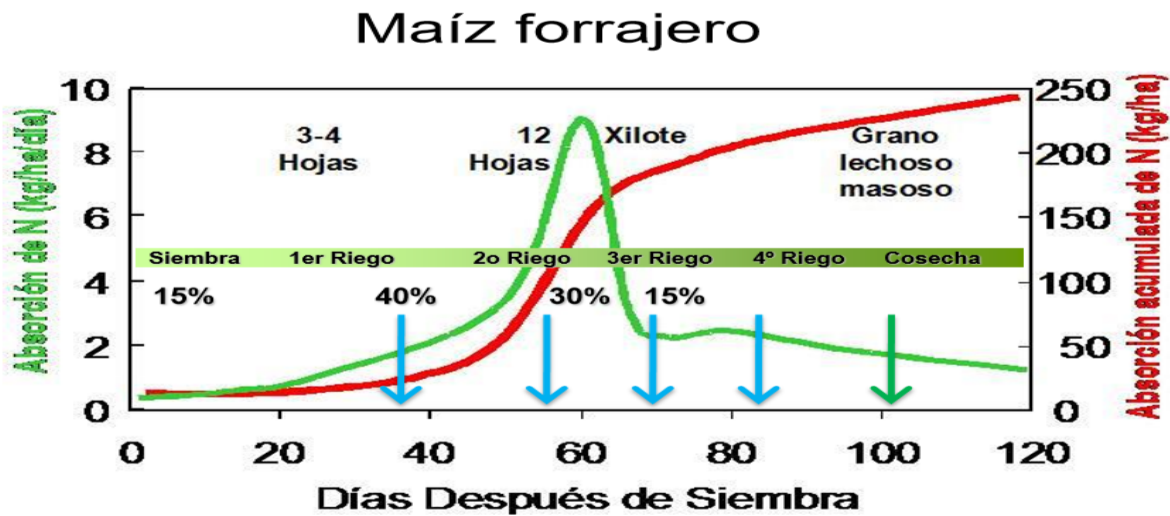


Figura 6. Cuando aplicar nitrógeno en maíz forrajero (Figueroa, 2016).

2.7. Cultivo de Maíz

El maíz (*Zea mays*) es una gramínea. Se han formulado diversas teorías respecto del origen del maíz cultivado, y en general se acepta que las especies silvestres teosinte y *Tripsacum* han estado asociadas al proceso de evolución del maíz. Se trata de una especie diploide, que consta de diez pares de cromosomas ($2n=2x$), se reproduce por semillas resultantes de la fecundación cruzada de óvulos dispuestos en una inflorescencia femenina (espiga), generalmente única y ubicada en posición axial. La fecundación se realiza con granos de polen producidos en una inflorescencia masculina (panoja) ubicada en la porción apical del tallo. La polinización es anemófila y el porcentaje de autofecundación es muy reducido (Rodríguez, 2018).

Es miembro de la familia de las gramíneas Poaceae, una clasificación que comparte con muchos otros cultivos agrícolas importantes, como trigo, arroz, avena, sorgo, cebada y caña de azúcar. El cultivo de maíz es uno de los principales cultivos del mundo en un área de 159 millones de hectárea (Mohammed, 2019). Se cree que el maíz, se originó en el centro de México hace 7000 años a partir de una hierba silvestre, y los nativos americanos transformaron el maíz en una mejor fuente de alimento (Ranum *et al.*, 2014; Rodríguez, 2018). El maíz contiene aproximadamente

72% de almidón, 10% de proteína y 4% de grasa, con una densidad energética de 365 Kcal/100 g y se cultiva en todo el mundo, siendo Estados Unidos, China y Brasil los tres principales países productores de maíz en el mundo, produciendo aproximadamente 563 de los 717 millones de toneladas métricas / año. El maíz puede procesarse en una variedad de productos alimenticios e industriales, incluidos almidón, edulcorantes, aceite, bebidas, pegamento, alcohol industrial y etanol combustible (Ranum *et al.*, 2014; Soro *et al.*, 2015; Naveed *et al.*, 2018, FAO, 2018).

La nutrición es la práctica agronómica a la cual responde más el cultivo de maíz, la cual resulta indispensable para su productividad (Sosa *et al.*, 2018). Los cultivares de alto rendimiento requieren fertilizantes máximos, lo que conduce a la disminución de la fertilidad del suelo, la eficiencia del uso de nutrientes, los micronutrientes disponibles para las plantas y obstaculiza los sistemas agrícolas y la disponibilidad de alimentos en los países en desarrollo (Naveed *et al.*, 2018; Jjagwe *et al.*, 2020).

En los últimos 10 años, el uso de maíz para la producción de combustible aumentó significativamente, representando aproximadamente el 40% de la producción de maíz en los Estados Unidos. A medida que la industria del etanol absorbe una mayor proporción de la cosecha de maíz, los precios más altos para el maíz intensificarán la competencia de la demanda y podrían afectar los precios del maíz para el consumo animal y humano (Ranum *et al.*, 2014; FAO, 2018)

2.7.1 Contexto internacional

El maíz, el trigo, el arroz, la papa y el frijol son la base de la alimentación de la población mundial; de estos cultivos, el maíz es el más sembrado en todo el mundo y de mayor consumo por la población (Paredes *et al.*, 2009; Sotelo, 2016). Los cereales que son los frutos de los pastos cultivados proporcionan a la humanidad más alimento que cualquier otra clase de alimentos y casi la mitad del requerimiento calórico total. Si bien hay alrededor de una docena de cultivos de cereales utilizados para alimentos, solo el trigo, el maíz y el arroz son fuentes importantes de alimentos humanos, lo que representa el 94% de todo el consumo de cereales (Ranum *et al.*, 2104).

El consumo de estos cereales varía ampliamente en toda la región; el trigo es el cereal preferido en Asia Central, Oriente Medio, Sudamérica y América del Norte y Europa. El arroz es el principal cereal en Asia, mientras que el maíz se prefiere en

África meridional y oriental, América Central y México (Ranum *et al.*, 2014). Son Estados Unidos, China y Brasil los tres principales productores de maíz en el mundo. Producen aproximadamente 563 de los 717 millones de toneladas métricas anuales (m tm/a) (Ranum *et al.*, 2014). En el cuadro 4 se presenta el comportamiento de la producción de maíz en el año 2011. Podemos observar que México se encuentra dentro de los primeros 10 productores a nivel mundial.

Cuadro 4. Comportamiento de la producción mundial de maíz (Ranum *et al.*, 2014)

Países	m tm/a
1. Estados Unidos	383
2. China	216
3. Brasil	82.5
4. Unión Europea	61
5. Argentina	36.5
6. Ucrania	26
7. México	24.5
8. India	24.5
9. Rusia	14
10. Sudáfrica	13

El maíz es el comodín agrícola que más se produce en el mundo. Debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y el uso industrial se ha convertido en uno de los productos más importantes en los mercados internacionales (Ranum, *et al.*, 2014; Sotelo, 2016). Su relevancia económica y social supera a la de cualquier otro cultivo. Adicionalmente, el cultivo y transformación del maíz es fuente de empleo y alimento para un número importante de personas en el mundo. Los principales países productores se encuentran Estados Unidos, China, Brasil, Argentina (Ranum *et al.*, 2014; Ortiz, 2015).

De acuerdo con cifras de la División de Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, por sus siglas en inglés), en la última década, México figura en el quinto lugar, tanto como productor de grano como de semilla. Por otro lado, en cuanto a demanda de alimentos se refiere, México es el mayor consumidor de maíz en el mundo, pues este grano representa alrededor del 30% del consumo diario calórico de los mexicanos, lo cual se explica por

el consumo per cápita anual de 120 kg, una cifra muy por encima del consumo promedio mundial de 17 kg (Ortiz, 2015). Se estima que el 61.9 % de la producción corresponde a consumo forrajero y el restante 38.1% es destinado para consumo humano, industrial y semilla (FIRA, 2016;).

El maíz en México se siembra en dos estaciones, primavera / verano (principalmente) seguido de otoño / invierno. La mayor parte de la producción es en la temporada primavera / verano, que representa el 75 % del total (Oishimaya, 2017; USDA, 2019).

