Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Evaluación del rendimiento de un cultivo de maíz criollo forrajero con la aplicación de composta y biofertilizantes

Tesis

Que como parte de los requisitos
para obtener el grado de

Maestra en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas

Presenta
Ana María Arteaga Reséndiz

Dirigido por:
Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez

Co-Director
Dr. Víctor Olalde Portugal

Centro Universitario
Querétaro, Qro., Febrero, 2020

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas

Evaluación del rendimiento de un cultivo de maíz criollo forrajero con la aplicación de composta y biofertilizantes

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas

Presenta
Ana María Arteaga Reséndiz

Dirigido por:
Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez

Co-Director
Dr. Víctor Olalde Portugal

Dra. Rosalía V. Ocampo Velázquez
Presidente

Dr. Víctor Olalde Portugal
Secretario

Dr. Irineo Torres Pacheco
Vocal

Dr. Enrique Rico García
Suplente

M.C. Paulino Martínez Lagunés
Suplente

Centro Universitario
Querétaro, Qro., Febrero, 2020

Dirección General de Bibliotecas UAQ

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción de maíz criollo con potencial forrajero utilizando composta de estiércol vacuno y residuos de silo de maíz y la inoculación con hongos micorrizicos arbusculares y *Azospirillum sp*. El experimento se estableció en el Campus Amazcala, Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de Querétaro. La experimentación se desarrolló en tres etapas, germinación, emergencia y desarrollo. Para emergencia se analizaron los factores: longitud de raíz, peso fresco y seco de la raíz, altura, peso fresco, peso seco de la planta y se llevó a cabo en laboratorio e invernadero.

La etapa de desarrollo se estableció en campo, el diseño fue factorial en donde los factores a analizar fueron dos, cantidad de composta: 0.5, 1.0 y 1.5 kg/m^2 y la inoculación con biofertilizantes. Las variables que se analizaron fueron: peso fresco total de la planta, altura, diámetro, peso seco.

Los datos se analizaron estadísticamente con un análisis de varianza con la prueba de Tukey con el programa estadístico Minitab 17®. En la prueba de germinación hubo diferencias significativas al día dos, con un 73.3% de germinación en los tratamientos que involucraron biofertilización. En la prueba de emergencia todas las variables presentaron diferencias significativas. El tratamiento correspondiente a semillas peletizadas con composta, Activamic® y TM-53® registró la longitud de raíz mayor de 12.383 cm, altura de la planta el mejor fue el tratamiento control con sábila como adherente, para la variable peso fresco y seco de raíz el mejor fue el tratamiento donde la semilla se inoculo con hogos micorrizicos TM-53, en peso seco de la parte aérea 155.327 mg en el tratamiento con a*zospirillum sp.*

En la etapa de desarrollo la variable rendimiento de forraje verde no hubo diferencias significativas. Para altura de la planta el mejor tratamiento fue el manejado con 1.0 kg/m^2 de composta e inoculación con TM-53® con 224.28 cm y para diámetro fue

Dirección General de Bibliotecas UAQ

el tratamiento donde al suelo se incorporaron 1.5 kg/m^2. El tratamiento con Activamic® y 1.0 kg/m^2 de composta registro el mejor rendimiento de materia seca con 22.52 t ha^{-1}.

(Palabras clave: Biofertilización, composta, maíz forrajero)

Dirección General de Bibliotecas UAQ

SUMMARY

The objective of the present investigation was to evaluate the production of Creole corn with forage potential using compost of manure and residues of corn silo and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and Azospirillum sp. The experiment was conducted at the Amazcala Campus, Faculty of Engineering, of the Universidad Autonoma de Queretaro. Experimentation is in three stages, germination, emergency and development. For germination and emergency the factors will be analyzed: root length, fresh and dry root weight, height, fresh weight, dry weight of the plant and a cape will be detected in the laboratory and greenhouse.

The development stage was selected in the field, the design was factorial where the factors to be analyzed were two, the amount of compost: 0.5, 1.0 and 1.5 kg/m^2 and inoculation with biofertilizers. The variables that were analyzed were: total fresh weight of the plant, height, diameter, dry weight.

The data is statistically analyzed with an analysis of variance with the Tukey test with the statistical program Minitab 17®. In the germination test there were differences at day two, the treatment corresponding to a pellet pelletized with TM-53®, the treatment with pelletized seeds with compost, TM-53® and Activamic® and the treatment of pelletized seeds with compost and TM -53® already had 73.3% germination. In the emergency test, all variables vary specific differences. The treatment of seeds + Activamic® pelleted with TM-53® treated a root length greater than 12,383 cm, plant height the best treatment control fuel (aloe as adherent), for the variable fresh and dry root weight the best fuel the treatment where the seed was pelleted with TM-53®, in dry weight of the aerial part 155,327 mg in the treatment of seeds + Activamic®.

At the development stage, the green forage yield variable did not show significant differences. For plant height the best treatment was the one with 1.0 kg/m^2 of compost and inoculation with TM-73® with 224.28 cm and for diameter it was the treatment where the soil was incorporated 1.5 kg/m^2. The treatment treated with Activamic® and 1.0 kg/m^2 of compost registered the best dry matter yield with 22.52 t ha^{-1}.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

(Keywords: Biofertilization, compost, forage corn)

Dirección General de Bibliotecas UAQ

DEDICATORIA

A mis Padres,
por siempre apoyarme en mis proyectos
y al estar al pendiente de mí.

A mis hermanas Paty Y Cecy,
por no dejarme sola en los momentos más difíciles.

A mi hermano Ernesto (ɬ),
que siempre me estuvo alentando en este camino;
Para ti con todo mi cariño.

A mis amigas, Diana, Charo, Bety, Ana, Citlali y Alejandra:
¡Gracias! Por su infinita paciencia, por aguantar mis quejas
en los momentos más estresantes.

A Carlos,
por motivarme a seguir siempre mis sueños,
por estar ahí, de una u otra forma, en cada momento de este proceso, ¡Te amo!

Dirección General de Bibliotecas UAQ

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,
por el apoyo económico para la realización de mis estudios de posgrado

A la Universidad Autónoma de Querétaro,
por brindarme la oportunidad de cursar la
maestría en Ciencias en Ingeniería de Biosistemas.

A la Dra. Rosalía V. Ocampo Velázquez,
por guiarme en la realización de este trabajo.

A mis sinodales,
por su retroalimentación para llevar a buen término esta Tesis.

Al Dr. Víctor Olalde Portugal,
por el apoyo brindado en este trabajo.

A mis compañeros Byanca, Betsi, Ernesto, Asael y Miguel,
por la alegría, motivación, asesoría y apoyo que me transmitieron.

A mis alumnos,
por la motivación para culminar.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN

SUMARY

I. INTRODUCCIÓN 1

II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA Y ANTECEDENTES 3

2.1 Importancia del Maíz (*Zea mayz L*.) 3

2.2 El maíz como forraje 3

2.3 Requerimientos nutricionales del maíz 4

2.4 Aspectos generales de la agricultura orgánica 7

2.5 Importancia de la agricultura orgánica en el mundo 7

2.6 La agricultura orgánica en México 9

2.7 Fuentes nutricionales de la agricultura orgánica 10

2.7.1 Vermicomposta 10

2.7.2 Sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) 11

2.7.3 Fermentos 11

2.7.4 Compostaje 12

2.7.4.1 Factores que condicionan el proceso de compostaje 12

2.7.4.2 Etapas del proceso de compostaje 14

2.7.4.3 Métodos de compostaje 14

2.7.4.4 Beneficios de incorporar composta al suelo 16

2.7.5 Biofertilizantes 19

2.7.5.1 Los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) 19

2.7.5.2 Género Azospirillum 21

III. HIPOTESIS Y OBJETIVOS 23

3.1 Hipótesis 23

3.2 Objetivo general 23

3.3 Objetivos particulares 23

IV. METODOLOGÍA 24

4.1 Ubicación 24

4.2 Producción de la composta 24

Dirección General de Bibliotecas UAQ

4.2.1 Caracterización de los materiales de entrada 25
4.2.2 Método de compostaje y monitoreo 26
4.3 Análisis fisicoquímico en la composta 28
4.4 Nutrientes presentes en el suelo 28
4.5 Diseño experimental: germinación, emergencia y rendimiento de forraje. 29
4.5.1 Material genético, biológico y suelo 32
4.6 Establecimiento del experimento 33
4.6.1 Germinación en cajas Petri
4.6.2 Emergencia de semillas de maíz criollo en charola de germinación 34
4.6.3 Rendimiento de forraje verde 35
4.7 Medición de las variables 38
4.7.1 Altura de la planta 38
4.7.2 Diámetro de tallo 39
4.7.3 Cosecha 39
4.8 Análisis estadístico 40

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41
5.1 Producción de la composta 41
5.1.1 Caracterización de materiales para elaboración de composta. 41
5.1.2 Monitoreo de la composta 41
5.2 Nutrientes presentes en la composta 45
5.3 Nutrientes presentes en el suelo 47
5.4 Germinación en caja Petri 49
5.5 Prueba de emergencia 52
5.5.1 Longitud dela raíz 52
5.5.2 Altura de la planta 53
5.5.3 Peso fresco de la raíz 55
5.5.4 Peso fresco de la parte aérea 55
5.5.5 Peso seco de la raíz 56
5.5.6 Peso seco de la parte aérea 57
5.6 Mediciones de campo, desarrollo del cultivo 58
5.6.1 Altura de la planta 58

Dirección General de Bibliotecas UAQ

5.6.2 Diámetro de la planta 59
5.6.3 Rendimiento de forraje 60
5.6.4 Rendimiento de materia seca (MS) 62

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 64

VII. REFERENCIAS 65

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Comportamiento de la producción de forraje de maíz en México del 2009 al 2018.	4
Figura 2.2	Principales zonas a nivel mundial con superficie orgánica.	8
Figura 2.3	Desarrollo de la agricultura orgánica en México.	10
Figura 4.1	Ubicación del experimento.	24
Figura 4.2	Área de compostaje, Universidad Autónoma de Querétaro.	25
Figura 4.3	Materiales utilizados para el proceso de compostaje, a) desechos de silo, b) estiércol fresco de vaca.	25
Figura 4.4	Medición del pH y CE del estiércol y silo.	26
Figura 4.5	Maniobra de volteo en la pila de compostaje.	27
Figura 4.6	Datalogger en la pila de compostaje para monitoreo de temperatura y humedad.	28
Figura 4.7	Toma de muestra de suelo, a) Croquis de muestreo, b) medición de la profundidad para tomar la muestra de suelo.	29
Figura 4.8	a)Semilla, b) Composta, c) Azospirillum sp, d) Micorrizas	32
Figura 4.9	Prueba de germinación de semillas de maíz criollo inoculadas con HMA (TM-73®), Azospirillum sp. (Activamic ®) y composta.	34
Figura 4.10	Prueba de emergencia en charola.	35
Figura 4.11	Preparación del terreno.	36
Figura 4.12	a) Distribución e incorporación de la composta b) Distribución de los tratamientos en campo.	36
Figura 4.13	Siembra de maíz criollo en parcela experimental.	37
Figura 4.14	Trampa con feromona para el gusano cogollero.	38
Figura 4.15	a)Mazorca en grano masozo-lechoso, b) picado de la planta, c) pesaje de 100 gr de MV.	40
Figura 5.1	Variación de pH y CE durante el proceso de compostaje.	43
Figura 5.2	Variación de humedad y temperatura en la composta de desechos de silo y estiércol vacuno. La letra a indica la fase mesofilica, b fase termofilica, c fase de enfriamiento y maduración. Las flechas en color rojo indican los volteos de la pila de compostaje y la flecha en color negro es el día en que se dio un riego para aumentar la humedad.	44
Figura 5.3	Germinación acumulada en las pruebas de caja Petri. T1: Control; T2: Control con sábila como adherente; T3:	54

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Composta; T4: Endomicorrizas; T5: Azospirillum sp T6: Endomicorrizas + Azospirillum sp; T7: Composta + Endomicorrizas + Azospirillum sp; T8: Composta + Azospirillum sp; T9: Composta + Endomicorrizas.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1	Requerimientos y extracción de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz. (García, 2005) y (International Plan Nutrition Institute, 2009).	5
Cuadro 2.2	Demanda mundial de fertilizantes como fuente de nutrición en miles de toneladas. (FAO, 2017).	6
Cuadro 2.3	Métodos de compostaje, (Misra-FAO, 2003).	15
Cuadro 2.4	Trabajos reportados en maíz inoculado con HMA.	21
Cuadro 2.5	Trabajos en maíz inoculado con *Azospirillum sp.*	22
Cuadro 4.1	Tratamientos implementados para la prueba de germinación en caja de Petri y emergencia en charola.	30
Cuadro 4.3	Tratamientos implementados en campo.	31
Cuadro 5.1	Características químicas de los materiales de entrada al proceso de compostaje.	41
Cuadro 5.2	Especificaciones por tipo de composta determinada por la Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018.	46
Cuadro 5.3	Resultados del análisis de la composta.	47
Cuadro 5.4	Resultados del análisis físico-químico del suelo.	48
Cuadro 5.5	Valores de referencia para determinar la fertilidad de un suelo por la norma NOM-021-RECNAT-2000.	49
Cuadro 5.6	Efecto de la peletización de la semilla con composta, HMA, *Azopsirillum sp,* por separado y en conjunto sobre la germinación de la semilla de un maíz criollo en caja Petri.	52
Cuadro 5.7	Efecto de la aplicación de composta y biofertilización en la longitud de la raíz de maíz 15 dds en charola de germinación.	53
Cuadro 5.8	Efecto de la aplicación de composta y biofertilización en la altura de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.	54
Cuadro 5.9	Efecto de la aplicación de composta y biofertilización sobre el peso fresco de la raíz de maíz 15 dds en charola de germinación.	55
Cuadro 5.10	Efecto de la aplicación de composta y biofertilización sobre el peso fresco de la parte aérea de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.	56

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 5.11	Efecto de la aplicación de composta y biofertilización sobre el peso seco de la raíz de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.	57
Cuadro 5.12	Efecto de la aplicación de composta y biofertilización sobre el peso seco de la parte aérea de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.	57
Cuadro 5.13	Efecto de la incorporación de tres dosis de composta al suelo y aplicación de biofertilizantes sobre la altura de la planta de maíz.	59
Cuadro 5.14	Efecto de la incorporación de tres dosis de composta al suelo y aplicación de biofertilizantes sobre el diámetro de la planta de maíz.	60
Cuadro 5.15	Efecto de la incorporación de tres dosis de composta al suelo y aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de forraje verde.	62
Cuadro 5.16	Rendimiento en materia seca.	63

Dirección General de Bibliotecas UAQ

I. INTRODUCCIÒN.

Hoy en día la agricultura tiene el reto de producir una mayor cantidad de alimentos, para una población en constante crecimiento y con las condiciones del cambio climático. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016) calculó que para poder solventar la demanda de alimentos en 2050, la producción agrícola y ganadera mundial debería ser un 60% mayor que en 2006.

El cultivo del maíz es de gran importancia en México tanto como consumo humano y animal como por el aspecto cultural (Jiménez, 2019). En el 2018, México ocupó el séptimo lugar con 2.5 % de la producción mundial, Estados Unidos el primer lugar (32.6 %), China (22.9 %), Brasil (9.0 %) (FIRA, 2019). De la producción total de maíz en México (797,044 has) 75.24% de la superficie se destinó para grano y 6.16 para la producción de forraje (SIAP, 2018).

Para el caso del consumo animal, se maneja como forraje fresco, ensilado o rastrojo (Luna et al., 2013). En 2018 se sembraron en el país 603'326.46 ha, se obtuvieron 17'463'924.21 toneladas de forraje, con un rendimiento promedio de 33.56 t ha^{-1} (SIAP, 2018).

Desde hace varios años los suelos han sufrido un intenso agotamiento de nutrientes como consecuencia de una prolongada historia agrícola (Miretti *et al*., 2012). Este problema se agrava con el uso de variedades de cultivos de alto rendimiento que demandan mayor cantidad de nutrientes. El 77% de la tierra a nivel mundial está degradada debido a la erosión, la salinización, la compactación y la contaminación química de los suelos (FAO & Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, 2016). En México el 90.7% de la superficie nacional (177,642 miles de ha), presenta algún grado de degradación (CONAFOR-UACh, 2013), el 35% se asocia a las actividades agrícolas y pecuarias y 7.4%, a la pérdida de la cubierta vegetal (Torres & Rojas, 2018).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

En los años recientes, la protección del ambiente ha venido cobrando importancia a la hora de seleccionar el sistema de producción. Tanto la agricultura convencional y orgánica, tienen la necesidad de implementar prácticas sostenibles que proporcionen a largo plazo fertilidad al suelo (Robačer *et al*., 2016). Una de las técnicas de sostenibilidad es la incorporación de composta (Moreno & Moral, 2008), otra es el uso de biofertilizantes que se ha mostrado prometedora para el manejo integrado de nutrientes como lo es la fijación biológica de nitrógeno, la disponibilidad de fosforo. Su eficiencia puede variar con el tipo de inoculante, el cultivo, la formulación del inoculante, el nivel de nutrientes en el suelo, pH, el tipo de suelo, la población microbiana y las condiciones climáticas (Malhi *et al*., 2013).

Por lo anterior este trabajo evaluó el rendimiento de un maíz criollo, para forraje, con la incorporación de composta al suelo e inoculación con biofertilizantes.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

II. FUNDAMENTACION TEORICA Y ANTECEDENTES.

2.1. Importancia del Maíz (*Zea mays* L.).

El maíz (*Zea mays* L.) es una fuente importante de alimentos para el mundo y es un cultivo de productos básicos de alto rendimiento, con un área de cosecha promedio a nivel mundial de 178 millones de hectáreas y una producción de 1'010 millones de toneladas en el año 2017 (OCDE/FAO, 2017) el 62% de la producción fueron de forraje. El maíz es de un alto nivel de importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado, como combustible o como fuente de un gran número de productos (Paliwal *et al*., 2001).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2017) menciona que la producción mundial de maíz crecerá aproximadamente en 1.5% anual principalmente por aumento en los rendimientos.