La temporada principal de maíz depende de la lluvia para el desarrollo del cultivo, mientras que la segunda temporada se riega en gran medida. Debido al temporal en 2019 hubo inferior durante todo el año, este factor también contribuyó para que la superficie sembrada disminuyera. Los últimos informes de SADER/SIAP (2019) indican que la superficie sembrada durante el ciclo primavera/verano fue de 5.88 millones de hectáreas comparadas con las 6.17 que se sembraron en el mismo ciclo en 2018.



Figura 7. Maíz en México: Superficie sembrada más baja registrada (USDA, 2019)

2.7.1 Maíz Forrajero

En México el maíz es el cultivo de mayor importancia alimentaria y socioeconómica, donde cada año se destina para la siembra 8.5 millones de hectáreas, lo que representa el 65 % de la producción total de cereales. Aunque el grano es el interés básico y de mayor preponderancia a nivel nacional, también existe mercado que demandan otros productos, como la producción de elote y forraje

(INIFAP, 2012)

Este cultivo es de gran importancia en nuestro país, debido a que se utiliza para consumo humano y animal. En el caso del consumo animal, se utiliza como forraje fresco, ensilado o rastrojo, destinando su uso principalmente en la época de estiaje. En las cuencas lecheras de México el ensilado de maíz se utiliza comúnmente en la alimentación del ganado lechero, puede constituir de 30 a 40 % de la ración, en base seca, de vacas en producción (Zaragoza *et al.*, 2019). En 2017 se sembraron en el país 598 167 ha, se cosecharon 573 034 ha y se obtuvieron 16, 261, 864 toneladas de forraje, con un rendimiento promedio de 28.4 t ha⁻¹ (SIAP, 2017; Zaragoza, 2019).

La Comarca Lagunera es una de las cuencas lecheras más importantes a nivel nacional, donde se siembran aproximadamente, 39 413 ha de maíz forrajero con una producción de 1 500 808 t y el 90 % se siembra con híbridos comerciales para grano de compañías multinacionales. La magnitud de este sistema de producción, plantea la necesidad de proponer estrategias concernientes a la producción de forraje para su manutención, por lo que se ha seleccionado el maíz como forraje de importancia, ya que se considera como una planta de la cual se obtiene una alta producción (Espinoza *et al.*, 2003). Al respecto, Reta *et al.* (2002) y Guerrero *et al.* (2012) indican que es posible obtener hasta 80 t ha⁻¹ de forraje fresco y 24 t ha⁻¹ de forraje seco (30% de materia seca) con un contenido de grano de 45 a 50 %. 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. El maíz tiene importancia no solo porque es un producto básico para la alimentación humana, sino porque año con año se ha venido industrializando cada vez más, gracias a esto, de él se pueden obtener varios productos, también se utiliza para alimentación de ganado y recientemente para producir biocombustibles (Paliwal, 2001; Zaragoza *et al.*, 2019).

Por su amplia capacidad de adaptación y su elevado rendimiento, así como las posibilidades de mejora genética, hacen que el maíz sea un cultivo que debe ser debidamente explotado a fin de alimentar la creciente población mundial (De la Cruz *et al.*, 2009).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Comarca Lagunera. Se estableció en la pequeña propiedad El Trébol en el municipio de Francisco I. Madero, Coahuila. El municipio de Francisco I. Madero está localizado en las coordenadas latitud y longitud de 25° 46' y 103° 16' respectivamente. Se encuentra a una altitud de 1,100 metros sobre el nivel del mar. Este municipio se caracteriza por un clima muy seco semicálido durante la mayor parte del año con una temperatura media anual que oscila entre los 20°C y 22 °C.; su temporada de lluvias comprende las estaciones de primavera, verano y otoño (Vázquez *et al.*, 2010).

3.2 Tipo de suelo del predio

El suelo donde se estableció el experimento es de textura franco arcillo limoso, con pH de 7.98, conductividad eléctrica (CE) de 1.1 dS m⁻¹, materia orgánica (MO) de 1.29%, con 35.3 mg kg⁻¹ de N inorgánico (amonio + nitrato) y 6.4 mg kg⁻¹ de P aprovechable determinado por el método de Olsen.

3.3 Características del híbrido

El cultivo que se sembró en el ciclo primavera-verano fue maíz forrajero híbrido P3258W de la marca Pioneer. Es un maíz precoz, (100-105 días) alto, con grano de color amarillo. La densidad de siembra fue de 105 000 semillas por hectárea.

3.4 Bioinoculantes y abonos orgánicos

Previo a la siembra se obtuvieron los bioinoculantes y abonos orgánicos. Se utilizaron dos bioinoculantes comerciales: Blue Life (etiquetado como mejorador para suelo) y Blue 76 (etiquetado como biofertilizante). Ambos cuentan con certificado orgánico por el programa orgánico del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de Norteamérica (USDA, por sus siglas en inglés). El estiércol fue adquirido en el establo “El Rosario” ubicado en el Ejido La Partida, municipio de Torreón, Coahuila; que pertenece al mismo grupo productivo dueño de la pequeña donde se estableció el experimento. La vermicomposta fue adquirida en el Instituto Tecnológico de Torreón ubicado en el Ejido Rancho de Ana, municipio de Torreón, Coahuila. En el Cuadro 5 se observa la información de las propiedades químicas y el contenido de nutrientes de

los abonos orgánicos usados en el trabajo de investigación.

Cuadro 5. Algunas propiedades químicas y contenido de nutrientes de los abonos orgánicos utilizados en el presente estudio

Parámetro	Unidades	Estiércol	Vermicompost
Humedad	%	30	18
pH		8.9	9.2
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	2.4	1.9
Nitrógeno	%	1.15	0.99
Fósforo	%	0.57	1.28
Potasio	%	1.02	1.53
Calcio	%	1.35	4.02

3.5 Diseño experimental

Se utilizó un arreglo de parcelas divididas y distribución en bloques completos al azar, con tres repeticiones. En la parcela mayor se aplicó un bioinoculante para suelo a tres niveles (0, 20 y 40 L ha⁻¹); en la parcela menor se aplicaron cuatro fuentes de fertilización y un testigo sin fertilizar, las fuentes fueron : 1) vermicompost a dosis de 5 (V5) y 10 (V10) t ha⁻¹; 2) estiércol bovino a una dosis de 80 t ha⁻¹; 3) fertilizante orgánico comercial (Blue 76) con 32 % de ácidos húmicos y fúlvicos, en dosis de 2.5 (B76-2.5) y 5 (B76-5.0) L ha⁻¹; 4) fertilizante inorgánico a una dosis de 191-75-30 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, con urea, fosfato monoamónico y cloruro de potasio como fuentes; y 5) el testigo.

Los bioinoculantes fueron proporcionados por la empresa Brio AgroScience S.A.).

La dosis de estiércol se estimó para aportar alrededor de 200 kg ha⁻¹ de N aprovechable, con base en el contenido de N (1.15 %), asumiendo una tasa de mineralización de 45 % y una eficiencia de uso del N de 70 % (Figuroa *et al.*, 2010).

3.6 Siembra

Cada unidad experimental fue de ocho surcos separados a 0.75 m, por 6 m de largo. La siembra se realizó el 28 de abril de 2016 con el híbrido P3258W® Pioneer®, con una densidad de siembra de 8 semillas por m lineal (101 semillas ha⁻¹). Previo a la siembra, los abonos orgánicos fueron esparcidos manualmente en las parcelas

chicas, de acuerdo con las dosis; luego se aplicó el bioinoculante e inmediatamente después se realizó el riego de aniego o pre siembra.

3.7 Fertilización inorgánica y manejo del cultivo

El manejo del cultivo, desde labores presiembra, y las que se realizaron una vez establecido el cultivo, así como los riegos, dosis y fuente de fertilización inorgánica utilizada, se hicieron conforme a lo que el productor tiene programado.

La fertilización inorgánica fue distribuida en tres aplicaciones: 16 % del N más todo el P y todo el K se aplicaron a la siembra. Posteriormente 60 % del N se aplicó antes del primer riego de auxilio, 30 días después de la siembra (dds), y el 25% restante de N se aplicó antes del segundo riego, 48 dds. Después del riego de pre siembra se dio un riego a los 15 dds y cuatro riegos más con un intervalo de 18 días entre cada uno. Se realizaron dos aplicaciones de insecticidas: clorantropilol, con una dosis de 100 mL ha⁻¹, para el control de gusano cogollero, y abamectina a 500 mL ha⁻¹, para control de la araña roja.