México es uno de los principales productores, en el año 2018 registro una producción de 27’762,481 toneladas, ocupando el séptimo lugar a nivel mundial (FAO/FAOSTAT, 2019), la producción represento 16’669’000.00 millones (Servicio de información agrícola y pesquera, SIAP, 2018), Estados unidos ocupo el primer lugar seguido por China y Brasil, Unión Europea el cuarto lugar, Argentina el quinto sitio, Ucrania México ocupó el séptimo sitio (FIRA, 2019).

2.2. El maíz como forraje.

El interés en el maíz para ensilaje está relacionado con su facilidad de crecimiento, las pérdidas son mínimas durante la cosecha y la conservación dependiendo el manejo (Dijk *et al.*, 2015), además por la cantidad de almidón, por la aportación de materia seca y azúcares solubles (Martínez-Fernández *et al*., 2010).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Para el año 2026 la OCDE/FAO (2017), estima que el maíz con fines forrajeros será de 1.8 miles de millones de toneladas. La superficie destinada para forraje ha disminuido en un 2.7% con respecto al año 2012, sin embargo, con mayores rendimientos que propician que el volumen de maíz forrajero se incremente, en 2018 la producción alcanzada fue de 17'439,924 millones de toneladas en una superficie de 603'236 ha, con un rendimiento promedio de 33.56 t ha^{-1}(SIAP, 2018) (Figura 2.1).

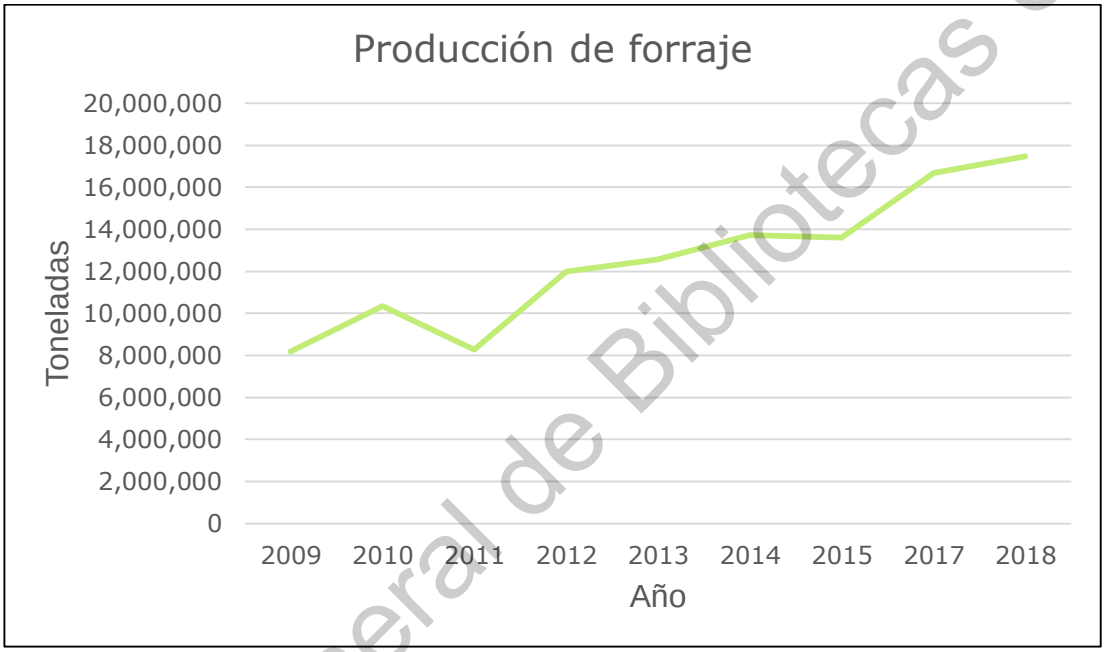

Figura 2.1. Comportamiento de la producción de forraje de maíz en México desde el año 2009 al 2018 (SIAP, 2018).

2.3. Requerimientos nutricionales del maíz.

En los últimos años, el cultivo de maíz ha experimentado un incremento continuo en productividad, por las diferentes prácticas de manejo aunado al mejoramiento genético. Este incremento en productividad es también un aumento de la materia seca total y, en consecuencia, de la acumulación o absorción de nutrientes (Karlen *et al.*,1987). El requerimiento de Nitrógeno (N) de maíz varía con el rendimiento del cultivo y los factores como clima, genotipo, prácticas de manejo (Ciampitti, 2010).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Asimismo, como ocurre con el N, para el caso del fósforo (P), la fertilización fosfatada debería relacionarse con la capacidad del suelo para satisfacer la máxima demanda de este nutriente por el cultivo (Ciampitti & Vyn, 2011). En el Cuadro 2.1 se muestran los requerimientos nutricionales del cultivo.

Cuadro 0.1 Requerimientos y extracción de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz (García, 2005 y IPNI, 2009).

Nutriente	Requerimiento kg	Extracción kg
Nitrógeno	22	14.5
Fosforo	4	3.0
Potasio	19	4.0
Calcio	3	0.2
Magnesio	3	0.8
Azufre	4	1.8

Los principales nutrientes que demanda este forraje con regularidad hay deficiencias en el suelo, los cuales pueden ser aportados aplicando diferentes fertilizantes que pueden ser químicos, estiércoles, biofertilizantes y residuos de cosecha (Trejo-Escareño *et al*., 2009). Los fertilizantes nitrogenados son los que presentan una mayor demanda y juegan un rol importante para incrementar los rendimientos de los cultivos, el informe de la FAO (2017) estima que para el año 2020 la demanda de este fertilizante llegara a ser de 118’763 miles de toneladas aumentara un 8% con respecto al 2015%, también la demanda de fertilizantes fosfatados y potasio aumentaran, Cuadro 2.2.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 2.2 Demanda mundial de fertilizantes como fuente de nutrición en miles de toneladas. (FAO, 2017).

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Nitrógeno	110'027	111'575	113’607	115’376	117’116	118’763
Fosfatos	41’151	41’945	43’195	44’120	45’013	45’858
Potasio	32’838	33’945	34’048	34’894	35’978	37’042
Total	184’017	186’668	190’850	194’390	198’107	201’663

El uso de fertilizantes químicos incrementa los costos de producción de los cultivos y puede contaminar el suelo y el agua por lo que las fuentes orgánicas se presentan como una alternativa para hacer los aportes nutricionales a los cultivos (Flores-López *et al*., 2009).

El consumo nacional de fertilizantes en 2018 fue de 5.4 millones de toneladas; cifra 5.1% menor a la de 2017, pero 2.9% mayor que la de 2016. Las importaciones aumentaron 6.7% (284 mil toneladas) de 2016 a 2017 y para 2018 se incrementaron 12.5% (565 mil toneladas) (SADER, 2019).

Stolze *et al*., (2000) muestra que, en las condiciones europeas, la agricultura orgánica tiene efectos beneficiosos sobre las características de la materia orgánica, porque el contenido de carbón orgánico es más alto en los suelos cultivados orgánicamente que en los convencionales. La fertilización se realiza con sustancias orgánicas, como estiércol de corrales, compost, abonos verdes, residuos de plantas y fertilizantes N-orgánicos de uso comercial. Como consecuencia, existe una amplia provisión de materia orgánica que pasa por los procesos de descomposición aeróbica.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

2.4. Aspectos generales de la Agricultura orgánica.

La Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM, 2014) define la agricultura orgánica como un sistema de producción que mantiene la salud de las tierras, ecosistemas, y personas. Depende de procesos ecológicos, biodiversidad y de ciclos adaptados a las condiciones locales, en vez de usar insumos con efectos adversos. La agricultura orgánica combina tradición, innovación y ciencia que benefician el medio ambiente y promueve relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los involucrados.

La agricultura orgánica como un sistema de producción viable y productiva para las zonas áridas, semiáridas y tropicales del país y del mundo es un proceso de desarrollo sustentable que debe de utilizarse y extenderse lo más posible entre los productores a todos sus niveles, considerando los costos de producción tan altos en un a agricultura tradicional y modernizada dado el uso tan elevado de insumos y maquinaría para la obtención de buenos rendimientos para un cultivo determinado. Sin embargo, es determinante tener en mente todos los componentes que están implícitos en este tipo de agricultura como son: cambio del sistema de producción y uso de abonos orgánicos, normatividad, cultivos, etc. que están involucrados y forman parte directa en la obtención de productos orgánico (Salazar-Sosa & Vázquez-Vázquez, 2003).

2.5 Importancia de la agricultura orgánica en el mundo.

El informe presentado por el Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) y el IFOAM (Agriculture et al., 2019) (FiBL-IFOAM, 2019) sobre la agricultura orgánica en el mundo muestra que en el año 2017 un total de 69.8 millones de hectáreas se cultivaron orgánicamente lo que representa un crecimiento del 20% lo que equivale a 11.7 millones de hectáreas más que en 2016. Las principales zonas donde se concentra la producción orgánica son Oceanía, Europa y Latín América, como se observa en la Figura 2.2.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

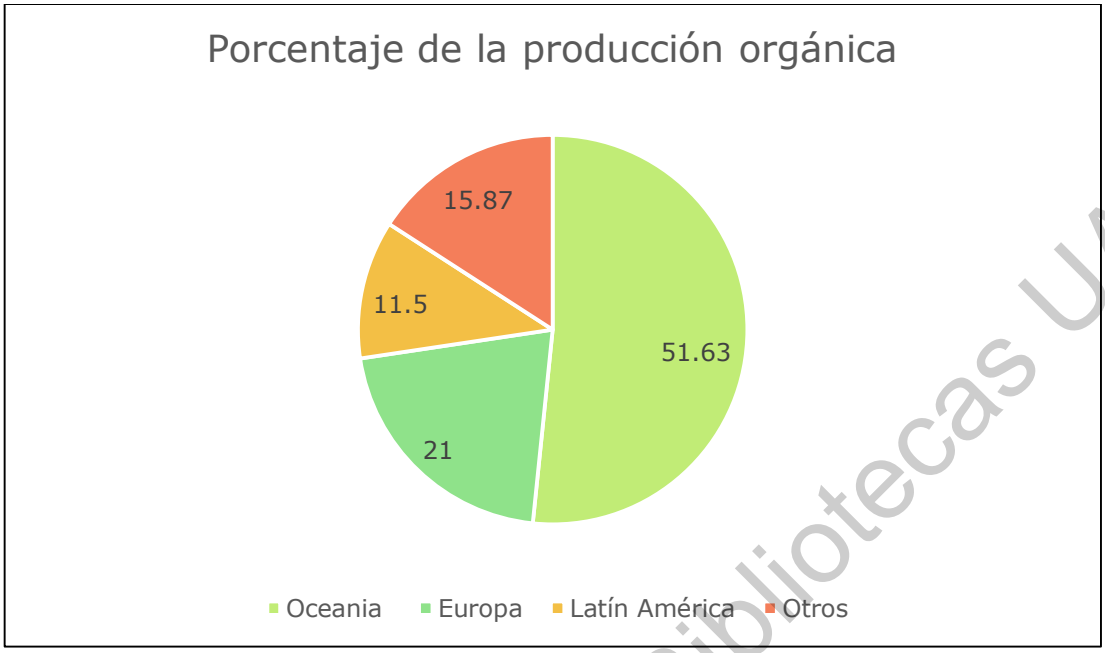

Figura 2.1. Principales zonas a nivel mundial con superficie orgánica.

En este mismo informe se estima que el valor de los alimentos orgánicos fue de 97 mil millones de dólares. Estados Unidos es el principal importador con 40’000.00 millones de euros, Alemania con 10’000.00 millones de euros, Francia con 7’900.00 millones de euros y China con 7’600.00 millones de euros.

En 2017, se reportaron 2.9 millones de productores orgánicos, que es un 5% más que en 2016. India sigue siendo el país con el mayor número de productores 835’200, seguido de Uganda con 210’352 y México 210’000 (FiBL-IFOAM, 2019).

Espinoza-villavicensio *et al.,* (2007), señalan que la agricultura orgánica es una estrategia de desarrollo que trata de cambiar algunas de las limitaciones encontradas en la producción convencional y que más que una tecnología de producción, es una estrategia de desarrollo que se fundamenta no solamente en un mejor manejo del suelo y un fomento al uso de insumos locales, sino también en un mayor valor agregado y una cadena de comercialización más justa. Gómez-Älvarez *et al.*, (2008), señalan que la agricultura orgánica surgió como una alternativa para proteger el medio ambiente y las diferentes especies de plantas y animales de los peligros de la agricultura convencional

Dirección General de Bibliotecas UAQ

o moderna. Nahed, et al., (2009), mencionan que la agricultura orgánica fundamenta sus principios en la agroecología y en la agroforestería.

2.6 La agricultura orgánica en México.

La norma mexicana (NOM-037-FITO, 1995) define la agricultura orgánica como un sistema de producción agrícola orientado a la producción de alimento de alta calidad nutritiva en cantidades suficientes que interactúa con los sistemas y ciclos naturales en una forma constructiva de forma que promueve la vida; mejora y extiende ciclos biológicos dentro del sistema agrícola, incluyendo microorganismos, flora del suelo y fauna, planta y planta; mantiene y mejora la fertilidad del suelo a largo plazo; promueve el uso sano y apropiado del agua, recursos del agua y toda la vida en ésta, en el que, el control de malezas, plagas y enfermedades es sin el uso de insumos de síntesis químico industrial.

Gómez *et al*., (2006), mencionan que a finales de la década de los ochenta, los países desarrollados comenzaron a demandar productos tropicales y de invierno producidos en forma orgánica, que en sus territorios no se podrán cultivar, estimulando de esta manera la práctica de la agricultura orgánica en México.

La superficie para la producción orgánica en México ha venido aumentando como se muestra en la Figura 2.2. Los principales cultivos son el café con 44'266 has (6.72%), el cártamo con 10'805 (1.64%), el aguacate 9'804 has (1.49%), maíz 9'291 (1.41%) has, el agave con 7'541 has (1.14%) (SIAP, 2018).

También las exportaciones de productos orgánicos se han visto favorecida con un incremento de 141.5 millones de dólares en el 2015 a 278.5 millones de dólares en el 2017 (SIAP, 2018).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

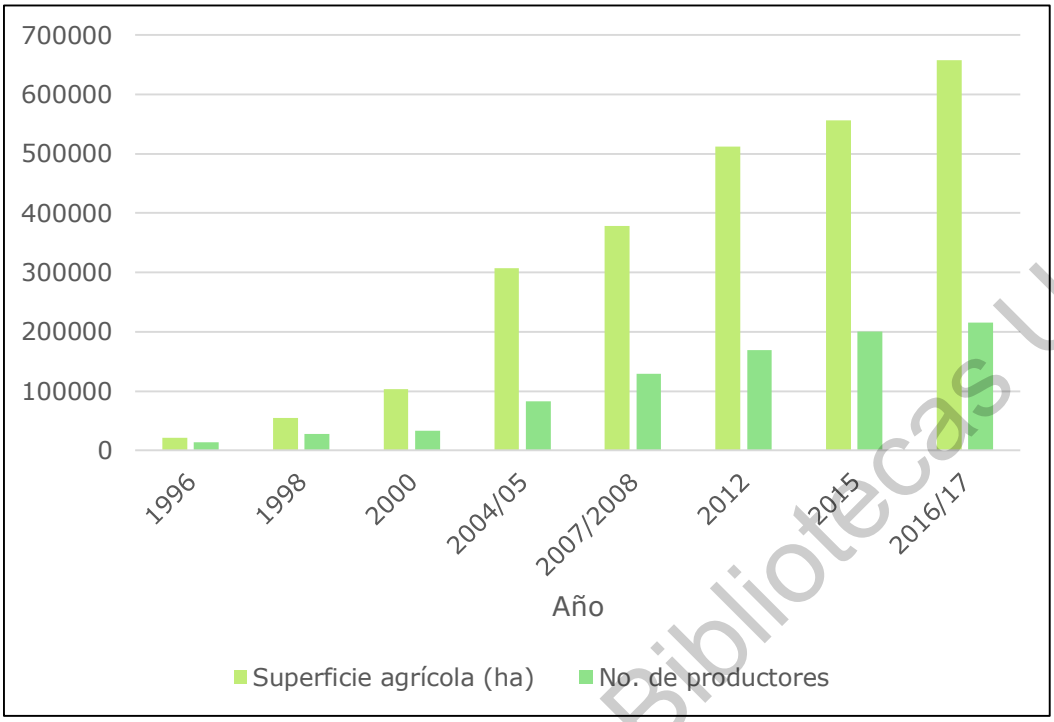

Figura 20.3 Desarrollo de la agricultura orgánica en México (Schwentesius 2018).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

2.7 Fuentes Nutricionales de la agricultura orgánica.

En la agricultura orgánica las principales fuentes de nutrición son: vermicomposta, ácidos húmicos y fúlvicos, fermentos, compostas, y biofertilizantes (IFOAM, 2014).

2.7.1 Vermicomposta.

El vermicompostaje es un proceso biológico que involucra interacciones entre lombrices y microorganismos que convierten eficientemente diferentes tipos de desechos orgánicos en abono rico en nutrientes (Sharma & Garg, 2018).

2.7.2 Sustancias húmicas (Ácidos húmicos y fúlvicos).

Las sustancias húmicas, de color oscuro son un subproductos del metabolismo microbiano. Este conjunto de restos orgánicos aporta propiedades vitales a los suelos, incluyendo el secuestro, la movilización y la transformación oxidativa o reductora de moléculas xenobióticas orgánicas, gases traza y trazas de contaminantes metálicos. Huminas la fracción insoluble de sustancias húmicas; ácidos húmicos, la fracción soluble solo en condiciones alcalinas y ácidos fúlvicos la fracción soluble en todas las condiciones de pH (Sutton & Sposito, 2005).

2.7.3 Fermentos.

Una alternativa de nutrición orgánica es el fertilizante fermentado, que es el nombre que se le da a los efluentes producidos en la fermentación o digestión de los desechos orgánicos de los biodigestores (Ndubuaku *et al*., 2014). La producción de biogás a través de la digestión anaeróbica deja residuos orgánicos (digestatos), que son ricos en nutrientes, cuyo uso puede reemplazar o al menos reducir el uso de fertilizantes minerales en la producción de cultivos (Song et al., 2018).

El digestato o efluente se compone de una fracción líquida conocida como biol y la parte solida biosol. La calidad de los efluentes, en términos de composición de nutrientes y propiedades físicas, depende de los materiales orgánicos utilizados durante la fermentación (Ndubuaku et al., 2014). El biol se obtiene con el uso de insumos como el estiércol animal, principalmente bovinos (Chontal et al., 2019).

También el biol es el resultado de la descomposición de los desechos animales y vegetales en ausencia de oxígeno. Contiene nutrientes que son asimilados fácilmente por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes

Dirección General de Bibliotecas UAQ

(INIA, 2008). El residuo líquido puede ser dirigido al follaje, en el riego y la parte solida a la semilla o al suelo (Colque *et al*., 2005).

2.7.4 Compostaje.

El compostaje es un proceso de fermentación aerobio, mediado por microorganismos, en estado sólido, mediante el cual diferentes materiales orgánicos se transforman en compuestos más estables. El producto obtenido es el compost, que contribuye a la mejora de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo (Sánchez *et al*., 2017).

Las principales materias primas utilizadas para el compostaje son los desechos agrícolas y agroindustriales, así como los residuos orgánicos putrescibles (Füleky & Benedek, 2010).

2.7.4.1 Factores que condicionan el proceso de compostaje.

En el proceso de compostaje hay que controlar muchos factores para obtener efectos positivos. Las materias primas a partir de las cuales se preparan los compost, el proceso utilizado para elaborarlo, la estabilidad o madurez, los microorganismos que la colonizan después del calentamiento máximo y finalmente las propiedades químicas y físicas del compost (Hoitink & Changa, 2004).

Los factores que condicionan el proceso de compostaje son:

a. Humedad: Durante la fase activa del compostaje, el contenido en humedad decrece de un 56 a un 38%, produciéndose la mayor reducción en los primeros seis días, debido fundamentalmente a los procesos de volteo y aireación del material y a la elevación de la temperatura. Durante la mayor parte de la fase activa del proceso, el

Dirección General de Bibliotecas UAQ

contenido de humedad debe de mantenerse próximo al 45% (Said-Pullicino *et al*., 2007).

b. Temperatura: La temperatura es un factor clave para el desarrollo del proceso de compostaje (Carballo *et al*., 2009). Raut *et al*., (2008) mencionan que la temperatura durante el compostaje podría aumentar como resultado de la biodegradación acelerada de la materia orgánica por microorganismos y Ryckeboer *et al*., (2003) afirman que la eficiencia del proceso de compostaje disminuye a medida que aumenta la temperatura.

c. Potencial de hidrogeno (pH): El pH es otro factor imperativo que afecta el crecimiento, desarrollo y actividad de los microorganismos durante el proceso de compostaje lo que influye en la solubilización y disponibilidad de nutrientes (Kausar *et al*., 2014).

d. Conductividad eléctrica (CE): La CE indica el contenido total de sal de la composta que refleja la calidad del compost que se utilizará como fertilizante(Jiang *et al*., 2015). Durante el compostaje, la concentración de sales aumenta debido a la descomposición de la materia orgánica compleja (Chan, *et al*., 2016). De acuerdo con (Huang *et al*., 2004), durante el proceso de compostaje, la CE podría aumentar debido a la formación de sales minerales y que podría disminuir por la volatilización del amoníaco y la precipitación de sales minerales.

e. Relación carbono nitrógeno. La relación carbono orgánico total/nitrógeno total (COT/NT) de la mezcla de residuos a compostar es uno de los índices más utilizados para estudiar la evolución de la materia orgánica durante el compostaje, ya que por un lado, representa la perdida de carbono orgánico, como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica, mientras que por otro, mide el aumento de la concentración de nitrógeno debido a la pérdida de peso (Roig et al., 2008) La importancia de esta relación está en que el proceso de compostaje se desarrolle de forma adecuada, se considera que el material de partida debe de tener una relación

Dirección General de Bibliotecas UAQ

COT/NT entre 25 y 30 ya que se considera que los microorganismos consumen unas 30 partes del carbono por cada parte de nitrógeno (Roig et al., 2008). Si la relación COT/NT es más alta, la actividad sería más lenta. Esto debido a que al haber exceso de carbono, se necesitan varios ciclos de los microorganismos para poder degradarlo. Sin embargo, si la relación COT/NT es muy baja, el exceso de nitrógeno se pierde como amoniaco y no será utilizado por los microorganismos (Roig et al., 2008).

2.7.4.2 Etapas del proceso de compostaje.

Hay tres etapas importantes en el proceso de compostaje: (1) la etapa inicial o mesófila, cuando la materia prima aún no ha sufrido ninguna descomposición *(*Bernal *et al*., 1998), los sustratos lábiles ricos en C se metabolizan rápidamente por una mezcla de bacterias, actinomicetos y hongos que prefieren temperaturas moderadas, típicamente entre 15 y 40 °C. Debido a este metabolismo aeróbico, se genera calor, lo que resulta en una descomposición rápida de algunos materiales disponibles, la temperatura aumenta nuevamente (Fischer & Glaser, 2012); (2) la fase termofílica, cuando el material alcanza su temperatura máxima (> 40 °C) y se degrada más rápidamente (Bernal *et al*., 1998) se favorece principalmente a los actinomicetos y las bacterias termofílicas como el *Bacillus sp*. Cuando los compuestos lábiles de C disminuyen, se produce una disminución gradual de la temperatura que conduce a la fase de enfriamiento (Fischer & Glaser, 2012); y la (3) fase de enfriamiento y maduración, el final de la fase biooxidativa, que se caracteriza por una caída de la temperatura a valores cercanos a la temperatura ambiente, es un largo período de estabilización destinado a producir un compost maduro altamente estabilizado y humificado, libre de fitotoxicidad (Bernal *et al*., 1998).

2.7.4.3 Métodos de compostaje.

Existe diferentes métodos de compostaje que van desde prácticas tradicionales y rápidas, que implican la aplicación individual o combinada de tratamientos como trituración y volteos frecuentes, compuestos de nitrógeno mineral, microorganismos

Dirección General de Bibliotecas UAQ

efectivos, organismos celulolíticos, aireación forzada y giros mecánicos y así, como se describen en el Cuadro 2.3 (Misra-FAO, 2003).

Cuadro 2.3 Métodos de compostaje, (Misra-FAO, 2003).

Método	**Características**
Bangalore	Se cavan pozos de aproximadamente un metro de profundidad, donde se colocarán los residuos y el suelo se colocan en capas alternadas hasta llenar el pozo. Los materiales permanecen en el pozo sin girar y regar durante tres meses.
Compostaje pasivo	Este método implica simplemente apilar los materiales en pilas para descomponerlos un largo período de tiempo con poca agitación y manejo.
Indore	Las materias primas utilizadas son residuos vegetales mixtos, estiércol y orina de animales, tierra, madera todos los desechos de materiales orgánicos disponibles en una granja, se apilan, cada tipo de material se extiende en capas de aproximadamente 15 centímetros de espesor hasta que el montón tenga aproximadamente un metro y medio de alto. Se rocía con suficiente agua. para humedecer lo pila, el material se voltea tres veces durante el período de compostaje; el primero 15 día después de iniciar el proceso, el segundo otros 15 días y el tercero después de un mes. En cada giro, el material se mezcla perfectamente y se humedece si es necesario.
Compostaje rural chino	Se hace una pila con capas, la primera es de abono verde, la segunda es una mezcla de paja y la tercera capa es de estiércol. Estas capas se alternan hasta que el pozo se llena, en la última capase coloca una capa de lodo y se riega hasta

Dirección General de Bibliotecas UAQ

	que el agua alcance 4 cm de profundidad. Se dan tres vueltas en total, el primer un mes después del llenado el pozo y en este momento, se agrega superfosfato y se mezcla completamente. Se agrega agua según sea necesario. El segundo giro se realiza después de otro mes y el tercero dos semanas después. Se permite que el material se descomponga durante tres meses
Compostaje de hileras	El compostaje de hileras consiste en colocar la mezcla de materias primas en un largo y estrecho pilas o hileras que se agitan o giran de forma regular.
Compostaje rápido de Berkley	Uso de nitrógeno mineral como activador.
Compostaje caliente de la Universidad Estatal de Dakota del Norte	Uso de microorganismos eficientes.
Proceso de producción rápida de compost basado en microorganismos.	Uso de cultivos celuliticos
Pila estática aireada	Sistemas controlados con aireación forzada y giros mecánicos acelerados.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

2.7.4.4 Beneficios de incorporar composta al suelo.

El compost tiene el beneficio de usar biomasa que de otro modo podría ser vertido y proporciona un balance de nutrientes en una enmienda de bajo costo (Cerda *et al*.,

2018). Nieto-Garibay *et al*., (2002) menciona que el uso de compostas mejora las características físicas de los suelos, como lo son la fertilidad, almacenamiento de agua, promueve la disponibilidad de nutrientes.

Shahzad *et al*., (2017) reportaron un aumento sustancial de la disponibilidad de P y los atributos bioquímicos asociados reflejan la importancia de la calidad del sustrato, la estabilidad estructural y las condiciones de pH optimizadas de compost añadido que pueden haber mejorado el rendimiento de rhizobacterias solubilizadoras de fosforo, específicamente con composta de aserrín acidulado. Además, el aumento de las secreciones de carboxilato y la abundancia de rhizobacterias solubilizadoras de fosforo en la zona de las raíces, la disminución del pH y el aumento de los parámetros fúngicos de la rizósfera, sugieren que las rhizobacterias solubilizadoras de fosforo y aserrín acidulado conducen mayor cantidad de fosforo al maíz.

Gaiotti *et al*., (2017) investigaron durante cinco años (2009-2013) dos tipos de composta, composta de desechos de poda de vid y de estiércol de ganado, analizaron el crecimiento vegetativo de la vid, el rendimiento y la composición de la uva, junto con las características del suelo y la densidad y distribución de las raíces. Sus resultados demostraron que la adición a largo plazo de composta a un viñedo podría ser beneficiosa para las propiedades del suelo, incluyendo la materia orgánica y la biomasa microbiana. Además, observaron efectos significativos de las modificaciones orgánicas en el desarrollo de la raíz de la vid, el rendimiento de la uva y la calidad de la fruta, dependiendo del tipo de composta.

Amanullah & Khan (2015) realizaron una prueba de campo donde estudiaron los efectos de los niveles de fosforo y los tiempos de aplicación de composta en el rendimiento del maíz en la Granja de Investigación de Agronomía de la Universidad de Agricultura Pakistán. Utilizaron semillas inoculadas con bacterias solubilizadoras de fosforo y sin inocular e hicieron la aplicación de composta en tres tiempos diferentes a los 30, 15 y 0 días antes de la siembra y cuatro niveles de fosforo 25, 50, 75 y 100 kg/ha.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Sus resultados confirmaron que la composta aplicada al momento de la siembra y el fosforo aplicado a las dosis más altas tuvieron un aumento significativo en el rendimiento.

Khan & Imran (2015) utilizaron cuatro niveles de compost (5, 10, 15 y 20 t ha^{-1}) y cuatro densidades de semillas de maíz (10, 20, 30 y 40 kg ha^{-1}) acorde a sus resultados recomiendan la aplicación de 20 toneladas para una densidad de 40 kg de semilla por hectárea, los resultados en producción se ven incrementados.

El-Maghraby et al., (2011) evaluaron el efecto de la aplicación de compost como enmienda orgánica 5.5, 11.0 y 16.5 Mg f^{-1} sobre el rendimiento del maíz. El rendimiento de grano en los tratamientos sin compost fue de 1.788 a 2.482 Mg f^{-1}, mientras que en los tratamientos con compost fue de 2.757 a 6.316 Mg f^{-1}. Con la aplicación de compost registraron un aumento promedio de 34.1, 161.0 y 92.9% para los 5.5, 11.0 y 16.5, respectivamente. Doan et al., (2015) en un experimentaron en un cultivo de maíz aplicaron 20 toneladas de composta durante tres años, obteniendo resultados positivos en la producción de grano y biomasa seca respecto a su control, 0.32 kg/m^2 el primer año, 0.17 en el segundo año y 0.29 kg/m^2 en su tercer año. En rendimiento de grano 6.5 ton ha^{-1}, 5.7 y 6.0 respectivamente lo que equivale a 19, 39 y 34% más que el control. Álvarez-Solís *et al.,* (2010) evaluaron el efecto del manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el rendimiento de maíz, el experimento lo realizaron en condiciones de temporal en Chiapas, con dos dosis de fertilización (60–30 y 120–60 de N–P) y aplicación de abonos orgánicos (sin abono, composta, bocashi y vermicomposta, 6.0 t ha^{-1}). Reportan en sus resultados que el rendimiento de grano varió de 2152 a 3616 kg ha^{-1}; el valor más bajo registrado fue para la dosis baja de fertilización sin abono y el más alto para la dosis alta de fertilización con humus de lombriz. Con fertilización de 60-30 N-P, el rendimiento aumentó 3.8, 12.7 y 11.5% con composta, bocashi y humus de lombriz, con dosis alta el incremento fue 17.7, 21.9 y 30.5%. Souza *et al.,* (2016) con el objetivo de evaluar el rendimiento de la cosecha de maíz en un suelo luvisol háptico llevaron a cabo un experimento con seis tratamientos y cinco dosis de composta en Mg ha^{-1}: 3, 6, 9, 12 y 24 y un tratamiento adicional con fertilización mineral (110, 50 y 30 kg ha^{-1} de NPK), realizaron evaluaciones en dos cosechas en temporal. El rendimiento del maíz fue

Dirección General de Bibliotecas UAQ

mayor con la aplicación de composta de 24 Mg ha^{-1} con 6.95 t ha^{-1} con respecto al primer año de 2.51 t ha^{-1}.

2.7.5 Biofertilizantes.

Los biofertilizantes son sustancias compuestas de microorganismos vivos y una mezcla de sustancias biodegradables que se aplican a semillas, área foliar de las plantas, en el suelo, que coloniza la parte interior de la planta, a través de diversos medios, como rizosfera, espacios intercelulares, y mejora el crecimiento y los rendimientos al aumentar la disponibilidad de nutrientes primarios para la planta huésped (Mazid & Khan, 2014).

Los productos de biofertilizante se basan generalmente en los microorganismos promotores del crecimiento de las plantas (PGPM o PGPR). Estas PGPM se pueden clasificar en tres grupos dominantes de microorganismos, hongos micorrízicos arbusculares (HMA), PGPR y Rizobios fijadores de nitrógeno, que se consideran beneficiosos para el crecimiento de las plantas y la nutrición. Los PGPR se han utilizado en todo el mundo como biofertilizantes, contribuyendo al aumento de los rendimientos de los cultivos y la fertilidad del suelo (Gupta *et al*., 2015).

En la Agenda 21 de la Cumbre para la Tierra, fue recomendado el uso de los biofertilizantes (ONU, 1992). El uso de rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas puede constituir una alternativa biológica para aumentar el rendimiento de los cultivos y la resistencia de las plantas a ambientes degradados (Marques *et al*., 2010).

2.7.5.1 Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

Los HMA son microbios benéficos del suelo que pertenecen al phylum *Glomeromycota* (Salmerón-Santiago *et al*., 2015) y que forman asociaciones simbióticas con la mayoría de las especies de plantas silvestres y cultivadas (Oruru & Njeru, 2016). Durante las interacciones planta-HMA, la planta suministra compuestos carbonosos al

Dirección General de Bibliotecas UAQ

hongo, mientras que el hongo proporciona nutrientes (Osorio & Habte, 2009) y también juegan un rol importante en la fertilidad del suelo (Smith & Read, 2008).

Zulueta *et al.,* (2016) inocularon plantas de albahacar con dos consorcios de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) autóctonos llamada Orecib01 y Salcib01 y un consorcio comercial llamado Rizofermic®. Después de 120 días observaron un aumento en el crecimiento de las plantas inoculadas con el consorcio autóctono Orecib01. La altura de la planta, el área foliar, peso seco de la hoja y de la raíz fueron mejor en comparación con los inoculados con el consorcio comercial Rizofermic®.

Ruíz-Sánchez *et al*., (2016) evaluó la respuesta en plantas de arroz inoculadas con diferentes cepas de hongos micorrízicos arbusculares, *Claroideoglomus claroideum* (Cc = 80 esporas g-1 de inóculo), *Glomus cubense* (Gc = 126 esporas g^{-1} de inóculo), *Rhizoglomus intraradices* (Ri = 42 esporas g-1 de inóculo) y *Funneliformis mosseae* (Fm= 38 esporas g-1 de inóculo) en condiciones inundadas. Sus resultados demuestran que el arroz se coloniza, aunque con porcentajes bajos.

Sylvestre *et al.,* (2017) inocularon semillas de maíz de la variedad EVDT 97 STR C1 con *Glomus cubens, Rhizophagus intraradices y Funneliformis mosseae* en solitario y con una fertilización NPK al 50%, un control positivo de 100% NPK y uno negativo sin inocular y sin fertilización. El mejor rendimiento lo obtuvieron con las plantas tratadas con *R. intraradices* + 50% de NPK (2,33 t ha^{-1}) comparándolo con su control (1,48 t ha^{-1}). La mayor altura se registró en el tratamiento de *Glomus cubens* + 50% NPK con 169 cm y el mejor diámetro en el del control positivo 100% NPK con 1.87 cm. En el Cuadro 2.4 se resumen algunos trabajos reportados en maíz inoculado con hongos micorrizicos.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 2.4. Trabajos reportados en maíz inoculado con hongos micorrizicos arbusculares.