3.8 Colecta de información

Previo a la aplicación de los tratamientos, se tomó una muestra compuesta de suelo en el lote experimental, a una profundidad de 0-30 cm. Después de la cosecha se tomaron muestras compuestas por cada parcela experimental. En ambos casos se analizaron las siguientes variables: MO, pH, CE, N inorgánico y P, todos con base en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

La cosecha se hizo de forma manual, cuando la maduración del grano estaba aproximadamente en un tercio de avance de la línea de leche, a los 102 dds. Se tomaron los dos surcos centrales de cada unidad experimental. Se cortaron las plantas de cuatro metros lineales de cada surco para evitar el efecto de orilla y se determinó el rendimiento de forraje verde (RFV). El porcentaje de materia seca (MS) se determinó en muestras representativas de cinco plantas cada parcela, secadas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 °C hasta peso constante. El rendimiento de forraje seco (RFS) se estimó con el valor de forraje verde y el porcentaje de MS. La altura de las plantas se evaluó al momento de la cosecha, midiendo 10 plantas representativas de cada parcela. La muestra de planta donde se determinó la MS se molió y se determinó la concentración de N y P. El N se analizó mediante

espectroscopía de reflectancia de infrarrojo cercano (NIR), mientras que el P se analizó por digestión seca y espectrofotometría de rango visible, con molibdato de amonio-meta vanadato (Jones, 2001).

Los datos se examinaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño de parcelas divididas en bloques al azar; también se hizo una comparación de medias de los tratamientos utilizando la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis inicial de suelo

El análisis inicial de suelo indicó que la MO es baja; es un suelo medianamente alcalino y ligeramente salino, con concentraciones medias de N y P (Cuadro 6). Las características de MO y pH son típicas de suelos de zonas áridas del Norte de México, donde se ubica la Región Lagunera.

Cuadro 6. Análisis de suelo del predio donde se estableció el experimento, previo a la aplicación de los tratamientos

Variable	Unidades	Valor	Clasificación
Materia orgánica	%	1.29	Bajo
pH		7.98	Medianamente alcalino
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	1.1	Muy ligeramente salino
N inorgánico	mg kg ⁻¹	35.3	Medio
P (Olsen)	mg kg ⁻¹	6.4	Medio

4.1.2 Materia orgánica

En los análisis realizados al final del experimento, se registraron diferencias significativas entre niveles de bioinoculante y entre fuentes de fertilización. Para el bioinoculante, la dosis de 40 L ha⁻¹ fue la que tuvo mayor concentración de MO, con 1.95 % (Cuadro 7). Las fuentes de estiércol y vermicompost (10 t ha⁻¹), tuvieron los valores mayores de MO, con 2.19 y 1.88 % respectivamente (Cuadro 7).

4.1.3 Conductividad Eléctrica

No hubo diferencia estadística para CE entre niveles de bioinoculante, con valores entre 1.04 y 1.20 dS m⁻¹. Las diferencias entre fuentes de fertilizante fueron significativas, siendo más alta (1.4 dS m⁻¹) donde se aplicó estiércol (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores medios para las características de suelo, en el cultivo de maíz forrajero con dosis de bioinoculante y fuentes de fertilización

Bioinoculante L ha ⁻¹	Fertilizante	Materia Orgánica %	CE dS m ⁻¹	pH	Nitrógeno inorgánico mg kg ⁻¹	Fósforo mg kg ⁻¹
0	V5	0.99	1.18	8.11	21.64	15.23
0	V10	1.57	1.15	8.12	21.64	11.27
0	E	2.02	1.40	8.16	26.76	26.40
0	FI	0.87	1.25	8.09	15.33	11.20
0	B76-2.5	1.48	1.34	8.12	21.94	13.60
0	B76-5.0	1.57	1.01	8.13	23.45	16.57
0	T	1.00	1.1	8.14	12.02	6.17
20	V5	2.02	1.05	7.90	32.17	19.37
20	V10	1.66	0.92	8.10	30.43	27.53
20	E	2.24	1.46	8.09	34.57	38.30
20	FI	1.34	0.92	8.11	21.04	13.77
20	B76-2.5	1.39	0.87	8.01	23.15	17.3
20	B76-5.0	1.48	1.03	8.05	26.76	18.17
20	T	1.04	1.03	7.80	17.74	11.33
40	V5	2.28	1.05	7.78	29.31	19.67
40	V10	2.42	1.35	8.00	35.47	37.60
40	E	2.33	1.33	7.93	41.48	41.77
40	FI	1.39	1.20	8.22	26.45	15.90
40	B76-2.5	1.71	1.11	7.99	26.45	17.73
40	B76-5.0	2.11	1.21	7.95	29.76	20.57
40	T	1.39	1.13	8.02	22.55	12.53
Efectos principales						
Bioinoculante	0	1.36 c	1.20	8.12	20.4	15.43
	20	1.60 b	1.04	8.01	25.55	20.82
	40	1.95 a	1.20	7.99	30.21	23.68
Fertilizante	V5	1.76 bc	1.09 b	7.93 c	27.71	18.09
	V10	1.88 ab	1.14 b	8.07 ab	29.18	28.00
	E	2.19 a	1.40 a	8.06 ab	34.27	35.49
	FI	1.22 d	1.12 b	8.14 a	20.94	13.62
	B76-2.5	1.52 c	1.15 b	8.04 abc	23.85	16.21
	B76-5.0	1.72 bc	1.08 b	8.04 abc	26.65	18.43
	T	1.14 d	1.09 b	7.98 bc	17.44	10.01

V5 (vermicompost 5 t ha⁻¹), V10 (vermicompost 10 t ha⁻¹), E (estiércol 80 t ha⁻¹), FI (fertilizante inorgánico), B76-2.5 (fertilizante orgánico 2.5 L ha⁻¹), B76-5.0 (fertilizante orgánico 5 L ha⁻¹) y T (testigo).

†Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$).

4.1.4 pH

No hubo diferencias de pH por efecto del bioinoculante, con valores de 7.99 a 8.12 en las diferentes dosis. Las diferencias por efecto del fertilizante si fueron

significativas, donde el estiércol (8.14) fue superior al testigo y al tratamiento V5. El efecto del tratamiento V5 fue similar al testigo (Cuadro 7).

4.1.5 Nitrógeno inorgánico

Existió diferencia significativa para la interacción entre bioinoculante y fuente de fertilización ($p < 0.001$). Las diferencias entre dosis de bioinoculante, dentro de cada fuente de fertilizante, fueron significativas, excepto en los tratamientos con B 76. En general, se observa un incremento de N al aumentar la dosis de bioinoculante, excepto en el tratamiento V5. La variación entre fuentes de fertilización dentro de cada nivel de bioinoculante, fue significativa, registrándose los valores más altos en el estiércol (Cuadro 8).

Cuadro 8. Separación de medias de la interacción entre bioinoculante y fuente de fertilización, para el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo

Fertilizante	Bioinoculante para suelo ($L\ ha^{-1}$)		
	0	20	40
V5	21.64 B [†] b ^{††}	32.17 A bc	29.31 A c
V10	21.64 B b	30.43 A b	35.47 A b
E	26.76 C a	34.57 B a	41.48 A a
FI	15.33 C c	21.04 B d	26.45 A cd
B76-2.5	21.94 b	23.15 cd	26.45 cd
B76-5.0	23.45 ab	26.76 bc	29.76 c
T	12.02 B c	17.74 AB e	22.55 A d

V5 (vermicompost 5 t ha^{-1}), V10 (vermicompost 10 t ha^{-1}), E (estiércol 80 t ha^{-1}), FI (fertilizante inorgánico), B76-2.5 (fertilizante orgánico 2.5 L ha^{-1}), B76-5.0 (fertilizante orgánico 5 L ha^{-1}) y T (testigo).

[†]Letras mayúsculas diferentes indican diferencia significativa entre dosis de bioinoculante ($\alpha = 0.05$).

^{††}Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre fertilizantes ($\alpha = 0.05$).