HMA	Beneficios	Referencia
Glomus mosseae y *Glomus intraradices*	Mejoró la producciòn y calidad del maiz. Obtuvo 988.4 g/m2 de materia seca sin usar algún tipo de fertilización química.	Pellegrino *et al*., 2011
Rizoglomus intraradices, *Glomus aggregatum*, *Glomus viscosum*, *Glomus etunicatum*, y *Glomus claroideum*	El crecimiento y rendimiento del cutivo se vieron beneficiados.	Berta *et al*., 2014
Scutellospora pellucida, Scutellospora calospora, *Glomus leptotichum y Acaulospora mellea*	Optimizó el rendimiento en el cultivo de maiz con el híbrido amarillo HIMECA en grano. Combiancion con diferentes dosis de NPK.	Cabrales *et al*., 2016
Funneliformis mosseae, Glomus cubense, Rhizoglomus intraradices	El estado nutricional de las plantas mejoro, así como la producción.	Gonzalez *et al*., 2016

2.7.5.2 Genero *Azospirillum.*

En muchos informes, *Azospirillum* se considera el género de rizobacterias más importante para mejorar el crecimiento de las plantas o el rendimiento de los cultivos en todo el mundo (Bashan *et al*., 2004). Este grupo de bacterias inicialmente interesó a los investigadores debido a su capacidad: (a) para fijar el nitrógeno atmosférico; (b) colonizar tejidos internos de plantas gramíneas, como las rizobacterias endofíticas.

La fijación biológica no simbiótica de nitrógeno se lleva a cabo principalmente por diazótrofos de vida libre uno de ellos perteneciente al género *Azospirillum* (Bashan & de-Bashan, 2010). También este género ha sido reportado como bacteria solubilizadora de fosforo (Mehnaz & Lazarovits, 2006).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Las plantas regularmente están colonizadas o influenciadas directamente por diferentes microorganismos, como las rizobacterias, de las cuales muchas tienen la capacidad de producir fitohormonas como auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico, así como los reguladores del crecimiento como las poliaminas y el óxido nítrico, el género *Azospirillum* se ha reportado que capaz de producir esas fitohormonas (Cassán *et al*., 2014). En el Cuadro 2.5 se presentan algunos trabajos reportados de los beneficios que las bacterias de *Azospirillum* generan en plantas de maíz.

Cuadro 2.5 Trabajos en maíz inoculado con *Azospirillum brasilense.*

Microorganismo	Beneficios	Referencia
Azospirillum brasilense	Tolerancia al stress hídrico.	Curá *et al*., 2017
Azospirillum brasilense	Promotor de crecimiento, altura de la planta y aumentos en la producción.	Marks *et al*., 2015
Azospirillum brasilense	Una mayor concentración de nutrientes en las hojas y un aumento en la producción de grano de maíz y trigo.	Hungria *et al*., 2010
Azospirillum brasilense strains Ab-V5 and Ab-V6 and Rhizobium tropici strain CIAT 899	Estrés a la salinidad	Fukami *et al*., 2018
Azospirillum brasilense	Producción de fitohormonas, ácido indolacético (IAA), acido butírico (IBA), etanol, ácido giberilico, ácido jasmonico, ácido salicílico.	Fukami *et al*., 2017

Dirección General de Bibliotecas UAQ

III. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis.

La incorporación de composta al suelo y la inoculación de la planta con biofertilizantes comerciales a base de Hongos Micorrizicos Arbusculares y bacterias de *Azospirilum sp.* Favorece el crecimiento y rendimiento de un cultivo de maíz criollo como forrajero, en comparación de un suelo donde no se agrega composta ni biofertilización.

3.2. Objetivo General.

Evaluar el rendimiento de maíz forrajero a través de la aplicación de composta al suelo e inoculación de la planta con microorganismos.

3.3. Objetivos Particulares.

- Evaluar el proceso de la composta elaborada con desechos orgánicos del campus Amazcala.
- Determinar la cantidad de nutrientes presentes en la composta.
- Evaluar la disponibilidad de los macronutrientes fósforo y nitrógeno en el suelo.
- Evaluar la germinación y emergencia de un maíz criollo utilizando composta y biofertilizantes.
- Evaluar el rendimiento del maíz bajo diferentes cantidades de composta e inóculo microbiano.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

IV. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación del área de estudio.

El trabajo experimental se desarrolló en las áreas de composta y Huerto en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, municipio de El Marqués, Querétaro, que se localiza al noroeste del estado de Querétaro, con una altitud de 1920 msnm entre las coordenadas latitud 20º 42’ 17.64”N y longitud 100º 15’ 44.38”O (Figura 4.1).

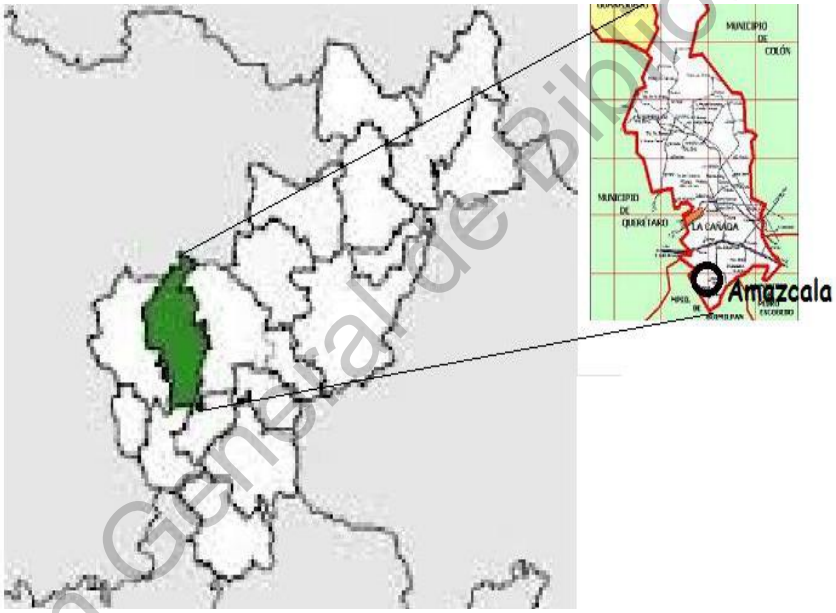

Figura 4.2 Ubicación del experimento.

4.2. Producción de la composta.

La producción de la composta se llevó a cabo en el área de compostaje de la universidad Autónoma de Querétaro, Figura 4.2.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Figura 4.2 Área de compostaje, Universidad Autónoma de Querétaro.

4.2.1. Caracterización de los materiales de entrada.

Los materiales utilizados para la elaboración de la composta fueron estiércol de vaca fresco y desechos de silo inservible como alimento de ganado con un tamaño de partícula de 1.0 cm, ambos fueron tomados del campus Amazcala, Figura 4.3; a estos materiales se les midió: porcentaje de humedad, pH, CE.

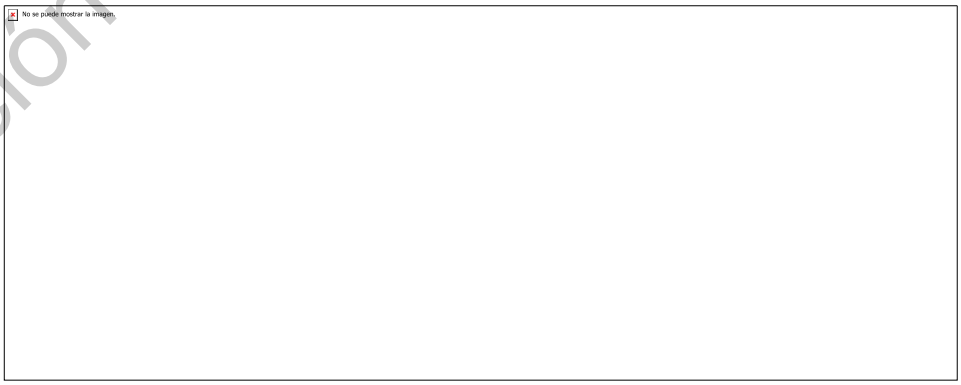

Figura 4.3 Materiales utilizados para el proceso de compostaje, a) desechos de silo, b) estiércol fresco de vaca.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Para determinar el porcentaje de humedad, el pH y CE, se siguió la metodología propuesta por la NOM-021-RECNAT-2000, pH en agua en una relación 1:2 por potenciometría; misma relación fue usada para la conductividad eléctrica (CE). Las mediciones se hicieron con un potenciómetro marca Conductronic modelo PC18 que tiene una precisión de ± 0.01pH y de ± 1.5% CE como se observa en la Figura 4.4.

Figura 4.4 Medición del pH y CE del estiércol y silo.

Para determinar el % de humedad se tomó una muestra de 250 gr de los materiales los cuales se metieron a una estufa a temperatura de 105 ºC durante 24 horas por diferencia de pesos y usando la siguiente formula se calculó el % de humedad (NOM-021-RECNAT-2000):

$$\%\ \boldsymbol{de\ humed} = \frac{\boldsymbol{peso\ de\ la\ muestra\ humeda - peso\ de\ la\ muestra\ seca}}{\boldsymbol{peso\ de\ la\ muestra\ seca}} * \mathbf{100}$$

Dirección General de Bibliotecas UAQ

4.2.2 Método de compostaje y monitoreo.

La elaboración de la composta, se llevó a cabo mediante el método Indore tradicional, el cual consistió una capa de silo seguida de una de estiércol. La mezcla final consistió en una proporción de 31.43% silo, equivalente a 220 kg, y 68.57 % de estiércol, 480kg.

Una vez elaborada la pila, se efectuaron volteos de forma manual con ayuda de una pala durante el proceso de compostaje para permitir la aireación de la misma, como se muestra en la Figura 4.5. Se midieron las variables de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica (CE) de la pila de composta.

Figura 4.5 Maniobra de volteo en la pila de compostaje.

Para el monitoreo de la temperatura y humedad se instaló un Datalogger WatchDog de la marca Spectrum Inc. Serie 1000, a 20 cm de profundidad y las lecturas se registraron cada 60 minutos durante 65 días (Figura 4.6). Para el análisis del pH y CE, semanalmente se tomó una muestra compuesta de la composta y se siguió la metodología de la NOM-021-RECNAT-2000.

Dirección de Bibliotecas UAQ

Figura 4.6 Datalogger en la pila de compostaje para monitoreo de temperatura y humedad.

4.3 Análisis fisicoquímicos en composta.

Concluido el proceso de compostaje, se obtuvo una muestra compuesta de 1.0 kg de composta, para lo cual se tomaron 7 submuestras de la composta previamente molida en un molino de martillos marca Azteca modelo N.6. Posteriormente la muestra fue etiquetada y enviada a la empresa Fertilidad de Suelos S. de R.L., donde realizaron análisis de pH, humedad, potasio (K), fósforo total (P) y carbono orgánico (COT), nitrógeno total (N Total), micro elementos, contenido de materia orgánica (MO) y CE.

4.4 Nutrientes presentes en el suelo.

Con el fin de conocer en qué cantidades se encontraban presentes el nitrógeno y fosforo en el suelo donde se estableció el experimento se tomó una muestra compuesta siguiendo la metodología descrita por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que fue hacer el muestreo en forma de zigzag donde el punto de inicio de eligió al azar, como se muestra en la Figura 4.7.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

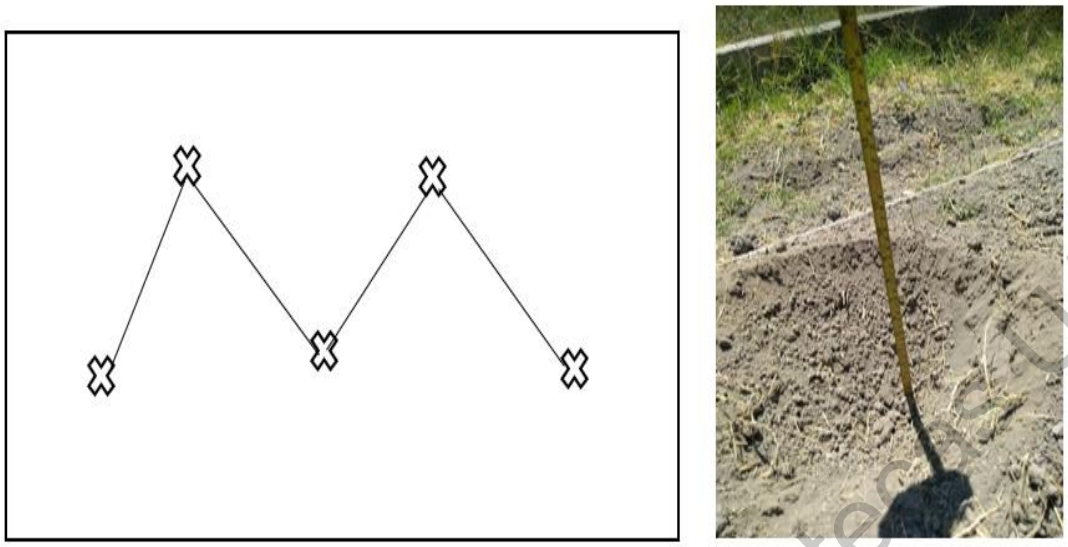

Figura 4.7 Toma de muestra de suelo**,** a) Croquis de muestreo, b) Medición de la profundidad para tomar la muestra de suelo.

Se extrajeron 5 sub-muestras de suelo con la ayuda de una pala a una profundidad de 20 cm, una vez colectadas todas las sub-muestras se mezclaron homogéneamente, y de la mezcla se extrajo una muestra compuesta de 1.0 Kg de suelo, la muestra fue etiquetada y enviada al laboratorio de la empresa Fertilidad de Suelos S. de R.L., para la determinación de tipo de textura, capacidad de campo, % MO, P-Olsen, K, N-NO_3

4.5. Diseño experimental: germinación, emergencia y rendimiento de maíz.

El diseño experimental fue en tres etapas, en caja de Petri para determinar el porcentaje de germinación, en charolas de germinación para medir la emergencia y a nivel de campo para evaluar el rendimiento en forraje verde. Los tratamientos se describen en los Cuadros 4.1 y Cuadro 4.2. El diseño en campo fue en bloques completamente al azar, cada parcela fué de 2.16 m^2.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 4.3 Tratamientos implementados para la prueba de germinación en caja de Petri y emergencia en charola.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO
T1	Control
T2	Control (sábila como adherente)
T3	Semilla peletizada con composta
T4	Semilla peletizada con TM-53® (HMA)
T5	Semillas + Activamic®
T6	Semillas+ Activamic® peletizadas con TM-53®
T7	Semillas peletizadas con composta, TM-53® y Activamic®.
T8	Semillas peletizadas con composta y Activamic®.
T9	Semillas peletizadas con composta y TM-53®.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 4.4 Tratamientos implementados en campo.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO
T1	Incorporación de composta 0.5 kg/m^2 al suelo y aplicación posterior a la planta de TM-53® (HMA).
T2	Incorporación de 1.0 kg/m^2 de composta al suelo y aplicación posterior a la planta TM-53®.
T3	Incorporación de 1.5 kg/m^2 de composta al suelo y aplicación posterior a la planta de TM-53®.
T4	Incorporación de 0.5 kg/m^2 de composta al suelo y aplicación posterior a la planta de Activamic®.
T5	Incorporación de 1.0 kg de composta por m^2 al suelo y aplicación posterior a la planta de Activamic®.
T6	Incorporación de 1.5 kg de composta por m^2 al suelo y aplicación posterior a la planta de Activamic®.
T7	Incorporación de 0.5 kg de composta por m^2 al suelo y aplicación posterior a la planta de Activamic® y TM-53®.
T8	Incorporación de 1.0 kg de composta por m^2 al suelo y aplicación posterior a la planta de Activamic® y TM-53®.
T9	Incorporación de 1.5 kg de composta por m^2 al suelo y aplicación posterior a la planta de Activamic® y TM-53®.
T10	Incorporación de 0.5 kg de composta por m^2 al suelo
T11	Incorporación de 1.0 kg de composta por m^2 al suelo
T12	Incorporación de 1.5 kg de composta por m^2 al suelo
T13	Control

Dirección General de Bibliotecas UAQ

4.5.1 Material genético, biológico y suelo.

- Semilla: se utilizaron semillas de maíz criollo de la comunidad de Amazcala, El Marques, Querétaro, con el conocimiento de ser una variedad preservada en la comunidad mencionada, cosechada en el año 2018, libre de impurezas, sin tratamiento y sin ningún tipo de selección masal, Figura 4.8.

- Biofertilizantes: fueron proporcionado por el Dr. Victor Olalde Portugal investigador del CINVESTAV-Irapuato. Para la inoculación con HMA, se utilizó el biofertilizante biológico TM-53 (N.° de lote: TMYC-06-09). Con un contenido de 20'000 esporas viables/kg (*Glomus fasciculatum, G. constrictum, G. tortuosum, G. geosporum, Acaulospora scrobicurata y Gigaspora margarita*, todas cepas nativas de México). El otro biofertilizante fue liquido con *azospirillum sp*. de nombre comercial Activamic®.

- Suelo: Es del tipo vertisol clasificado como altamente fértil por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019).

Figura 0.8. a) Semillas, b) composta, c) Biofertilizante Activamic®, *Azospirillum sp*., d) Biofertilizante, TM-53®, hongos micorrizicos arbusculares.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

4.6 Establecimiento del experimento.

4.6.1 Germinación en cajas Petri.

Se emplearon semillas de maíz criollo, las mismas fueron desinfectadas, se sumergidas durante 5 minutos en una solución de hipoclorito al 5%, posteriormente, se lavaron repetidamente con agua destilada.

Se colocaron en cajas de Petri de 10.0 cm de diámetro (10 semillas/caja) sobre papel filtro humedecido con agua destilada. Cada semilla se peletizo con 0.0375 gr de HMA (TM-73®), composta 0.0375 gr, 0.0375 ml de bacterias de *Azospirillum sp.* (Activamic®) o combinación entre ellas, según fuese el caso, más un control sin inocular y un control de sábila que hizo la función de adherente en los tratamientos con los biofertilizantes sólidos.

Se estableció un diseño experimental con los 9 tratamientos (Cuadro 4.1) y tres repeticiones para un total de 27 unidades experimentales. Cada unidad experimental constó de 10 semillas por caja de Petri (Figura 4.9). Diariamente se contó el numero de semillas germinadas durante un periodo de 10 días hasta que se obtuvo el máximo de semillas germinadas.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

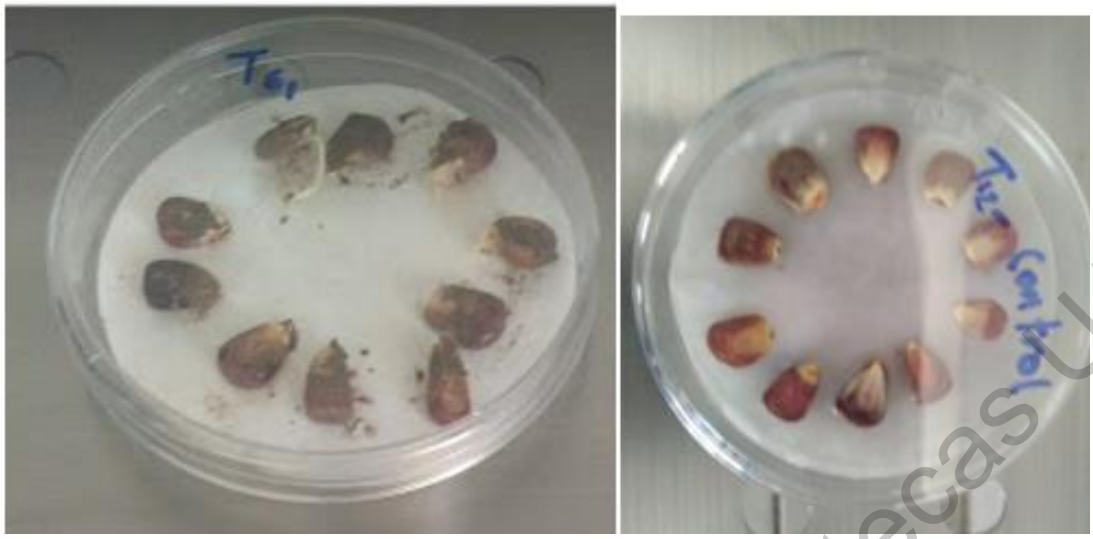

Figura 4.9 Prueba de germinación de semillas de maíz criollo inoculadas con HMA (TM-73®), *Azospirillum sp.* (Activamic®), composta.

4.6.2 Emergencia de semillas de Maíz criollo en charola de germinación.

Para la evaluación de la emergencia se implementó un diseño experimental (Cuadro 4.1) donde las semillas fueron peletizadas con composta, esporas de hongos micorrizicos (TM-73®) y/o humedecidas con *Azospirillum sp.* según el tratamiento, para el caso donde el peletizado fue con HMA o composta se utilizó como adherente sábila.

Las semillas de maíz se sembraron en charolas, las cavidades fueron llenadas con suelo donde posteriormente se estableció el cultivo. El diseño del experimento fue en bloques de tres repeticiones y se utilizaron 20 semillas por repetición por tratamiento. Se colocó una semilla de maíz por cavidad. Las charolas se mantuvieron en un invernadero bajo condiciones de 28ºC-34 º C (Figura 4.10). La emergencia se evaluó durante 15 días. Para considerar una semilla germinada fue la formación del gancho del hipocótilo (ISTA, 2004). Al final del ensayo se midió la longitud de la raíz, longitud de la parte aérea, pesos frescos y secos de parte aérea y raíz la planta.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Figura 4.3 Prueba de emergencia en charola.

4.6.3 Rendimiento.

Para la evaluación del rendimiento el experimento se implementó en el área de huerto y se llevaron a cabo las siguientes actividades:

a) Preparación del terreno: La preparación del terreno se hizo de forma mecánica, se abrió el suelo con un paso de subsuelo a una profundidad de 30 cm, posteriormente un paso con rotavator para desmenuzar el suelo, Figura 4.11.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Figura 4.4 Preparación del terreno.

Determinado el área para cada tratamiento, se hizo la distribución de las diferentes dosis de composta, 0.5, 1.0 y 1.5 kg/m^2, como se puede apreciar en la Figura 4.12.

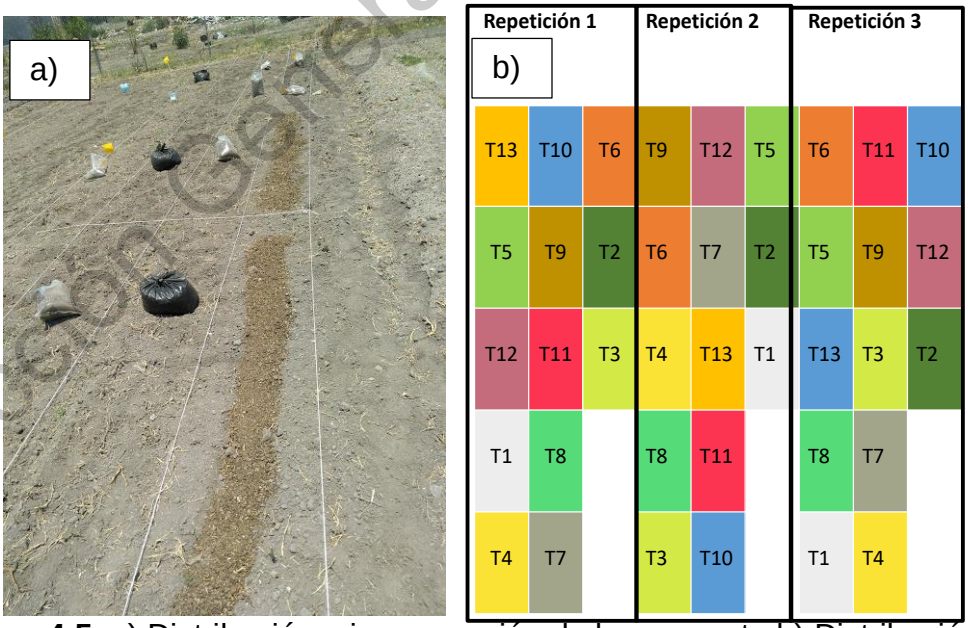

Figura 4.5. a) Distribución e incorporación de la composta b) Distribución de los tratamientos en campo.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

b) Siembra. La siembra se realizó en el mes de junio, el método de siembra empleado fue de forma manual en suelo seco. Con una separación entre surcos de 0.80m y distancia entre plantas de 0.15 m, una semilla por orificio para una densidad de siembra de 83’333 semillas por hectárea ó 18 semillas por tratamiento (Figura 4.13). El área total donde se estableció el experimento estuvo constituida por 97.2 m^2 y cada tratamiento en una superficie de 2.16 m^2.

Figura 4.6 Siembra de maíz criollo en parcela experimental.

c) Inoculación del cultivo. La inoculación se realizó a los 15 días después de la siembra (dds), durante la tarde a una temperatura de 25°C, a cada planta se agregaron los biofertilizantes según correspondiera al tratamiento (endomicorrizas TM-53® 0.0375 gr por planta y *Azospirillum* Activamic® 0.0375 ml).

d) Control de Malezas. El control de maleza se hizo de forma manual con azadón en el área del cultivo con el fin de evitar que las malezas fueran hospederos de plagas y que compitieran con el maíz por nutrientes.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

e) Control de plagas. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es de las principales plagas del cultivo, se instalaron dos trampas de feromonas, Figura 4.14; las trampas fueron construidas de recipientes plásticos tipo garrafa de 5 l con aperturas laterales, al interior de la trampa se colgó la feromona. También se realizaron dos aplicaciones de Javelin® insecticida biológico a base de *Bacillus* thuringiensis var. Kurstaki en una dosis de 3.2 gr para el área donde se estableció el cultivo, según las recomendaciones en la etiqueta del producto.

Figura 4.7 Trampa con feromona para el gusano cogollero.

4.7 Medición de las variables.

Las plantas seleccionadas para ser medidas fueron 6 correspondientes al centro de cada tratamiento para evitar el efecto borde (Toledo *et al*., 1982).

4.7.1 Altura de la planta.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Durante el desarrollo del cultivo la altura de la planta se midió usando un flexómetro de 5.0 m de longitud, las mediciones se tomaron desde el nivel del suelo hasta el ápice de la planta. Cuando el maíz empezó a espigar la medición se hizo desde la superficie del suelo hasta donde empezaba la ramificación de la espiga (CIMMYT, 2017).

4.7.2 Diámetro de tallo.

Las mediciones del diámetro del tallo se hicieron usando un vernier electrónico de la marca Mitutoyo con un rango de medición de 0-200 mm a una altura de 10.0 cm sobre el nivel del suelo.

4.7.3 Cosecha.

Para la cosecha se empleó el criterio de Bal *et al*., (1997), donde dice que el estado idóneo para la cosecha del maíz para silo esta entre los estados de 1/4 y 2/3 de la línea de leche.

La planta se cortó a mano a una altura de 10.0 cm sobre el nivel del suelo.

a) Rendimiento de materia verde (MV).

Se cuantificó el rendimiento de materia verde (MV) de cada unidad experimental. Las plantas fueron pesadas en un bascula la marca Torrey modelo L-EQ con una precisión de 0.02 g, después fueron picadas en un molino de martillos marca El Crucero para determinar el rendimiento en materia seca (MS), Figura 4.15.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

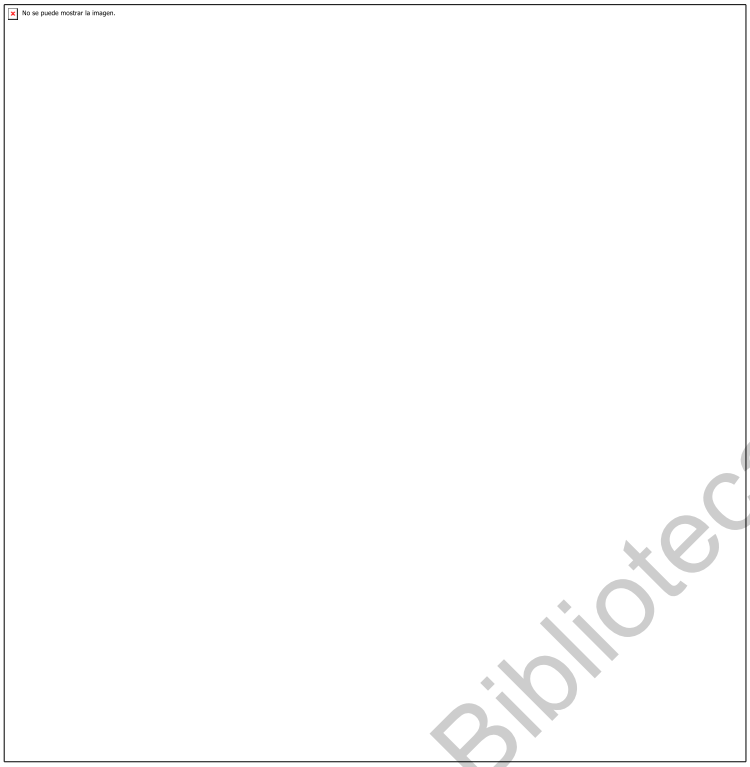

Figura 4.15 a) Mazorca en grano masozo lechoso, b) Picado de la planta, c) Pesaje de 100 gr de forraje verde.

Posteriormente, se calculó el rendimiento por hectárea (t ha^{-1}), multiplicando las medias de cada tratamiento por la densidad de siembra 83’339 semillas/ha.

b) Peso seco.

El contenido en materia seca (MS) se obtuvo por pérdida de peso tras la desecación de 100 g de forraje verde en estufa a 105 °C por 24 horas.

4.8 Análisis estadístico.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) así como las respectivas pruebas de Tukey para evaluar diferencias con un nivel de confianza de 95% con el programa estadístico Minitab 17®.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Producción de composta.

5.1.1 Caracterización de materiales para elaboración de composta.

En el cuadro 5.1 se muestran los valores de las propiedades químicas de las materias primas del proceso de compostaje.

El análisis del pH en los componentes muestra cierta alcalinidad. La conductividad eléctrica mostró valores menores desde 0.53 dS m^{-1} hasta 7.32 en el estiércol fresco.

Cuadro 5.1. Características químicas de los materiales de entrada al proceso de compostaje

Característica	Desechos de silo de maíz	Estiércol fresco de vaca
% de humedad	2%	62%
CE dS m^{-1}	0.53	7.32
pH	7.54	7.95
Tamaño de partícula	1.0 cm^2	---

Barbazán *et al*., 2011 en un estudio sobre caracterización de los residuos orgánicos que se integran a los suelos de Uruguay para el estiércol fresco de vaca encontró unos valores de CE de 2 dS m^{-1} y un pH de 7.6 al igual que (Wang *et al*., 2018).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

5.1.2. Monitoreo de la composta.

a) Monitoreo de pH y CE.

Los resultados obtenidos de pH y CE de los residuos agroindustriales muestreados durante la fase de maduración del proceso de compostaje están dentro de los rangos establecidos en la Normativa Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, donde establece que durante el proceso de compostaje el pH debe tener un rango de entre 4-9 y cuando ya está terminada 6.7 – 8.5, como se aprecia en la Figura 5.1.

El pH final obtenido muestra que es un sustrato de tipo alcalino y la CE 2.60 dS m^{-1} indica que la composta no presenta limitaciones o riesgo de salinización o fitotoxicidad, el valor critico según Krause *et al*., (2001) es de 5.5 dS m^{-1}.

La conductividad eléctrica (CE) refleja el nivel de salinidad en un producto de compost, lo que sugiere la posibilidad de efectos fitotóxicos o fitoinhibitorios (Gao *et., al*., 2010). Los cambios en el valor de conductividad eléctrica durante el compostaje se muestran en la Figura 5.1. El valor inicial estuvo en 12.7 dS m^{-1}, durante todo el proceso este valor fue disminuyendo hasta llegar a un valor de 2.0 dS m^{-1}, (Mohee *et al*., 2015) obtuvieron un valor inferior en un compost a partir de bagazo de la industria azucarera, con 1,25±0,03 dS m^{-1}.

La disminución de los valores de CE durante el proceso de compostaje es un resultado directo del aumento de las concentraciones de nutrientes como nitratos y nitritos (Bazrafshan *et al*., 2016). Las características del compost final se muestran en el Cuadro 5.3.

Oviedo *et al.,* 2014, recomiendan un rango de <2 dS m^{-1} <4 dS m^{-1}, el valor obtenido de la composta está dentro del rango sugerido por estos autores. La CE es un indicativo indirecto del contenido de sales y se asocia con la presencia de sodio, sales de amonio, potasio, nitrato, sulfato y cloruro. Estas sales en altas concentraciones pueden

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ser tóxicas para las plantas e inhibir su crecimiento (Hargreaves *et al*., 2008). Tiquia (2010) dice que la salinidad puede estar asociada al relativo alto contenido de nitrógeno en el producto final y su posterior mineralización.

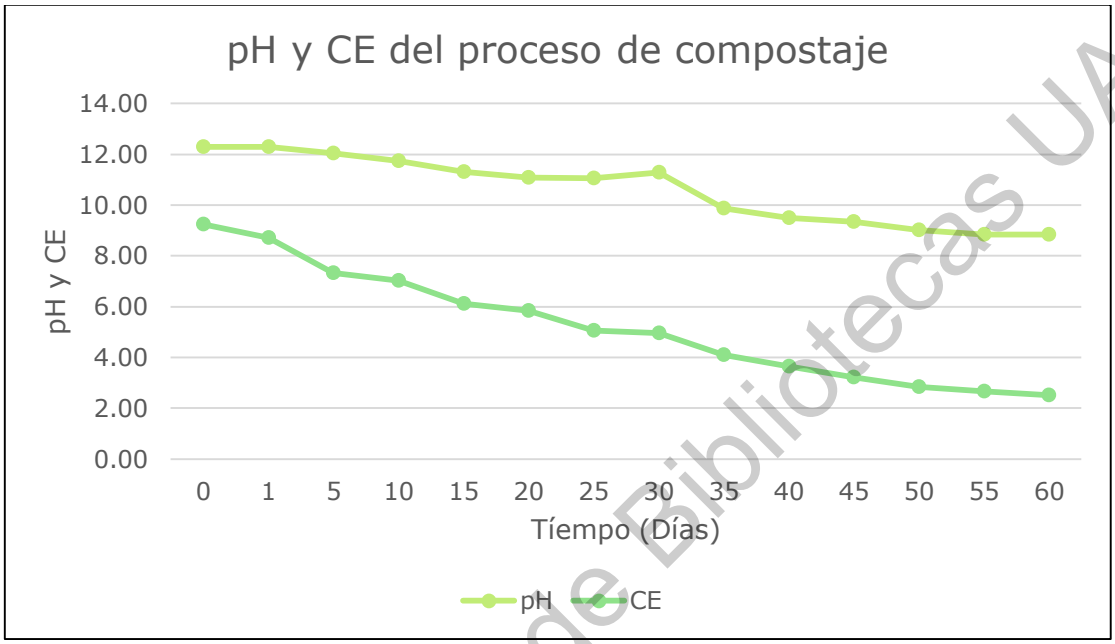

Figura 5.1 Variación de pH y CE durante el proceso de compostaje.

b) Temperatura y Humedad.