4.1.6 Fósforo

Se presentó diferencia significativa para la interacción entre bioinoculante y fuente de fertilización ($p < 0.0001$). Las diferencias entre dosis de bioinoculante, dentro de cada fuente de fertilizante, fueron significativas, excepto en los tratamientos con V5, FI y B76-2.5. Similar al caso de N, en todas las fuentes de fertilización se

incrementó la concentración de P al aumentar la dosis de bioinoculante. (Cuadro 9). Las fuentes de fertilización por nivel de bioinoculante presentaron diferencias significativas, registrándose el valor más alto con el estiércol y el más bajo en el testigo.

Cuadro 9. Separación de medias de la interacción entre bioinoculante y fuente de fertilización, para el contenido de fósforo en el suelo

Fertilizante	Bioinoculante para suelo (L ha ⁻¹)		
	0	20	40
V5	15.23 A [†] bc ^{††}	19.37 A c	19.67 A b
V10	18.87 C b	27.53 B b	37.6 A a
E	26.40 B a	38.30 A a	41.77 A a
FI	11.20 A d	13.77 A de	15.90 A bc
B76-2.5	13.60 A cd	17.30 A cd	17.73 A bc
B76-5.0	16.57 B bc	18.17 B c	20.57 A b
T	6.17 B e	11.33 A e	12.53 A c

V5 (vermicompost 5 t ha⁻¹), V10 (vermicompost 10 t ha⁻¹), E (estiércol 80 t ha⁻¹), FI (fertilizante inorgánico), B76-2.5 (fertilizante orgánico 2.5 L ha⁻¹), B76-5.0 (fertilizante orgánico 5 L ha⁻¹) y T (testigo).

[†]Letras mayúsculas diferentes indican diferencia significativa entre dosis de bioinoculante ($\alpha = 0.05$).

^{††}Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre fertilizantes ($\alpha = 0.05$).

4.2 Variables de rendimiento

4.2.1 Forraje verde y forraje seco

En lo que se refiere al bioinoculante aplicado al suelo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos para rendimiento de forraje verde y forraje seco. En las parcelas con 40 L ha⁻¹, el rendimiento de forraje verde fue de 63.2 t ha⁻¹, comparado con 59.2 t ha⁻¹ en las otras dos dosis. Con respecto a la fuente de fertilizante, las diferencias en rendimiento fueron significativas; las parcelas con estiércol mostraron el mayor rendimiento, con un promedio de 69.2 t ha⁻¹ de forraje verde y 24.0 t ha⁻¹ forraje seco (Cuadro1)

4.2.2 Porcentaje de materia seca (MS)

No se tuvo diferencia significativa entre dosis de bioinoculante, ni entre fuentes de fertilización, ni para la interacción entre ambos factores. Los tratamientos con alguna fuente de fertilizante mostraron porcentajes de MS entre 33.7 y 34.9 %, en tanto que el testigo tuvo 36.7 % en promedio de MS (Cuadro 10).

4.2.3 Altura de planta

No hubo diferencias para altura de planta por efecto del bioinoculante, ni por la interacción con la fuente de fertilización. La altura promedio para la dosis mayor fue de 2.51 m. Las diferencias entre fuentes de fertilizante con respecto a la altura de planta si resultaron significativas, observándose que el testigo tuvo la menor altura, con 2.33 m, mientras que en las parcelas con alguna fuente de fertilización la altura varió de 2.44 a 2.51 m (Cuadro 10).

4.2.4 Nitrógeno en planta

En el caso de N, no se detectó efecto significativo de la interacción; las diferencias entre dosis de bioinoculante no fueron significativas, pero entre fuentes de fertilizante sí. El tratamiento con estiércol tuvo el valor más alto con 1.37 %, y fue mayor al del fertilizante inorgánico y al testigo, con 1.31 y 1.21 %, respectivamente (Cuadro 11).

4.2.5 Fósforo en planta

La concentración de fósforo en planta varió en forma significativa ($p < 0.01$) para la interacción bioinoculante x fuente de fertilización. Las diferencias entre dosis de bioinoculante, dentro de cada fuente de fertilizante, fueron significativas sólo en V5. (Cuadro 11).

Cuadro 10. Valores medios para rendimiento de forraje verde (RFV), porcentaje de materia seca (MS), rendimiento de forraje seco (RFS) y altura de planta (AP) para maíz forrajero, con dosis de bioinoculante y fuentes de fertilización

Bioinoculante para suelo	Fertilizante	RFV t ha ⁻¹	MS %	RFS t ha ⁻¹	AP M
0	V5	57.43	34.9	19.93	2.42
0	V10	63.30	32.9	21.97	2.43
0	E	66.60	35.1	23.11	2.54
0	FI	63.30	36.0	21.97	2.49
0	B76-2.5	56.23	35.0	19.51	2.37
0	B76-5.0	60.13	34.0	20.87	2.49
0	T	47.17	37.8	16.37	2.21
20	V5	63.30	33.9	21.97	2.45
20	V10	60.53	34.1	21.01	2.46
20	E	64.97	32.9	22.55	2.51
20	FI	57.77	34.9	20.05	2.40
20	B76-2.5	58.97	34.9	20.50	2.43
20	B76-5.0	56.63	33.8	19.66	2.48
20	T	52.17	36.8	18.10	2.32
40	V5	64.40	34.1	22.35	2.57
40	V10	61.63	34.0	21.39	2.50
40	E	76.10	33.1	26.41	2.50
40	FI	68.30	33.9	23.70	2.51
40	B76-2.5	55.00	34.1	19.09	2.51
40	B76-5.0	63.30	34.0	21.97	2.53
40	T	53.30	35.5	18.50	2.46
Efectos principales					
Bioinoculante	0	59.17	35.1	20.53	2.42
	20	59.19	34.5	20.55	2.43
	40	63.15	34.1	21.91	2.51
Fertilizante	V5	61.7 b	34.3	21.4 b	2.48 a
	V10	61.8 b	33.7	21.5 b	2.46 a
	E	69.2 a	33.7	24.0 a	2.51 a
	FI	63.1 b	34.9	21.9 b	2.46 a
	B76-2.5	56.7 c	34.7	19.7 c	2.44 a
	B76-5.0	60.0 bc	33.9	20.8 bc	2.50 a
	T	50.9 d	36.7	17.7 d	2.33 b

V5 (vermicompost 5 t ha⁻¹), V10 (vermicompost 10 t ha⁻¹), E (estiércol 80 t ha⁻¹), FI (fertilizante inorgánico), B76-2.5 (fertilizante orgánico 2.5 L ha⁻¹), B76-5.0 (fertilizante orgánico 5 L ha⁻¹) y T (testigo).

†Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa p≤0.05

Cuadro 11. Valores medios de la concentración de nitrógeno y fósforo en plantas del cultivo de maíz forrajero, con dosis de bioinoculante y fuentes de fertilización

Bioinoculante para suelo l ha ⁻¹	Fertilizante	Fósforo ----- % -----	Nitrógeno	
0	V5	0.11	1.34	
0	V10	0.17	1.31	
0	E	0.18	1.32	
0	FI	0.14	1.32	
0	B76-2.5	0.14	1.29	
0	B76-5.0	0.17	1.29	
0	T	0.08	1.17	
20	V5	0.16	1.35	
20	V10	0.17	1.31	
20	E	0.17	1.38	
20	FI	0.16	1.37	
20	B76-2.5	0.18	1.38	
20	B76-5.0	0.17	1.38	
20	T	0.12	1.22	
40	V5	0.17	1.35	
40	V10	0.19	1.35	
40	E	0.19	1.41	
40	FI	0.15	1.24	
40	B76-2.5	0.17	1.39	
40	B76-5.0	0.18	1.42	
40	T	0.13	1.24	
Efectos principales				
Bioinoculante		0	0.14	1.29
		20	0.16	1.34
		40	0.17	1.34
Fertilizante		V5	0.15	1.35 ab [†]
		V10	0.17	1.32 ab
		E	0.18	1.37 a
		FI	0.15	1.31 b
		B76-2.5	0.16	1.34 ab
		B76-5.0	0.18	1.36 ab
		T	0.11	1.21 c

V5 (vermicompost 5 t ha⁻¹), V10 (vermicompost 10 t ha⁻¹), E (estiércol 80 t ha⁻¹), FI (fertilizante inorgánico), B76-2.5 (fertilizante orgánico 2.5 L ha⁻¹), B76-5.0 (fertilizante orgánico 5 L ha⁻¹) y T (testigo).

[†]Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($\alpha = 0.05$)

A diferencia de P en el suelo, no se observó tendencia consistente de incremento del P al aumentar el nivel de bioinoculante. Las diferencias entre fuentes de fertilizante, por nivel de bioinoculante, fueron significativas, registrándose los valores más bajos en el testigo (de 0.084 a 0.135 %), mientras que en los demás tratamientos la varió de 0.110 a 0.192 % (Cuadro 12).

Cuadro 12. Separación de medias para concentración de fósforo en planta, de la interacción entre bioinoculante y fuente de fertilización, en el cultivo de maíz forrajero

Fuente de fertilizante	Bioinoculante para suelo		
	0	20	40
V5	0.110 B [†] de ^{††}	0.163 A a	0.173 A bc
V10	0.168 A ab	0.166 A a	0.187 A ab
E	0.183 A a	0.171 A a	0.192 A a
FI	0.144 A bc	0.156 A a	0.154 A d
B76-2.5	0.137 A cd	0.175 A a	0.166 A cd
B76-5.0	0.173 A ab	0.170 A a	0.182 A ab
T	0.084 A e	0.115 A b	0.135 A e

V5 (vermicompost 5 t ha⁻¹), V10 (vermicompost 10 t ha⁻¹), E (estiércol 80 t ha⁻¹), FI (fertilizante inorgánico), B76-2.5 (fertilizante orgánico 2.5 L ha⁻¹), B76-5.0 (fertilizante orgánico 5 L ha⁻¹) y T (testigo).

[†]Letras mayúsculas diferentes indican diferencia significativa entre dosis de bioinoculante ($\alpha = 0.05$).

^{††}Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa entre fertilizantes ($\alpha = 0.05$).

Materia Orgánica. La MO se incrementó de 24 a 51% con respecto al valor inicial, al incrementar la dosis de bioinoculante. También, el estiércol incrementó la MO (70 %), mientras que el fertilizante inorgánico y el testigo tuvieron los valores más bajos. Fortis *et al.* (2009) y Salazar *et al.* (2007), obtuvieron un incremento similar en el contenido de materia orgánica al término de sus experimentos, en donde se hizo la aplicación de compost y estiércol bovino. La aplicación de abonos orgánicos puede incrementar la MO del suelo de manera sostenida en el mediano y largo plazo. En este sentido, Trejo *et al.* (2013) encontraron que la adición de abonos orgánicos al suelo por un periodo

de 10 años incrementó la MO, de un valor inicial de 1 % hasta 4.9 % al término de la investigación.

Conductividad Eléctrica. La CE se incrementó significativamente con el uso de estiércol (1.40 dS m^{-1}), con respecto al fertilizante inorgánico (1.12 dS m^{-1}) y al testigo (1.09 dS m^{-1}). Salazar *et al.* (2007) hacen mención de que la CE se incrementa debido a que el estiércol contiene hasta 5% de sales solubles, sin embargo, mucha de estas sales son a la vez nutrimentos para el cultivo. Lo anterior sugiere que el uso y manejo del estiércol se debe hacer con responsabilidad, aunado a un seguimiento por medio de los análisis de suelo. 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 disminuye en 7.4% por cada unidad que se incremente la CE (Grieve *et al.*, 2012).

pH. El pH varió de 7.93 a 8.14. Fortis *et al.* (2009) obtuvieron incrementos ligeros en el pH después de la aplicación de compost y fertilización inorgánica. Salazar *et al.* (2007) y Hariadi *et al.* (2016) encontraron que al aplicar estiércol bovino aumenta el pH, pero aún en estas condiciones la mayoría de los maíces pueden crecer sin que el rendimiento se vea afectado.

Nitrógeno inorgánico. La dosis de bioinoculante incrementó la concentración de N en el suelo en todos tratamientos de fertilizante, pero no incrementó el rendimiento; lo anterior indica que los microorganismos incluidos en el bioinoculante promovieron una mayor mineralización de N del estiércol y de la MO del suelo. Con respecto a la fuente de fertilizante, las parcelas con estiércol presentaron la mayor concentración de N: 57 % más que el fertilizante inorgánico y 84 % más que el testigo. Este incremento se debe en parte a que el N total incorporado fue de 644 kg ha^{-1} , a partir del cual ocurre la mineralización; estos resultados son similares a los de Ramírez *et al.* (2016), quienes reportan un incremento significativo de 56 % en el contenido de nitrógeno después de un ciclo de maíz forrajero, al aplicar 40 t ha^{-1} de estiércol bovino.

Fósforo. Al igual que con N, la dosis de bioinoculante incrementó la concentración de P en el suelo en todos tratamientos de fertilizante. Entre fuentes de fertilizante, la concentración de P fue mayor en las parcelas con estiércol, ya que este abono aportó 319 kg ha^{-1} de P y la mineralización de P es mayor que la de N (Eghball *et al.*, 2002).

Mohammad *et al.* (2009) mencionan que la mayoría del P en el suelo se encuentra en forma no disponible para las plantas, por lo que el uso de microorganismos, como los del bioinoculante, ayuda a la solubilización de este nutriente, de tal manera que pueda ser absorbido por la planta. Los valores de P en el presente estudio fueron menores a los encontrados por Fortis *et al.* (2009), quienes registraron 27.6 mg kg⁻¹ de P al final de un ciclo de cultivo, con el uso de compost.

Forraje verde y forraje seco. Los resultados obtenidos muestran que el estiércol puede producir rendimientos de forraje de maíz similar o superior al uso de fertilizante inorgánico; esto se debe a que abastecen de nutrimentos esenciales para el cultivo. Resultados similares fueron obtenidos por López *et al.* (2014) en algodónero, quienes obtuvieron mayor rendimiento con 80 t ha⁻¹ de estiércol solarizado. Wang *et al.* (2017) demostraron que, con la aplicación continua de estiércol, el rendimiento de maíz de grano puede incrementarse entre 5 a 16 %. Los resultados anteriores indican que el estiércol puede sustituir el uso de fertilizantes inorgánicos, sin disminuir el rendimiento, lo cual permite reciclar los nutrientes en el sistema de producción forraje-leche y disminuir los riegos de contaminación.

Porcentaje de materia seca. El porcentaje de materia seca es importante para un adecuado proceso de ensilaje y depende del grado de madurez del cultivo. Núñez *et al.* (2012), encontraron valores de 24 a 38 % de MS cuando se cosecharon 30 híbridos de maíz a una maduración de grano de un tercio de línea de leche, similar al criterio del presente estudio. De acuerdo con los resultados obtenidos, ni el bioinoculante ni los fertilizantes afectaron significativamente el porcentaje de MS. López *et al.* (2015) obtuvieron valores de materia seca de 33 a 36 % con el uso de estiércol, valores similares a los del presente trabajo.

Altura de planta. Mientras el bioinoculante al suelo no afectó la altura de la planta, todos los fertilizantes aumentaron la altura (6.4 % en promedio) con respecto al testigo, lo cual comprueba la importancia de una adecuada fertilización para no afectar el desarrollo del cultivo. En este contexto, Fortis *et al.* (2009) reportaron alturas menores, con un promedio de 1.86 m en maíz forrajero, al aplicar abonos orgánicos. Los resultados obtenidos son similares a los de López *et al.* (2015), quienes obtuvieron

alturas promedio de 2.49 a 2.56 m en plantas de maíz forrajero, al aplicar estiércol bovino.