La temperatura en la pila de composta inicio con 33 °C y el valor máximo alcanzado fue de 49 °C, y se obtuvo en el día 23 del proceso de compostaje. La humedad inicio en un 72%, en el día 37 se muestra un incremento en el % de humedad de 42% a un 50% esto debido a que se realizó un riego, con el fin de mantener el proceso en valores que favorecen el crecimiento microbiano 40-70 %, que han sido definidos como humedad optima del proceso de compostaje (Korner, 2003).

Acorde a las especificaciones de la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018 que establece rangos de temperatura de entre 40°C y 65°C, el proceso de compostaje en ningún momento rebaso el 70 % de humedad, ni excedió los 65°C esto garantiza que

Dirección General de Bibliotecas UAQ

se conservan las propiedades de la composta favorables al crecimiento vegetal como lo ejemplifica la Figura 5.2.

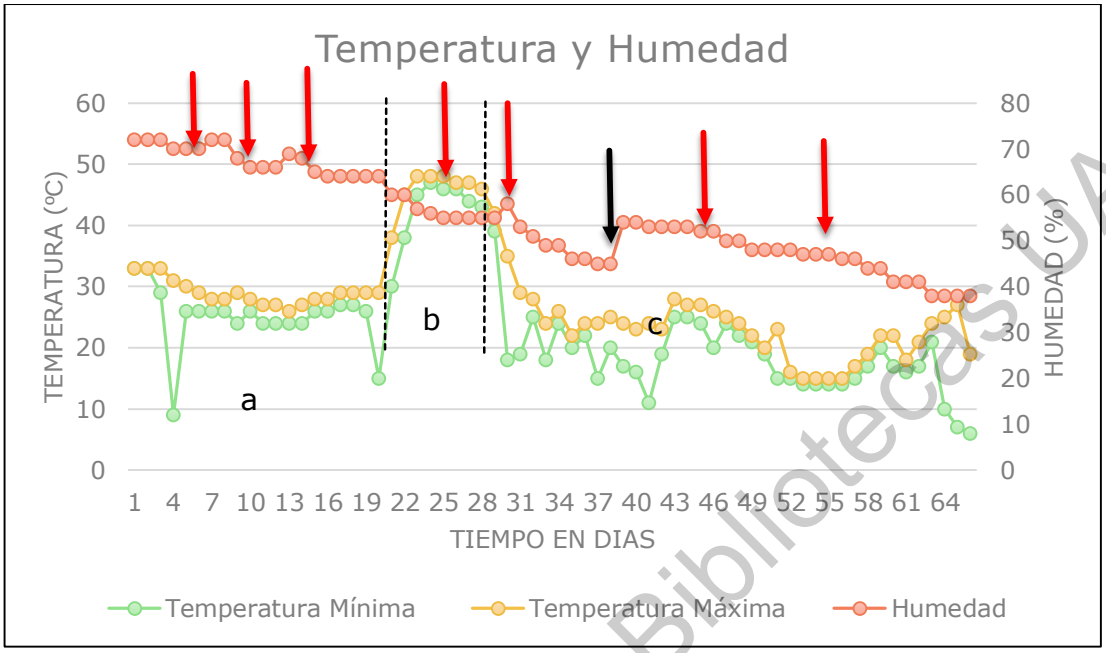

Figura 5.2. Variación de humedad y temperatura en la composta de desechos de silo y estiércol vacuno. La letra a indica la fase mesofica, b fase termofilica, c fase de enfriamiento y maduración. Las flechas en color rojo indican los volteos de la pila de compostaje y la flecha en color negro es el día en que se dio un riego para aumentar la humedad.

Durante los días 20 a 30 se muestra una mayor reducción de la humedad, esto lo podemos relacionar con una mayor tasa de degradación, lo que genera un aumento en la temperatura que lleva a la evaporación.

La reducción de la humedad inició desde el día 1, los picos señalados con las flechas rojas se deben a los volteos realizados; el día 38 fue el momento en el que se requirió hidratar la pila con el propósito de mantener la humedad adecuada para la actividad biológica y para mantener el contenido de humedad en los rangos recomendados para el proceso mayor a 40 % (Díaz *et al*., 2007).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

La fase mesofílica se mantuvo desde el día 1 hasta el día 23, donde inicio la fase termofílica con 49 °C, lo que permite alcanzar mejores condiciones de higiene, acorde con lo indicado por Krogmann *et al*., (2010).

En la fase de enfriamiento la temperatura empezó a descender lentamente (Chiumenti *et al*., 2005, Guo *et al*., 2012); a esta fase se logró llegar en 15 días. La fase de maduración tuvo una duración de 21 días, para lograr una temperatura de 19 °C.

Del proceso de compostaje donde la mezcla de entrada fue de un peso total de 700 kg, transcurridos 65 días se obtuvieron 350 kg de composta con un 35% de humedad.

5.2 Nutrientes presentes en la composta

Las propiedades químicas y físicas de la composta fueron determinadas luego de finalizar el proceso de maduración y se muestran en el Cuadro 5.3. El pH final obtenido en el compost muestra una tendencia a la alcalinización. El pH entre 7,5 y 8,5 es considerados como indicador de que hubo una adecuada aireación en el proceso de compostaje (Haug, 1993 en López *et al*., 2017). El pH final obtenido de 8.85, un resultado similar reportó López (*et al*., 2017) en una composta a base de residuos de caña de azúcar con 8.2; este mismo resultado lo reporta Camacho (2018) pero con una composta de restos vegetales, estiércol, ceniza y fermento de maíz como activador microbiano. La disminución del pH pudo deberse a la producción de ácidos orgánicos o a la emisión de NH_3 (Sharma & Garg, 2018).

La concentración de N, obtenido en la composta fue de 0.85% y se encuentra dentro del rango reportado por Martínez (2013) y Berrio (2015), quienes dicen que la concentración de N puede estar entre 0,3% - 1,5%. En el caso del P, la concentración obtenida fue 0.45%. Los valores registrados se encuentran dentro del rango reportado por Berrio (2015), de 0.1-1.0 %. En el potasio los resultados obtenidos son superiores a los reportados por el mismo autor, de 0.3 a 1%.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Se observa que la composta tuvo una relación C/N final menor a 20, indicando, según la literatura, que hubo un buen grado de mineralización, estabilidad y madurez y disminuyó la disponibilidad del nitrógeno orgánico. Las relaciones C/N por debajo de 20 tienen mayores tasas de mineralización en el suelo; cuando los valores son mayores existe mayor inmovilización del nitrógeno en el suelo, las plantas compiten con los microorganismos por el N porque el aporte de N se encuentra menos disponible debido a que hay mayor cantidad de carbono que de N (Castellanos, 2000).

Los resultados alcanzados del análisis de laboratorio se muestran en el Cuadro 5.3, de acuerdo a las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018. En el Cuadro 5.2, la composta es de tipo I si consideramos la relación C/N de 19.2 y la CE de 2.60 dS m^{-1} y del tipo III de acuerdo al % de MO y en relación a los macronutrientes la suma de N, P y K es de 2.49% y es menor al 7% por lo que el compost se clasificaría como composta-mejorador de suelo orgánico.

Cuadro 5.2. Especificaciones por tipo de composta determinada por la Norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018.

Parámetro	Tipos de composta		
	I	II	III
pH	6.7 – 8.5		
Humedad %			
CE (dS m^{-1})	0.5 ≤ 4	4 ≤ 8	8 ≤ 12
Materia Orgánica (% MS)	≥ 50	30 - 50	20 – 30
Nitrógeno total (%)	3	2	1
Relación C/N	15-<20	20 ≤ 25	
Macronutrientes (N, P, K %)	De 1 % a 3 % en cualquiera de ellos y su suma ≤ 7 %: debe portar la leyenda “Composta - mejorado de suelo orgánico”. Si cualquiera excede 3 % o la suma es mayor a 7 % debe portar la leyenda “Fertilizante orgánico”.		

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 5.3. Resultados del análisis de la composta.

Determinación	Unidades	Resultados
pH		8.85
Cond. Eléctrica	dS m^{-1}	2.60
Nitrógeno total	%	0.85
Fósforo (P)	%	0.45
Potasio(K)	%	1.19
Calcio(Ca)	%	2.08
Magnesio(Mg)	%	0.67
Sodio(Na)	%	0.07
Azufre(S)	%	0.14
Hierro(Fe)	ppm	10402
Cobre(Cu)	ppm	32.94
Manganeso(Mn)	ppm	225
Zinc(Zn)	ppm	132
Boro(B)	ppm	8.11
Humedad	%	9.15
Materia Orgánica	%	28.1
Cenizas	%	71.9
Carbono Orgánico	%	16.3
Relación C/N		19.2
Ácidos Totales	% en 100g de material seco	6.29
Ácidos Húmicos	% en 100g de material seco	2.84
Ácidos Fúlvicos	% en 100g de material seco	3.45

5.3 Nutrientes presentes en el suelo.

Para interpretar los atributos físico-químicos evaluados se usó la información de la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT, 2000), Cuadro 5.5, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

Las propiedades físicas y químicas del suelo donde se estableció el experimento se muestran en el Cuadro 5.4.

Acorde a los resultados obtenidos, el suelo agrícola donde se estableció el experimento es de tipo fuertemente alcalino con un pH de 8.65, el maíz se desarrolla bien

Dirección General de Bibliotecas UAQ

en suelos con pH entre 5.5 y 7.8. Por debajo o por arriba de estos límites podría aumentar o disminuir la disponibilidad de algunos nutrientes y producir toxicidad o carencia (Deras, 2012). En este caso el pH fue superior por un contenido de MO alto (3.52%), lo que podría deberse a los aportes de material orgánico al suelo en ciclos anteriores (vermicompost y composta).

La concentración de P_{ext} fue muy alta (57 ppm $P_{ext.}$ Olsen), el potasio fue alto, siendo de 1465 ppm. Con un alta capacidad de retención de agua y nutrientes y libre de sales, también presento una deficiencia de fierro y manganeso.

Cuadro 5.4. Resultados del análisis físico-químico del suelo.

Determinación	Unidad	Resultado
Textura	Arcilloso	Arcilloso
Saturación	%	60
Capacidad de Campo	%	32.1
MO	%	3.82
P-Olsen	ppm	57.0
K	ppm	1465
Ca	ppm	4929
Mg	ppm	422
Na *	ppm	283
Fe	ppm	3.14
Zn	ppm	2.47
Mn	ppm	2.53
Cu	ppm	0.93
B	ppm	2.76
S	ppm	15.7
$N\text{-}NO_3$	ppm	9.46

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 5.5. Valores de referencia para determinar la fertilidad de un suelo por la Norma NOM-021-RECNAT-2000.

Elemento	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Materia orgánica %	<0.5	0.6-1.5	1.6-3.5	3.6-6	>6
Nitrógeno inorgánico mg/kg	0.10	10-20	20-40	40-60	>60
Fosforo (Olsen)		<5.5	5.5-11	>11	
Calcio (Cmol/kg)	<2	2.5	5-10	>10	
Mg	<0.5	1.5-1.3	1.3-3.0	>3.0	
K	<0.2	0.0-0.3	0.3-06	>0.6	

5.4. Germinación en caja Petri.

En la Figura 5.3 se observa que los mejores tratamientos al día 5 para la variable germinación fueron el T5 (*Azospirillum* sp), obteniendo un 96.7% de germinación; seguido de los tratamientos 7, 9, 8 y 3 (*Azospirillum* sp + endomicorriza + composta, composta + endomicorrizas, composta + *Azospirillum* sp y *Azospirillum* sp + endomicorrizas); los cuales presentaron un 90% de germinación, comparados con los peores tratamientos, los cuales fueron el T1 (control), que presento un 83.3% de germinación; el T4 (Endomicorrizas); el T6 (Endomicorrizas +*Azospirillum* sp), obteniendo valores de 80% de germinación.

El porcentaje de germinación de las semillas inoculadas alcanzó su valor máximo en el día 5 y mantuvo este valor al día 10. El porcentaje de germinación máximo de las semillas inoculadas con endomicorrizas y la combinación de endomicorrizas con *Azospirillum sp.* fue menor con un 80.0%.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Al realizar la comparación de medias, mediante la prueba de Tukey al 0.05 %, Cuadro 5.6, los valores finales de porcentaje de germinación no fueron significativamente diferentes para los tratamientos, lo que sugiere que el efecto en el % de germinación puede no depender de las bacterias; sin embargo, en la aceleración, el T5 (*Azospirillum* sp), al día 2, ya contaba con un 73.3 %, al igual que el T9 (endomicorrizas + *Azospirillum* sp + composta) y el T7 (Composta+HMA+*Azospirillum sp)*.

El resultado coincide con Cassán & Diaz-Zorita, (2016), quienes también encontraron un mayor porcentaje de germinación en semillas de maíz inoculadas con *Azospirillum* Az39, que al día 4 ya había alcanzado un 98% de germinación, mientras que el control alcanzó el 96% y la combinación de *Azospirillum* con *Bradyrhizobium japonicum* E109 llegó al 98.5%. Estos mismos resultados fueron registrador por Noumavo *et al*. (2013) con un 98.33% de germinación al día 7.

Ogata-Gutiérrez (*et al*. 2016) reporta que en las últimas décadas, la investigación en microbiología agrícola ha destacado la eficacia de las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) para inducir la emergencia de plántulas, promoviendo tanto el aumento en la altura de la planta, así como el peso y el rendimiento total de los cultivos.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

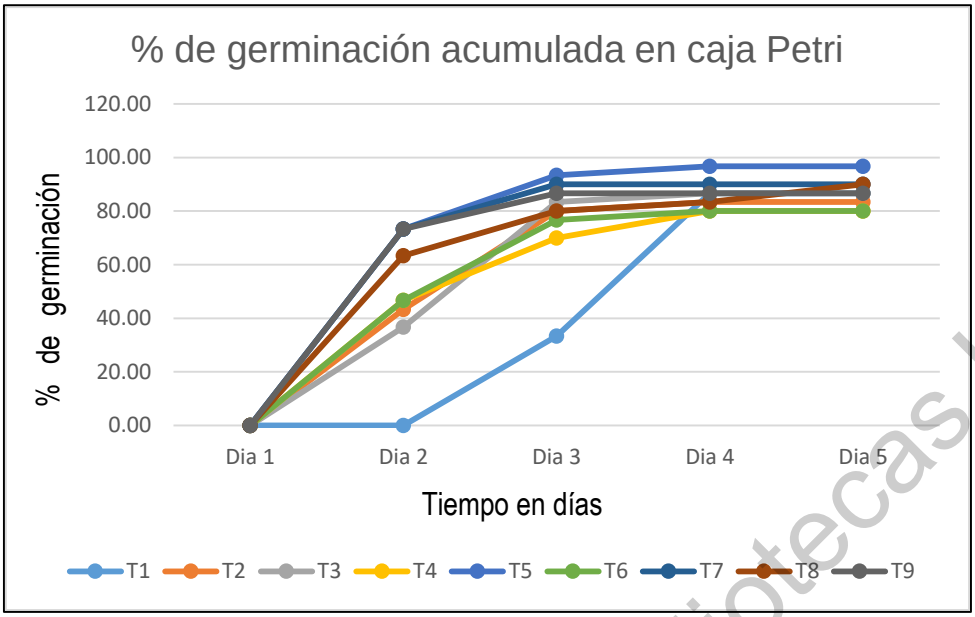

Figura 5.3 Germinación acumulada en las pruebas de caja Petri. T1: Control; T2: Control sábila como adherente; T3: Composta; T4: HMA; T5: *Azospirillum*; T6: HMA+Azo*spirillum*; T7: Composta+HMA+*Azospirillum*; T8: Composta+*Azospirillum*; T9: Composta+HMA.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 5.6 Efecto de la peletización de la semilla con composta, HMA, *Azospirillum*, por separado y en conjunto sobre la germinación en caja Petri.

	Porcentaje de germinación			
Tratamientos	**Día 2**	**Día 3**	**Día 4**	**Día 5**
T1	0.00 A B	33.33 B	86.67 A	86.67 A
T2	43.33 A B	80.00 A	83.33 A	83.33 A
T3	36.67 A B	83.33 A	86.67 A	86.67 A
T4	46.67 A	70.00 A	80.00 A	80.00 A
T5	73.33 A	93.33 A	96.67 A	96.67 A
T6	46.67 A	76.67 A	80.00 A	80.00 A
T7	73.33 A	90.00 A	90.00 A	90.00 A
T8	63.33 A	80.00 A	83.33 A	90.00 A
T9	73.33 A	86.67 A	86.67 A	86.67 A

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1-C: (Control); T2: Control sábila como adherente; T3: Composta; T4: HMA; T5: *Azospirillum*; T6: HMA+Azo*spirillum*; T7: Composta+HMA+*Azospirillum*; T8: Composta+*Azospirillum*; T9: Composta+HMA.

Se han demostrado los efectos estimulantes de la biofertilización en la germinación, crecimiento y producción de frutos del pimiento y otras solanáceas (Marquina *et al*., 2018).

5.5. Prueba de emergencia.

5.5.1 Longitud de la raíz.

Existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T7, T2, T3 y T1; el T7 con una longitud de raíz de 12.38 cm y el T1 con de 8.41; como puede apreciarse existe entre ellos una diferencia de 3.97 cm, Cuadro 5.7. Los resultados difieren para Cassán (*et al* 2009); él reporta una longitud de raíz de 26 cm con una inoculación con *Azospirillum* cepa AZ39.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Pérez (*et al*., 2015) menciona que las interacciones sinérgicas microbianas repercuten en un aumento en el crecimiento de las plantas, esto se da por los mecanismos de promoción de crecimiento, como es la producción de sustancias reguladoras de crecimiento, fijación de nitrógeno y solubilización de fósforo. Esa sinergia pudo haber tenido lugar en el tratamiento T7, los hongos micorrizicos actúan como transportadoras de fosforo y *Azospirillum sp* como promotor de crecimiento y fijador de nitrógeno.