Fósforo y nitrógeno en planta. La menor concentración de N en la planta con respecto al testigo se puede explicar porque el N en el suelo al inicio del experimento (35 mg kg^{-1}) fue insuficiente para abastecer al cultivo; lo anterior se puede deducir al calcular la extracción de N en la biomasa cosechada. Por ejemplo, el tratamiento con estiércol extrajo en promedio 329 kg ha^{-1} ($24 \text{ ton ha}^{-1} \times 1.37 \%$ de N; Cuadros 6 y 7), mientras que el testigo solo extrajo 214 ton ha^{-1} . Estos valores son superiores a los registrados por Figueroa *et al.* (2010), quienes obtuvieron valores de extracción entre 208 y 253 kg ha^{-1} , en tres años de estudio. Con respecto al porcentaje de P en la planta, los valores registrados en el presente estudio tienen un rango menor (0.110 a 0.192%), comparado con el reportado por Lentz *et al.* (2012), quienes obtuvieron valores de P de 0.151 a 0.158% en maíz para ensilaje fertilizado con estiércol.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Considerando el deterioro que una agricultura intensiva está ocasionando en los suelos, la búsqueda de alternativas que contrarresten esto se ha vuelto un tema de investigación de prioridad. Es por ello que sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética resulta una opción viable sin que el rendimiento se vea afectado y de esta manera contribuir a recuperar la fertilidad del suelo.

La aplicación de bioinoculante al suelo no aumentó el rendimiento de maíz forrajero, sin embargo, incrementó la MO, el N y P disponible en el suelo en todos los fertilizantes evaluados, lo que sugiere que el bioinoculante utilizado promueve la mineralización de los abonos orgánicos y de la MO nativa del suelo. El estiércol fue el único de los fertilizantes que aumentó el rendimiento, en un 9.6 %. Los resultados obtenidos indican que es posible sustituir los fertilizantes inorgánicos por abonos orgánicos e inoculantes, sin afectar el rendimiento.

Al observar que las propiedades del suelo se ven mejoradas por la aplicación de bioinoculantes y abonos orgánicos y que el rendimiento en el cultivo de maíz forrajero no se ve mermado por el contrario se obtienen rendimientos por arriba de la media regional, podemos concluir que resulta una práctica viable para contrarrestar el deterioro en los suelos de la región por lo que su uso como bioremediadores es recomendable.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, I. C., y Pire, R. (2004). Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechosoero (*Carica papaya* L.). *Interciencia*, 29(5): 274-279.
- Acevedo Peralta, Antonio Ismael, Leos Rodríguez, Juan Antonio, Figueroa Viramontes, Uriel, y Romo Lozano, José Luis. (2017). Política ambiental: uso y manejo del estiércol en la Comarca Lagunera. *Acta universitaria*, 27(4): 3-12. <https://dx.doi.org/10.15174/au.2017.1270>
- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., y Ferrera-Cerrato y Pérez-Moreno, J. (2006). La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. XVII Reunión Internacional para la cooperación en investigaciones sobre banano en el Caribe y América Tropical, ACORBAT (15): 222-233.
- Altomare C., Tringovska I. (2011) Beneficial Soil Microorganisms, an Ecological Alternative for Soil Fertility Management. In: Lichtfouse E. (eds) Genetics, Biofuels and Local Farming Systems. Sustainable Agriculture Reviews, vol 7. Springer, Dordrecht
- Alvarado Teyssier, Rafael, Aceves Ruiz, Ernesto, Guerrero Rodríguez, Juan de Dios, Olvera Hernández, José Isabel, Bustamante González, Ángel, Vargas López, Samuel, & Hernández Salgado, José Hilario. (2018). Response of maize genotypes (*Zea mays* L.) to different fertilizers sources in the Valley of Puebla. *Terra Latinoamericana*, 36(1): 49-59. <https://dx.doi.org/10.28940/terra.v36i1.309>
- Ávalos de la Cruz, M. A., Figueroa-Viramontes, U., García-Hernández, J. L., Vázquez-Vázquez, C., Gallegos-Robles, M. A., y Orona-Castillo, I. (2018). Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova scientia*, 10(20): 170-189. <https://dx.doi.org/10.21640/ns.v10i20.1285>
- Ávarez, S., 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. Recuperado en 02 de diciembre de 2019, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000500007&lng=es&tlng=es.

- Atlas, R. M. B., Atlas, R. M., Bartha, R., Gentilini, E., Martino, P. E., Pennimpede, E., & Michael, T. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Addison Wesley,.
- Baghdadi, A., Halim, R. A., Ghasemzadeh, A., Ramlan, M. F., & Sakimin, S. Z. (2018). Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. *PeerJ*, 6, e5280. doi:10.7717/peerj.5280
- Balasubramanian, A. (2017). Soil Forming Processes. 10.13140/RG.2.2.34636.00644.
- Baldotto, M. A., Baldotto, L. E. Borges, S. Rogério B., y Marciano, C. R. (2012). Initial performance of maize in response to NPK fertilization combined with *Herbaspirillum seropedicae*. *Revista Ceres*, 59(6): 841-849. <https://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000600015>.
- Bashan, Y., y Holguin, G. (1998). Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8), 1225-1228.
- Baumhardt, R.L. y Blanco, C. H. (2014). Soil: Conservation Practices. 10.1016/B978-0-444-52512-3.00091-7.
- Bojórquez, A. D. A., Gutiérrez, C. G., Báez, J. R. C., Sánchez, M. Á. A., Montoya, L. G., y Pérez, E. N. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1): 51-56.
- Burke, W. J.; Frossard E.; Kabwe, S.; Jayne T. S. (2019). Understanding fertilizer adoption and effectiveness on maize in Zambia. *Food Policy*. V 86. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2019.05.004>
- Cano, Mario Alejandro. (2011). A review of interaction of beneficial microorganisms in plants: Mycorrhizae, *Trichoderma* spp. and *Pseudomonas* spp. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 14(2): 15-31. Retrieved March 05, 2020, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262011000200003&lng=en&tlng=en.
- Cáceres, Daniel M. (2015). *Tecnología agropecuaria y agronegocios. La lógica subyacente del modelo tecnológico dominante*. *Mundo Agrario*, 16(31), .[fecha de Consulta 3 de Junio de 2020]. ISSN: . Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=845/84539280008>

Chaves, B. G., Ortíz-Moreno, M. L., y Ortiz-Rojas, L. Y. (2013). Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta Agronómica*, 62(1): 66-72.

Chichipe Puscan, A., y 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 En Agroproducción Sustentable*, 1(3): 44-52. doi:<http://dx.doi.org/10.25127/aps.20173.373>

Couillerot, O., Ramírez-Trujillo, A., Walker, V. et al. Comparison of prominent *Azospirillum* strains in *Azospirillum*–*Pseudomonas*–*Glomus* consortia for promotion of maize growth. *Appl Microbiol Biotechnol* 97, 4639–4649 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4249-z>

Crisostomo, M. S., Ferrera, C. R., y Zebrowski, C. (1992). Respiración microbia como un indicador de la fertilidad de los suelos agrícolas y tepetates en el estado de Tlaxcala= Microbian respiration as an indicator of fertility in the agricultural and tepetate soils in the state of Tlaxcala. *Terra*, 10(spécial): 425-429.

Damian Suclupe, M. J., Gonzáles Veintimilla, F., Quiñones Paredes, P., y Terán Iparraguirre, J. R. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*, 25(1): 141-158. <https://dx.doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25109>

De la Cruz, L. E., Córdova, O., H., Estrada, B. M. A., Mendoza, P., J. D., Gómez, V. A., y Brito, M. N. P. (2009). Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y ciencia*, 25(1): 93-98.

Dibut, B. (2005). Biofertilizantes como insumos en Agricultura Sostenible. HUMIWORM SPR de RL México.

Domínguez, J., Edwards, C. A., & Webster, M. (2000). Vermicomposting of sewage sludge: effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei*. *Pedobiologia*, 44(1): 24-32.

Doran, D. C. (1999). Guía para la evaluación de calidad y salud del suelo. EUA: USDA.

- Estrada, H. I. Rayo, Hidalgo, M. C., Guzmán, P. R., Almaraz, S. J., Navarro, G. H., y Etchevers, B., J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8): 813-831. Recuperado en 28 de noviembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800813&lng=es&tlng=es.
- EEA INTA. (2017). Métodos de análisis e implementación de calidad en el laboratorio de suelos. Editora Kloster Nanci. La Pampa Argentina
- Evanylo, G. K., y McGuinn, R. (2009). Agricultural Management Practices and Soil Quality: measuring, assessing and comparing laboratory and field test kit indicators of soil quality attributes.
- FAOSTAT (2013) Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), Statistics Division, Roma. En:
- FAO. (2015). El suelo es un recurso no renovable. <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>
- Franzluebbbers, A. J. (2016). Should Soil Testing Services Measure Soil Biological Activity?. *Agricultural & Environmental Letters*, 1(1).
- Feng, W., Zhang, Y., Jia, X., Wu, B., Zha, T., Qin, S., y Fa, K. (2014). Impact of environmental factors and biological soil crust types on soil respiration in a desert ecosystem. *PloS one*, 9(7), e102954.
- Ferranti, P. (2016). Food Production and Ecosystem Protection. In: Food Science. Pages. Naples Italy.
- Figuroa, U., Nuñez, G., Reta, D. G., Flores, H. E. (2015). Balance regional de nitrógeno en el sistema de producción leche-forraje de la Comarca Lagunera, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 6(4):377-392.
- García, O. J. G, Mendoza, H. A, y Mayek, P. N. (2012). Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y ciencia*, 28(1): 79-84. Recuperado en 02 de diciembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100008&lng=es&tlng=es.
- García, Y., Ramírez, W., y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2): 125-138. Recuperado en 28 de noviembre de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-

[03942012000200001&lng=es&tlng=es.](https://doi.org/10.22267/rcia.183501.79)

- García, R. D. Y.; Cárdenas, H. J. F.; y Parra, A. S. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1): 16-25. <https://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.79>
- Geng Y., Cao G, Wang L., Wang, S. (2019) Effects of equal chemical fertilizer substitutions with organic manure on yield, dry matter, and nitrogen uptake of spring maize and soil nitrogen distribution. *PLoS ONE* 14(7): e0219512. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219512>.
- Gomiero, T. 2019. Soil and crop management to save food and enhance food security. In: Galanakis, C. M. (Ed.) *Saving Food Production, Supply Chain, Food Waste and Food Consumption*. Pages 33-87. Chania, Greece.
- Grageda-Cabrera, Oscar Arath, Díaz-Franco, Arturo, Peña-Cabriales, Juan José, & Vera-Nuñez, José Antonio. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6): 1261-1274. Recuperado en 05 de marzo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015&lng=es&tlng=es.
- Guevara, N. J. R., Coronado, H., Rodríguez, D. G. T., & Zamora, F. R. (2009). Cambios en la biomasa microbiana, respiración basal y germinación de cebolla (*Allium cepa* L.) luego de la aplicación de los herbicidas oxifluorfen, fluaxifop y pendimetalin en un Entisol del estado Falcón. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(3), 579-589.
- Guerrero, G., C, Espinoza, B. A, Palomo, G. A., Gutiérrez R. E, Luna, O. J. G, y Rodríguez, D. N. (2012). Comportamiento genético y aptitud combinatoria en cruza simple con líneas élite de maíz. *Universidad y Ciencia*, 28(1): 65-77. Recuperado en 24 de julio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000100007&lng=es&tlng=es.
- Guerrero, O. P. L., Quintero-Lizaola, R., Espinoza-Hernández, V., Benedicto-Valdés, G. S., & de Jesús Sánchez-Colín, M. (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos *De lupinus*. *Terra*

- Latinoamericana, 30(4): 355-362.
- Iwuagwu, M. y Ks, C. y Uka, U. y Amandianeze, M.C. (2013). Effects of biofertilizers on the growth of *Zea mays* L. Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences. 15: 235-240.
- Jacobo, S. R. M.; Viramontes, U.; Maciel P. S.; Torres, S.; Romero, L. L.; Romero, L.; Villalobos, A. (2017). Elementos menores en composta producida a partir de estiércol de engorda y rastrojo de maíz. (Minor elements in compost produced from fat manure and corn stubble). 17: 61-72.
- Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition-Current Knowledge and Future Directions. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1617. doi:10.3389/fpls.2017.01617
- 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.
- Julca, O. A., Meneses, F. L., Blas, S. R., y Bello, A. S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1): 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Kanianska. R. (2016). Agriculture and Its Impact on Land-Use, Environment and Ecosystem Services. In: Almusaed, A. (Ed). *Landscape Ecology, The Influences of Land Use and Anthropogenic Impacts of Landscape Creation*. Pages 2-25.
- Kalev, S.D. (2018) The composition of Soils and Sediments. In: Torok, B. & Dransfield, T. (Ed). *Green Chemistry*. Pages 339-357. Massachusetts Boston, Boston, MA, United States
- Khan, K., Pankaj, U., K Verma, S., K Gupta, A., Pal, S. R., Kumar, R. (2015) Bio-inoculants and vermicompost influence on yield, quality of *Adrograpis paniculata* and soil proprieties. *Industrial crops and productos*. V 70. Pages 404-409.
- Krupenikov I. A., Boincean B. P., Dent D. (2011). Soil Texture and Structure. In: *The Black Earth. International Year of Planet Earth*. Springer, Dordrecht
- Kumar, R. R., Singh V. P., Upadhyay, A. (2017). Soil Analysis. In: *Planing and Evaluation of Irrigations Project: Methods and Implementation*. Pages 505-523 isbn = "978-0-12-811748-4". doi = "https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811748-

4.00017-0",

- Li, S., Li, J., Zhang, B., Li, D., Li, G., y Li, Y. (2017). Effect of different organic fertilizers application on growth and environmental risk of nitrate under a vegetable field. *Scientific reports*, 7(1): 17020. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17219-y>
- Lucy, M., Reed, E., y Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 86(1): 1-25.
- Magdoff, F. (1996). Calidad y manejo del suelo. *Agroecología y Desarrollo*, 10: 25-33.
- Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., y Ullah, S. (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>
- Mantovani, J. R., y Spadon, F. (2017). Soil chemical properties and nutrients in maize fertilized with urban waste compost1. *Pesquisa Agropecuária*
- Martinez V., R., Toledo, N., y Arguelles, C. (1999). Introducción al conocimiento sobre biofertilizantes. Universidad Tecnológica de la Huazteca.
- Mohammed, D.T. (2019) Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Yield of Maize. *International Journal of Innovative Agriculture & Biology Research* 7(2):26-35, April-June. in Mubi North Local Government Area, Adamawa State, Nigeria. ISSN: 2354- 2934
- Moreno, R. A., Cantú, B. J. E., Reyes, C. J. L. y Contreras, V. V. (2017). Forage maize nutritional quality according to organic and inorganic fertilization. *Scientia Agropecuaria*, 8(2): 127-135. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.05>.
- Naveed, S., Rehim, A., Imran, M. et al. Organic manures: an efficient move towards maize grain biofortification. *Int J Recycl Org Waste Agricult* 7, 189–197 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0205-y>
- OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2018-2027 © OECD/FAO 2018. Chapter 3
- Okoroafor, I. B, Okelola, E. O, Edeh, O. N emehute, V. C., Onu, C. N.,Nwaneri, T. C. and Chinaka, G. I. (2013) Effect of Organic Manure on the Growth and Yield Performance of Maize in Ishiagu, Ebonyi State, Nigeria. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)* e-ISSN: 2319-2380, p-ISSN:

2319-2372. Volume 5. 2013. PP 28-31.

- Oishimaya, S. N. (2017, April 25). World Leaders In Corn (Maize) Production, By Country. Retrieved from <https://www.worldatlas.com/articles/world-leaders-in-corn-maize-production-by-country.html>
- Orozco, C. A. L., Valverde, F. M. I., Martínez, T. R., Chávez, B. C. y Benavides H. R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4): 441-456. Recuperado en 04 de diciembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441&lng=es&tlng=es.
- Ortiz, R. M. A., Ramírez, A. O., González E. J. y Velázquez, M. A. (2015). Maize warehouses in Mexico: Typology and characterization. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 23(45): 163-184. Recuperado en 06 de noviembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572015000100007&lng=es&tlng=en.
- Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D., y Marathée, J. P. (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción (No. 28). Food & Agriculture Org.
- Parikh, S. J. y James, B. R. (2012) Soil: The Foundation of Agriculture. *Nature Education Knowledge* 3(10):2
- Pedraza, R. O., Teixeira, K. R. S., Fernández, S. A; García de S. I.; Baca, B. E., Azcón, R., Baldani, V. L.D., Bonilla, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2):155-164. [fecha de Consulta 3 de Junio de 2020]. ISSN: 0122-8706. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4499/449945029007>
- Peralta-Veran, Liliana, Juscamaita-Morales, Juan, y Meza-Contreras, Víctor. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1): 1-10. Recuperado en 27 de febrero de 2020, de [63](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-</p></div><div data-bbox=)

22162016000100001&lng=es&tlng=es.