Para este caso en específico todos los tratamientos tuvieron un efecto positivo sobre el control

Cuadro 5.7 Efecto de la aplicación de composta y biofertilización en la longitud de la raíz de maíz 15 dds en charola de germinación.

Tratamientos	Media (cm)	Agrupación		
T7	12.383	A		
T5	11.887	A	B	
T8	11.867	A	B	
T9	11.817	A	B	
T6	11.197	A	B	C
T4	10.573	A	B	C
T2	9.417		B	C
T3	8.617			C
T1	8.410			C
Desviación estándar	3.73			
Coeficiente de variación %	34.96			
Error estándar	0.63			
Valor F	5.60			
Valor P	0.000			

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1: Control; T2: Control sábila como adherente; T3: Composta; T4: HMA; T5: *Azospirillum*; T6: HMA+Azos*pirillum*; T7: Composta+HMA+*Azospirillum*; T8: Composta+*Azospirillum*; T9: Composta+HMA.

5.5.2. Altura de la planta.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

El análisis de varianza mostró diferencias entre los tratamientos para esta variable. Según la prueba de Tukey el tratamiento T2 (Control con sábila como adherente) obtuvo el valor medio superior más alto (27.13 cm) y es estadísticamente diferente al T7 (composta + endomicorrizas + *Azospirillum* sp) con 22.88 cm (Cuadro 5.8).

Cassán (*et al*., 2009) reportó una altura de la planta de maíz, al día 14, de 31 cm inoculada con *Azospiilum* brasilense cepa AZ39; este resultado es superior a la altura obtenida en el T5 (*Azospirillum* sp) de 26.66 cm, al día 15. Y Noumavo (*et al*., 2013) al día 7 registro una altura de planta de 10.79 cm.

Cassán (*et al*., 2014) señala que *Azospirillum* sp es el mejor modelo como promoción del crecimiento de las plantas inducido por la actividad microbiana en la rizósfera, para lo cual se ha descrito que la producción de auxina es el principal factor responsable.

Cuadro 5.8. Efecto de la aplicación de composta y biofertilizantes en la altura de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.

Tratamientos	Media (cm)	Agrupación
T2	27.13	A
T5	26.66	A B
T1	25.66	A B
T3	25.58	A B
T8	25.57	A B
T9	24.28	A B
T4	24.10	A B
T6	23.85	A B
T7	22.88	B
Desviación estándar	4.873	
Coeficiente de variación %	19.433	
Error estándar	0.869	
Valor F	2.56	
Valor P	0.010	

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1: Control; T2: Control sábila como adherente; T3: Composta; T4: HMA; T5: *Azospirillum*; T6: HMA+Azo*spirillum*; T7: Composta+HMA+*Azospirillum*; T8: Composta+*Azospirillum*; T9: Composta+HMA.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

El tratamiento 2 correspondiente al control con sábila como adherente el que haya mostrado una mayor altura pudo deberse a la posible presencia de actividad auxinica del gel de sábila, esta misma actividad fue reportada por González & Hechevarría, (2004)

5.5.3. Peso fresco de la raíz.

Puesto que el valor P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los T4, T5 (endomicorrizas y *Azospirillum*, respectivamente) que registraron un valor promedio más alto (1122.0 y 1105 mg, respectivamente) con respecto al control que tuvo un valor de 724.1 mg, Cuadro 5.9.

Cuadro 5.9 Análisis de varianza del efecto de la aplicación de composta y biofertilización sobre el peso fresco de la raíz de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.

Tratamientos	Media (mg)	Agrupación	
T4	1122.0	A	
T5	1105.0	A	
T7	1002.7	A	B
T9	940.7	A	B
T6	940.3	A	B
T3	875.6	A	B
T8	869.5	A	B
T2	770.6	A	B
T1	724.1		B
Desviación estándar	476.0		
Coeficiente de variación %	51.3		
Error estándar	84.9		
Valor F	2.55		
Valor P	0.0109		

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1-C: (Control); T2: Control sábila como adherente; T3: Composta; T4: HMA; T5: *Azospirillum*; T6: HMA+Azos*pirillum*; T7: Composta+HMA+*Azospirillum*; T8: Composta+*Azospirillum*; T9: Composta+HMA.

5.5.4. Peso fresco de la parte aérea

Dirección General de Bibliotecas UAQ

El mejor tratamiento para esta variable fue T5 (*Azospirillum sp, Activamic*®) (1381.0 mg), mientras que T1 (Control) mostró el valor más bajo como se muestra en el Cuadro 5.10 (1063.2 mg). Según la prueba de Tukey el tratamiento T5 presenta diferencias significativas respecto al tratamiento control.

Cuadro 5.2 Efecto de la aplicación de composta y biofertilización sobre el peso fresco de la parte aérea de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.

Tratamientos	Media (mg)	Agrupación	
T5	1381.0	A	
T3	1268.0	A	B
T4	1248.5	A	B
T8	1248.3	A	B
T9	1204.7	A	B
T6	1198.5	A	B
T7	1183.5	A	B
T2	1179.3	A	B
T1	1063.2		B
Desviación estándar	384.817		
Coeficiente de variación %	31.527		
Error estándar	69.764		
Valor F	1.48		
Valor P	0.164		

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1: Control; T2: Control sábila como adherente; T3: Composta; T4: HMA; T5: *Azospirillum*; T6: HMA+Azo*spirillum*; T7: Composta+HMA+*Azospirillum*; T8: Composta+*Azospirillum*; T9: Composta+HMA.

Curá (*et al.,* 2017) obtuvo 400 mg de biomasa aérea a los 20 dds, el resultado es inferior a los 1381.0 mg encontrados en el T5.

5.5.5 Peso seco de la raíz.

El mejor tratamiento para esta variable fue T4 (Endomicorrizas) (302.9 mg), mientras que T8 (Composta+*Azospirillum*) mostró el valor más bajo con un valor

Dirección General de Bibliotecas UAQ

promedio de 201.3 mg. Según la prueba de Tukey el tratamiento T4 presenta diferencias significativas respecto al tratamiento ocho y siete (p =0.001), Cuadro 5.11.

La diferencia entre T4 y T6 es de 64.45; entre T4 y T7 es de 72.45; entre T4 y T8 es de 101.6.

Cuadro 5.11 Efecto de la aplicación de composta y biofertilización sobre el peso seco de la raíz de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.

Tratamientos	**Media (mg)**	**Agrupación**		
T4	302.9	A		
T9	269.3	A	B	
T2	267.4	A	B	C
T1	258.7	A	B	C
T5	257.4	A	B	C
T3	254.2	A	B	C
T6	238.4	A	B	C
T7	230.4		B	C
T8	201.3			C
Desviación estándar	86.32			
Coeficiente de variación %	32.64			
Error estándar	14.35			
Valor de F	3.32			
Valor de P	0.001			

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1: Control; T2: Control sábila como adherente; T3: Composta; T4: HMA; T5: *Azospirillum*; T6: HMA+Azo*spirillum*; T7: Composta+HMA+*Azospirillum*; T8: Composta+*Azospirillum*; T9: Composta+HMA.

5.5.6. Peso seco de la parte aérea.

Hay diferencia significativa entre el T5 (*Azospirillum* sp) y T7 (Composta+ *Azospirillum* sp + HMA) con una diferencia de 42.21 mg (Cuadro 5.12).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 5.32 Efecto de la aplicación de composta y biofertilización sobre el peso seco de la parte aérea de la planta de maíz 15 dds en charola de germinación.

Tratamientos	Media (mg)	Agrupación
T5	155.327	A
T2	166.763	A B
T9	171.727	A B
T4	174.306	A B
T3	180.173	A B
T8	182.323	A B
T6	191.740	A B
T1	193.413	A B
T7	197.539	B
Desviación estándar	51.50	
Coeficiente de variación %	28.73	
Error estándar	9.23	
Valor F	2.21	
Valor P	0.270	

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1: Control; T2: Control sábila como adherente; T3: Composta; T4: HMA; T5: *Azospirillum*; T6: HMA+Azo*spirillum*; T7: Composta+HMA+*Azospirillum*; T8: Composta+*Azospirillum*; T9: Composta+HMA

Los resultados reportados por Curá (*et al*., 2017), de 58.81 mg a los 20 dds, son inferiores a los reportados en este estudio de 197.53 mg en el T5 (*Azospirillum* sp) al igual que los de Cassán (*et al*., 2009) que obtuvieron un peso seco de 160 gr a los 14 días.

5.6. Mediciones de campo, desarrollo de cultivo.

5.6.1 Altura de la planta.

En base a los resultados del análisis de varianza, la altura de la planta se vio afectada por el uso de composta e inoculación de la planta con hongos micorrízicos, sus efectos de interacción fueron significativos al 5% (Cuadro 5.13). Los resultados de los efectos principales mostraron que con el uso de 1.0 kg de composta m^2, la altura de la planta aumentó, de modo que la altura más alta de la planta, con un promedio de 224.28

Dirección General de Bibliotecas UAQ

cm, se relacionó con el nivel de composta y la inoculación de micorrizas, y el más bajo, con un efecto negativo sobre el control, con una altura promedio de 176.06 cm pertenecía al T8 con composta 1.0 kg/m^2, hongos micorrizicos y *Azospirillum*. El control registro una altura de 178.33 cm.

Resultados de 2.38 m fueron encontrados por Olague (*et al*., 2006) y Del Pino (*et al*., 2008) con maíz blanco a una dosis de 3000 kg ha^{-1} de biocompost. Fortis-hernández (*et al*., 2009) reporto una altura 186 cm con el híbrido de maíz amarillo HT90-19HR y con aplicación de 30 toneladas de composta. Berta (*et al*., 2014) consignó una altura de 220.9 cm con hongos micorrizicos, ligeramente debajo de la altura del T2 con una altura de 224.28 cm. Aguegue *et al*., (2017) registró una altura de la planta de 169 cm con la variedad de semilla EVDT 97 STR C1 e inoculada con *Glomus cubens* y una fertilizacion quimica de 50% NPK. Este resultado es menor al T1, T3 y T2, donde las plantas fueron inoculadas con endomicorrizas. Marks (*et al*., 2015) obtuvo una altura de la planta de 2.60 m al inocular las semillas de maiz con *Azospirillum* brasilense; este resultado es superior al T2 (1.0 kg de composta por m^2 y la planta inoculada con endomicorrizas TM-53®).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 5.43 Efecto de la incorporación de tres dosis de composta al suelo y aplicación de biofertilizantes sobre la altura de la planta de maíz.

Tratamientos	Media (cm)	Agrupación			
T2	224.28	A			
T6	216.61	A	B		
T12	215.44	A	B	C	
T9	211.80	A	B	C	D
T5	210.78	A	B	C	D
T11	199.17	A	B	C	D
T7	198.83	A	B	C	D
T3	196.11	A	B	C	D
T10	187.22	A	B	C	D
T1	184.72		B	C	D
T13	178.33			C	D
T4	177.39				D
T8	176.06				D
Valor F	4.346				
Valor P	0.000				

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1:HMA + composta 0.5 kg/m^2; T2: HMA + composta 1.0 kg/m^2; T3: HMA + composta 1.5 kg/m^2; T4: *Azospirillum* sp + composta 0.5 kg/m^2; T5: *Azospirillum* + composta 1.0 kg/m^2; T6: *Azospirillum* + composta 1.5 kg/m^2; T7: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 0.5 kg/m^2; T8: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.0 kg/m^2 T9: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.5 kg/m^2; T10: Composta 0.5 kg/m^2 ; T11: Composta 1.0 kg/m^2 ; T12: Composta 1.5 kg/m^2; T13: Control

5.6.2. Diámetro de la planta.

Los resultados del análisis de varianza mostraron que el diámetro del tallo se vio afectado por la aplicación de composta y fue estadísticamente significativo ($p<0.05$). De modo que el diámetro del tallo más alto, con un promedio de 20.78 mm, pertenecía a la aplicación de compost 1.5 kg m^2 y el diámetro del tallo más bajo, con un promedio de 15.75 mm, correspondía al tratamiento donde no se utilizó composta ni biofertilizantes (Cuadro 5.14).

Berta (*et al*., 2014) menciona que el diámetro que obtuvieron de 29.9 mm en plantas inoculadas con micorrizas es superior a todos los diámetros reportados en este estudio.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Naserzadeh *et al* (2019) obtuvo un diámetro de 24.87 mm en un cultivo de maíz para forraje donde involucraba el uso de *Azospirillum*, que es superior a los dimetros reportados en este experimento.

Cuadro 5.5 Efecto de la incorporación de composta al suelo y aplicación de biofertilizantes sobre el diámetro de la planta de maíz.

Tratamientos	Media (mm)	Agrupación	
T9	20.64	A	
T5	19.78	A	B
T3	19.39	A	B
T10	19.01	A	B
T11	18.71	A	B
T6	18.43	A	B
T12	18.36	A	B
T2	17.95	A	B
T7	17.40	A	B
T1	17.15	A	B
T4	16.74	A	B
T8	16.47	A	B
T13	15.75		B
Desviación estándar	4.331		
Coeficiente de variación %	23.877		
Error estándar	0.995		
Valor F	2.08		
Valor P	0.0258		

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1:HMA + composta 0.5 kg/m^2; T2: HMA + composta 1.0 kg/m^2; T3: HMA + composta 1.5 kg/m^2; T4: *Azospirillum* sp + composta 0.5 kg/m^2; T5: *Azospirillum* + composta 1.0 kg/m^2; T6: *Azospirillum* + composta 1.5 kg/m^2; T7: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 0.5 kg/m^2; T8: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.0 kg/m^2 T9: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.5 kg/m^2; T10: Composta 0.5 kg/m^2 ; T11: Composta 1.0 kg/m^2 ; T12: Composta 1.5 kg/m^2; T13: Control.

5.6.3. Rendimiento de forraje.

Al aplicar la prueba de comparación de medias entre los tratamientos, (Cuadro 5.15), encontramos que el tratamiento T9 (*Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.5 kg/m^2) tuvo un rendimiento de 69.58 t ha^{-1} y es superior al reportado por Fortis-Hernández *et al*.,

Dirección General de Bibliotecas UAQ

(2009) que reporta rendimiento de 56 t ha^{-1}, con aplicación de 30 toneladas de estiércol composteado.

Los resultados del análisis de la varianza mostraron que el uso de composta afectó positivamente el rendimiento del forraje fresco; con base a los resultados de la comparación de medias. El mayor rendimiento de forraje (69.58 t) perteneció a la aplicación de composta 1.5 kg m^{-2}, hongos micorrizicos y *azospirillum sp*. y el mínimo rendimiento, con una media de 32.90 t ha^{-1} con efectos negativos sobre respecto al control, se relacionó con la combinación de composta 1.0 kg m^{-2} e inoculación de la planta con *Azospirillum* sp y hongos micorrizicos. En el tratamiento 8 las cualidades de los biofertilizantes se vieron inhibidas que influyo en el bajo rendimiento de la planta. El control tuvo un rendimiento de 36.08 t ha^{-1}.

Trejo-Escareño (*et al*. 2009) al hacer una aplicaron de 120 toneladas de estiércol, 101 t de forraje verde y 20 toneladas de forraje seco, obtuvo un rendimiento en maíz forrajero de 71.279 t; este resultado es superior a los rendimientos del presente estudio.

Rezapour (*et al*., 2013) comenta que el tamaño de la semilla tiene un papel especial en la producción de los cultivos, pues es una de las características más importantes que pueden afectar su desarrollo. Un tamaño de semilla más grande indica una mayor capacidad de sintetizar las proteínas, que probablemente se atribuye a una mayor cantidad de sustrato, energía (ATP) y enzimas activas (Akinyosoye *et al*., 2014).

Naserzadeh (*et al*., 2019) reportó un rendimiento de 64.95 toneladas en un cultivo inoculado con *Azospirillum*; el resultado es superior al T5 que involucra inoculación con *Azospirillum* y 1.0 kg de composta m^{-2}.

Cient (2006) menciona que la etapa de corte para ensilaje en México se realiza cuando el grano está en estado lechoso-masoso o masoso, por eso los ensilajes presentan baja proporción de elote y menor rendimiento y calidad del forraje.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Con la aplicación de composta, el uso de fertilizantes químicos disminuyó en un 95-90%, sin reducir los rendimientos, lo que podría ser un paso efectivo hacia una agricultura sostenible.

Cuadro 5.65 Efecto de la incorporación de composta al suelo y aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento de forraje verde.

Tratamientos	Media (gr)	Agrupación	Rendimiento en t ha^{-1}
T9	835.0	A	69.58
T12	718.0	A B	59.83
T5	706.0	A B	58.83
T11	690.0	A B	57.49
T3	672.4	A B	56.03
T10	628.3	A B	52.35
T2	616.9	A B	51.40
T6	597.2	A B	49.76
T1	579.0	A B	48.24
T4	570.6	A B	47.54
T7	545.2	A B	45.43
T13	433.0	A B	36.08
T8	394.8	B	32.89
Desviación estándar	395.29		
Coeficiente de variación	64.346		
Error estándar	91.651		
Valor F	1.65		
Valor P	0.080		

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1:HMA + composta 0.5 kg/m^2; T2: HMA + composta 1.0 kg/m^2; T3: HMA + composta 1.5 kg/m^2; T4: *Azospirillum* sp + composta 0.5 kg/m^2; T5: *Azospirillum* + composta 1.0 kg/m^2; T6: *Azospirillum* + composta 1.5 kg/m^2; T7: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 0.5 kg/m^2; T8: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.0 kg/m^2 T9: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.5 kg/m^2; T10: Composta 0.5 kg/m^2 ; T11: Composta 1.0 kg/m^2 ; T12: Composta 1.5 kg/m^2; T13: Control.

Los tratamientos 12, 5, 11, 3, 10, 2, 6, 1, 4, 7 y 13 estadísticamente son iguales pero diferentes al tratamiento nueve y ocho.