Pérez, A., Céspedes, C., y Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en república dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(3): 10-29. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000300002>

Pimentel, D. y Burges, M. 2013. Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture* 2013, 3(3): 443-463; <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>.
22162016000100001&lng=es&tlng=es.

Pinos-Rodríguez, Juan M., García-López, Juan C., Peña-Avelino, Luz Y., Rendón-Huerta, Juan A., González-González, Cecilia, & Tristán-Patiño, Flor. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4): 359-370. Recuperado en 27 de febrero de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004&lng=es&tlng=es.

Prasad, H., D'souza, M. J. (2014) Evaluation of Bio-inoculants Enriched Marginal Soils as Potting Mixture in Coffee Nursery. *J Biofertil Biopestici* 5: 148. doi:10.4172/2155-6202.1000148.

Prassana, R., Kanchan, A., Ramakrishnan, B., Ranjan, K., Venkatachalam, S., Hossain, F., Shivay, Y.S., Krishnan, P., Nain, L. (2016). Cyanobacteria-based bioinoculants influence growth and yields by modulating the microbial communities favourably in the rhizospheres of maize hybrids. *European Journal of Soil Biology*. In: Tebee, C.C. (Ed). Pages 15-23. V 75

Ramos, V. E. y Zúñiga D. D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada*, 7(1-2): 123-130.

Ramos, A. D. y Terry A. E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4): 52-59. Recuperado en 28 de noviembre de 2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007&lng=es&tlng=es.

Ranum, P. y Pena, R. y Garcia, C. M. N. (2014). Global maize production, utilization,

- and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1312. 10.1111/nyas.12396.
- Reta, S. D. G., Cueto-W, J. A., y Figueroa-V, U. (2004). Efecto de la aplicación de estiércol y composta en maíz forrajero en dos sistemas de siembra. Informe de Investigación. INIFAP. Campo Experimental La Laguna. Torreón, Coahuila. México.
- Reyes, R. A.; López A. M.; Ruiz, S. E.; Latournerie. M. L.; Pérez, G. A.; Lozano C. M. G.; y Zavala L. M. J. (2014). Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*, 48(3): 285-294. Recuperado en 08 de junio de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000300004&lng=es&tlng=es.
- Rocha, V. M. A., Sanchez, P. J. y Azero, M. (2012). Estudio del mejoramiento de la calidad del suelo por el uso de diferentes enmiendas orgánicas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenavar. Waycha*) en la Granja Modelo Pairumani. *Acta Nova*, 5(4): 417-444. Recuperado en 27 de noviembre de 2019, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892012000200002&lng=es&tlng=es.
- Rochette, P., Desjardins, R. L., & Pattey, E. (1991). Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Canadian Journal of Soil Science*, 71(2): 189-196.
- Roychowdhury D, Mondal S, Banerjee SK (2017) The Effect of Biofertilizers and the Effect of Vermicompost on the Cultivation and Productivity of Maize - A Review. *Adv Crop Sci Tech* 5: 261. doi: 10.4172/2329-8863.1000261
- Roncallo F., B., Murillo S., J., Rodríguez, G., Bonilla, R. R., & Garrido, M. F. (2012). Producción de forraje y respuesta animal en suelos del valle del Cesar en proceso de recuperación. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(1): 89-96. https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num1_art:244
- SAGARPA – INIFAP. (2015). Cultive pasto rye grass para la alimentación del ganado en la época invernal en el norte y centro de Tamaulipas. Boletín electrónico año 1, No. 15
- Salazar-Sosa, Enrique, Trejo-Escareño, Héctor Idilio, López-Martínez, José Dimas,

- Vázquez-Vázquez, Cirilo, Serrato-Corona, J. Santos, Orona-Castillo, Ignacio, & Flores-Márquez, Juan Pedro. (2010). Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 381-390. Recuperado en 05 de marzo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400010&lng=es&tlng=pt
- Santiago, L. U., Rosales, N. C. A., Santiago L. E., Santiago L. N., Preciado, R. P., Palma, G. A. y Real, D. (2018). Yield of forage, grain and biomass in eight hybrids of maize with different sowing dates and environmental conditions. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 9(1). 86-104. <https://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4403>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA). 2017. Producción agropecuaria y pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria en la Región Lagunera. Coahuila y Durango. Available in: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccionagricola-por-cultivo>. [infosiap.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) > [agricola_siap_gobmx](http://www.siap.gob.mx) > FichaPorEstado. Consulta diciembre de 2019
- Schmidt, J. E., Gaudin, A. C. M., (2018). What is the agronomic potential of biofertilizers for maize? A meta-analysis, *FEMS Microbiology Ecology*. 94 (7): fiy094, <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy094>
- Soro, D., Zro, F. Y. F., Kouadio, K., Bakayoko, S., Angui, P., Kouadio, J. (2015). Impact of organic fertilization on maize (*Zea mays* L.) production in a ferralitic soil of centre - West cote d'ivoire. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 3: 556-565. 10.18006/2015.3(6).556.565.
- Sotelo, R. E. D., Cruz, B., G. M., González, H. A., y Moreno, S. F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2): 401-412. Recuperado en 06 de noviembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000200401&lng=es&tlng=es.
- Soto, G., y Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost,

- y su empleo en la agricultura orgánica. Departamento de Agricultura Ecológica, Turrialba, Manejo de Plagas y Agroecología. CR. no. 65, p. 123-129.
- Sullivan, P., & Especialista, N. C. A. T. (2007). El manejo sostenible de suelos. *Attra*, www.attra.ncat.org/espanol/pdf/suelos.pdf. Electronic Document Format (APA)
- Telles, Tiago S., Lourenço, Marco A.P., Oliveira, José F., Costa, Gustavo V., & Barbosa, Graziela M.C.. (2019). Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(3): e20180578. Epub October 07, 2019.<https://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180578>
- Torres, D., Rojas, P., López, M., & Zamora, F. (2009). Efecto de los insecticidas Methyl-Parathion, Carbofuran y Lamdacyhalotrina sobre la actividad biológica del suelo. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 27.
- United States Department of Agriculture USDA. (2019). World Agricultural Production. Office of Global Analysis. Circular Series: WAP 11-19. November 2019
- Valdivia, C. W., Holzapfel, E., Rivera, D. y Paredes, J. (2017). Assessment of methods to determine soil characteristics for management and design of irrigation systems. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(3): 735-750. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000300014>
- Vallejo, Q. V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), undefined-undefined. [fecha de Consulta 28 de Noviembre de 2019]. ISSN: 0120-0739.
- Vallejo, V. E., Afanador, L. N., Hernández, M. A., y Parra, D. C. (2018). Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia. *Bioagro*, 30(1), 27-38. Recuperado en 28 de noviembre de 2019, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100003&lng=es&tlng=es.
- Vásquez, J. R., Macías, F., y Flores, J. C. M. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el Departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 25(3): 175-180.
- Villa-Castro, L., & Mayek-Pérez, N., & García-Olivares, J. G., & Hernández-Mendoza,

- J. L. (2014). Efecto de la inoculación en maíz con cepas nativas de *Azospirillum* sp. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1): 33-38. [fecha de Consulta 5 de Marzo de 2020]. ISSN: 0188-7890. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=837/83729789004>
- Wong, J. A. C., Garza, H. M. Q., y Morales, C. T. B. (2003). Nitrógeno disponible y desarrollo del ballico anual. I. Producción, calidad del forraje y acumulación de nitratos. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 285-295.
- Zaragoza, E. J., Tadeo, R. M., Espinosa, C. A., López, L. C., García, E. J. C., Zamudio, G. B., Turrent, F. A. y Rosado, N. F. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas*, 10(1): 101-111. <https://dx.doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>
- Ziadi, N., Bélanger, G., Claessens, A., (2012). Relationship between soil nitrate accumulation and in-season corn N nutrition indicators. *Canadian Journal of Plant Science*, 92:331-339, <https://doi.org/10.4141/cjps2011-086>