5.6.4. Rendimiento de materia seca (MS)

Para el rendimiento de MS se presentan valores estadísticamente iguales, el T7 (planta inoculada con *Azospirillum*, HMA y el suelo con 1.0 kg/m2) fue el tratamiento que

Dirección General de Bibliotecas UAQ

obtuvo el mayor rendimiento con 383.3 gr/kg de MV y el T12 (el suelo con composta de 1.5 kg m^{-2}) con un rendimiento de materia seca de 326.7 g/kg de MV, Cuadro 5.16.

Ma (*et al*., 2006), recomienda 340 g de MS por kilogramos de MV; para nuestro caso con los tratamientos 9, 13, 3 y 12 estuvimos por debajo del 34%.

Trejo-Escareño *et al*. (2009) encontró un rendimiento en maíz forrajero de 71.279 t de materia verde y 14.254 de materia seca. En rendimiento en materia verde sus resultados son superiores a los de este estudio, pero en materia seca solo supero al T13 (control) y al T8 (*Azospirillum* sp+endomicorrizas y 1.0 kg/m2 de composta al suelo). Cabe mencionar que la fertilización orgánica que ellos aplicaron fue de 120 t de estiércol, 101 t de forraje verde y 20 t de forraje seco.

Díaz, F. (*et al*., 2012), al hacer la inoculación de la semilla con *Glomus intraradice*, obtuvo un rendimiento de 9'620 kg de MS por hectárea, este resultado está por debajo de lo encontrado para nuestro caso de estudio.

Berta *et al*., (2014) reportaron un rendimiento de materia seca de 398.8 gr/kg, para un cultivo de maíz inoculado con hongos micorrizícos, este valor es superior a todos nuestros tratamientos.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cuadro 5.16 Rendimiento en materia seca.

Tratamientos	Media (gr)/100 gr de MV	Agrupación	Rendimiento MV/t	Rendimiento MS/t
T7	38.33	A	45.43	17.41
T11	37.33	A	57.49	21.46
T10	37.33	A	52.35	19.54
T6	36.66	A	49.76	18.24
T4	36.00	A	47.54	17.11
T1	35.67	A	48.24	17.20
T2	35.33	A	51.40	18.15
T8	34.33	A	32.89	11.29
T5	34.00	A	58.83	20.00
T9	33.67	A	69.58	23.42
T13	33.67	A	36.08	12.14
T3	33.33	A	56.03	18.67
T12	32.67	A	59.83	19.54
Valor F	1.29			
Valor P	0.283			

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos según prueba de tukey (α=0.05). T1:HMA + composta 0.5 kg/m^2; T2: HMA + composta 1.0 kg/m^2; T3: HMA + composta 1.5 kg/m^2; T4: *Azospirillum* sp + composta 0.5 kg/m^2; T5: *Azospirillum* + composta 1.0 kg/m^2; T6: *Azospirillum* + composta 1.5 kg/m^2; T7: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 0.5 kg/m^2; T8: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.0 kg/m^2 T9: *Azospirillum* sp + HMA + Composta 1.5 kg/m^2; T10: Composta 0.5 kg/m^2 ; T11: Composta 1.0 kg/m^2 ; T12: Composta 1.5 kg/m^2; T13: Control.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para el caso de la composta para que sea considerada como fertilizante orgánico se requiere aumentar los niveles de nitrógeno para esto se recomienda que entre los materiales de entrada se agreguen residuos de leguminosas. La proporción de desechos de silo y estiércol fresco de vaca resulto efectiva, al final del proceso de compostaje se obtuvo una relación C/N de 19.2 lo que nos indica que fue un buen proceso de descomposición de residuos.

En la prueba de germinación, el uso del biofertilizantes acelero el proceso de con dos días respecto al control.

Los resultados obtenidos de producción de forraje verde con la incorporación de composta (1.5 kg m^{-2}) y la aplicación de biofertilizantes (TM-53® y Activamic®) resulto con efectos positivos sobre el control por lo que la hipótesis resulta ser aceptada. Sin embargo las diferencias entre los tratamientos 12, 5, 11, 3, 10, 2, 6, 1, 4, 7 y 13 no fueron significativas para la variable de rendimiento de materia verde por lo que cualquiera de los tratamientos implementados se podría considerar como una alternativa viable con una productividad igual o ligeramente mayor al manejo convencional con fertilización química (47.0 t ha^{-1} rendimiento promedio nacional, SIAP 2018), considerando la producción de forraje bajo estos sistemas como una alternativa no solo productiva si no sustentable, reduciendo el uso de fertilizantes y por ende el impacto ambiental, lo que además genera un efecto positivo en los costos de producción.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

REFERENCIAS

Aguegue, M., A. Noumavo, P., Dagbenonbakin, G., A. Agbodjato, N., Assogba, S., D. Koda, A., … Baba-Moussa, L. (2017). Arbuscular Mycorrhizal Fertilization Of Corn (Zea mays L.) Cultivated on Ferrous Soil in Southern Benin. *Journal of Agricultural Studies*, *5*(3), 99. https://doi.org/10.5296/jas.v5i3.11881

Akinyosoye, S. T., Adetumbi, J. A., Amusa, O. D., Olowolafe, M. O., & Olasoji, J. O. (2014). Effect of seed size on in vitro seed germination, seedling growth, embryogenic callus induction and plantlet regeneration from embryo of maize (Zea mays L.) seed. *Nigerian Journal of Genetics*, *28*(2), 1–7. https://doi.org/10.1016/J.NIGJG.2015.06.001.

Amanullah, & Khan, A. (2015). Phosphorus and compost management influence maize (Zea mays) productivity under semiarid condition with and without phosphate solubilizing bacteria. *Frontiers in Plant Science*, *6*(DEC), 1–8. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01083

Barbazán, M., del Pino, A., Moltini, C., Hernández, J., & Rodríguez, J. (2011). Characterization of organic materials applied in intensive farming systems in Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, *15*(1), 82–92. Retrieved from http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482011000100010&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Bashan, Y., Holguin, G., & De Bashan, L. (2004). Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997–2003). *Canandian Journal Microbiology*, 577.

Bashan, Yoav, & de-Bashan, L. E. (2010). How the Plant Growth-Promoting Bacterium Azospirillum Promotes Plant Growth—A Critical Assessment. *Advances in Agronomy*, *108*, 77–136. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8

Bazrafshan, E., Zarei, A., Kord, F., Poormollae, N., & Mohmoodi, S. (2016). Maturity and Stability Evaluation of Composted Municipal Solid Waste. *Health Scope*. https://doi.org/10.17795/jhealthscope-33202

Bernal, M. P., Sánchez-Monedero, M. A., Paredes, C., & Roig, A. (1998). Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their

Dirección General de Bibliotecas UAQ

incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *69*(3), 175–189. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00106-6

Berrio, K. (2015). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. Retrieved from http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf

Berta, G., Copetta, A., Gamalero, E., Bona, E., Cesaro, P., Scarafoni, A., & D'Agostino, G. (2014). Maize development and grain quality are differentially affected by mycorrhizal fungi and a growth-promoting pseudomonad in the field. *Mycorrhiza*, *24*(3), 161–170. https://doi.org/10.1007/s00572-013-0523-x

Cabrales H, E. M., Toro, M., & Lopez, D. (2016). Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico, Venezuela. *Temas Agrarios*, *21*(2). https://doi.org/10.21897/rta.v21i2.898

Camacho, E. C. (2018). *Efecto de activadores biológicos locales sobre la microbiota y la calidad del compost en el Centro Experimental de Cota Cota , periodo abril-junio 2018 Effect of local biological activators on the microbiota and the quality of the compost in the Cota Cota*. *4*(2), 1227–1243.

Carballo, T., Gil, M. V., Calvo, L. F., & Morán, A. (2009). The Influence of Aeration System, Temperature and Compost Origin on the Phytotoxicity of Compost Tea. *Compost Science and Utilization*, *17*(2), 127–139. https://doi.org/10.1080/1065657X.2009.10702411

Cassán, F., & Diaz-Zorita, M. (2016). Azospirillum sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. *Soil Biology and Biochemistry*, *103*, 117–130. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2016.08.020

Cassán, F., Perrig, D., Sgroy, V., Masciarelli, O., Penna, C., & Luna, V. (2009). Azospirillum brasilense Az39 and Bradyrhizobium japonicum E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (Zea mays L.) and soybean (Glycine max L.). *European Journal of Soil Biology*, *45*(1), 28–35. https://doi.org/10.1016/J.EJSOBI.2008.08.005

Cassán, F., Vanderleyden, J., & Spaepen, S. (2014). Physiological and Agronomical Aspects of Phytohormone Production by Model Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Belonging to the Genus Azospirillum. *Journal of Plant Growth Regulation*, *33*(2), 440–459. https://doi.org/10.1007/s00344-013-9362-4

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology*, *248*, 57–67. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133

Chan, M. T., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2016). Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment. *Bioresource Technology*, *200*, 838–844. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2015.10.093

Chontal, M. A. H., Collado, C. J. L., Orozco, N. R., Velasco, J. V., Gabriel, A. L., & Romero, G. L. (2019). Nutrient content of fermented fertilizers and its efficacy in combination with hydrogel in Zea mays L. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *8*(3), 309–315. https://doi.org/10.1007/s40093-019-0248-8

Ciampitti, I. (2010). *Nutrición de Maíz: requerimientos y Absorción de nutrientes. Informaciones Agronomicas del Cono Sur*. (December 2015).

Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2011). A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Research*, *121*(1), 2–18. https://doi.org/10.1016/J.FCR.2010.10.009

Cient, N. (2006). Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *29*(Es2), 103–107.

Colque, T., Mujica, A., Apaza, V., Rodríguez, D., Cañahua, A. y J. E. (2005). Producción de biol, abono liquido natural y ecologico. *ILLPA-PUNO*, 16.

Compositions, N., Liquid, O. F., Fractions, S., Organic, O. F., Influence, T. H. E., Growth, O. N., & Okra, Y. O. F. (n.d.). *FERMENTATION AND THE INFLUENCE ON GROWTH AND YIELD OF OKRA*.

CONAFOR-UACh. *Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación.* , (2013).

Curá, J., Franz, D., Filosofía, J., Balestrasse, K., & Burgueño, L. (2017). inoculation with Azospirillum sp. and Herbaspirillum sp. Bacteria increases the tolerance of maize to drought stress. *Microorganisms*, *5*, 41.

Deras, H. (2012). *R e d s i c t a*. Retrieved from http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf

Díaz, F., Salinas, J., Valadez, J., Cortinas, H., Loredo, C., Pecina, V., & Pajariro, A. (2011). Impacto de la biofertilización del maíz en el norte de México. *INIFAP*.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Díaz, L., De Bertoldi, M., & Bidlingmaier, W. (2007). *Compost Science and Technology.* (Elsevier S).

Dijk, H. van, Schukking, S., & Berg, R. van der. (2015). Fifty years of forage supply on dairy farms in the Netherlands. *Grassland and Forages in High Output Dairy Farming Systems. Proceedings of the 18th Symposium of the European Grassland Federation, Wageningen, The Netherlands, 15-17 June 2015*, *20*, 12–20. Retrieved from https://hau.idm.oclc.org/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=lah&AN=20153417741&site=ehost-live&scope=site%0Ahttp://www.cabi.org/cabdirect/showpdf.aspx?PAN=http://www.cabi.org/cabdirect/showpdf.aspx?PAN=20153417741

Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J.-L., & Jouquet, P. (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of The Total Environment*, *514*, 147–154. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.02.005

El-Maghraby, T. & Abdel-Salam, Mohamed & Abdel-Warth, M. (2011). Effect of compost on maize (Zea mays) yield and some clay soil physical properties under deficit irrigation. *Soil Sci. and Agric. Eng*, *2*.

FAO. (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2016: Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*.

FAO. (2019). *Global organic area reaches another all-time high Nearly 70 million hectares of farmland are organic*.

FAO/FAOSTAT. (2019). *Production*. Retrieved from http://www.fao.org/faostat/es/#data

FIRA. (2019). *FIRA-Panorama agroalimentario, Maíz 2019.*

Fischer, D., & Glaser, B. (2012). Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration. *Management of Organic Waste*, (February). https://doi.org/10.5772/31200

Fortis-hernández, M., Leos-rodríguez, J. A., Preciado-rangel, P., Castillo, I. O., García-salazar, J. A., García-hernández, J. L., & Orozco-vidal, J. A. (2009). Maiz Forrajero con rigo por goteo. *Application of Organic Fertilizers in the Production of Forage Corn*

Dirección General de Bibliotecas UAQ

with Drip Irrigation. INIFAP, 329–336.

Fukami, J., De la Osa, C., Ollero, F., Megías, M., & Hungria, M. (2017). Co-inoculation of maize with Azospirillum brasilense and Rhizobium tropici as a strategy to mitigate salinity stress. *Functional Plan Biology*, *45*, 328–339.

Fukami, Josiane, Ollero, F. J., Megías, M., & Hungria, M. (2017). Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with Azospirillum brasilense cells and metabolites promote maize growth. *AMB Express*, *7*(1). https://doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7

Füleky, G., & Benedek, S. (2010). Composting to Recycle Biowaste. In: Lichtfouse E. (eds) Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science. *Springer*, *3*. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3333-8_12

Gaiotti, F., Marcuzzo, P., Belfiore, N., Lovat, L., Fornasier, F., & Tomasi, D. (2017). Influence of compost addition on soil properties, root growth and vine performances of Vitis vinifera cv Cabernet sauvignon. *Scientia Horticulturae*, *225*, 88–95. https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2017.06.052

Gao, M., Liang, F., Yu, A., Li, B., & Yang, L. (2010). Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios. *Chemosphere*, *78*(5), 614–619. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2009.10.056

García, F. O. (2005). Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. *Jornada Maíz 2005*, (June), 21. Retrieved from http://www.fertilizando.com/articulos/Criterios-Manejo-Fertilizacion-Cultivo-Maiz.pdf%0Ahttp://www.fertilizando.com/articulos/criterios-manejo-fertilizacion-cultivo-maiz.pdf

Gonzalez, H. & Hechevarría, I. (2004). Efectos estimulantes del crecimiento de extractos acuosos de plantas medicinales y gel de Aloe vera (L.) N. L. Burm. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 9(2) Recuperado en 17 de enero de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102847962004000200006&lng=es&tlng=es.

Gonzalez, P., Ramirez, F., Rivera, R., Hernandez, A., & Crespo, G. (2016). Effectiveness of inoculation of two forage legumes grown on two soil types with arbuscular

Dirección General de Bibliotecas UAQ

mycorrhizal fungi. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, *4*(2), 82–90. https://doi.org/10.17138/TGFT(4)82-90

Gupta, G., Parihar, S., Ahirwar, N., Snehi, S., & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future propsects for development of sustainable agriculture. *Microbial Biochem Technol*, *7*, 96–102.

Hargreaves, J., Adl, M., & Warman, P. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agri Ecosyst Environ*, *123*, 1–14.

Hoitink, H. A. J., & Changa, C. M. (2004). Production and utilization guidelines for disease suppressive composts. In *Acta Horticulturae* (Vol. 635). https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.635.11

Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T., & Nagar, B. B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, *24*(8), 805–813. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2004.03.011

Hungria, M., Campo, R. J., Souza, E. M., & Pedrosa, F. O. (2010). Inoculation with selected strains of Azospirillum brasilense and A. lipoferum improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, *331*(1), 413–425. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0.

IFOAM (2014). *Definition of Organic Agriculture.* Retrieved from http://www.ifoam.org/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture.

International Plan Nutrition Institute. (2009). Calculo de los requerimientos nutricionales de los cultivos. *IPNI*.

Instituto Nacional de Estadistica, Geografia e Informacion (INEGI), 2019.

Jiang, J., Liu, X., Huang, Y., & Huang, H. (2015). Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Management*, *39*, 78–85. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2015.02.025

Karlen, D. L., Sadler, E. J., & Camp, C. R. (1987). Dry Matter, Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Accumulation Rates by Corn on Norfolk Loamy Sand1. *Agronomy Journal*, Vol. 79, p. 649. https://doi.org/10.2134/agronj1987.00021962007900040014x

Kausar, H., Ismail, M. R., Saud, H. M., Habib, S. H., Othman, R., & Bhuiyan, M. S. H. (2014). Changes of physical and chemical characteristics during microbial

Dirección General de Bibliotecas UAQ

composting of rice straw at various pH levels. *Compost Science and Utilization*, *22*(3), 153–163. https://doi.org/10.1080/1065657X.2014.918864

Khan, A., & Imran. (2015). Influence of Compost Application and Seed Rates on Production Potential of Late Sown Maize on High Elevation in Swat -Pakistan. *Environment and Earth Science*, *5*.

Krogmann, U., Korner, I., & Díaz, L. (2010). Composting: Technology. In *Solid waste technology & management* (pp. 533–568).

López Bravo, E., Andrade Rivera, A. J., Herrera Suárez, M., Gonzalez Cueto, O., & García de la Figal Costales, A. (2017). Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Centro Agrícola*, *44*(3), 49–55. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000300007&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Luis, J., Peña, D. L., Orgánica, L. A. G., Alternativa, U. N. A., Espinoza-villavicencio, J. L., Palacios-espinosa, A., … Murillo-amador, R. O. B. (2007). La Ganadería Orgánica, Una Alternativa De Desarrollo Pecuario Para Algunas Regiones De México: Una Revisión. *Interciencia*, *32*(6), 385–390.

Ma, B. L., Subedi, K. D., Stewart, D. W., & Dwyer, L. M. (2006). Dry matter accumulation and silage moisture changes after silking in leafy and dual-purpose core hybrids. *Agronomy Journal*, *98*(4), 922–929. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0299

Marks, B. B., Megías, M., Ollero, F. J., Nogueira, M. A., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2015). Maize growth promotion by inoculation with Azospirillum brasilense and metabolites of Rhizobium tropici enriched on lipo-chitooligosaccharides (LCOs). *AMB Express*, *5*(1), 1–11. https://doi.org/10.1186/s13568-015-0154-z

Marques, A. P. G. C., Pires, C., Moreira, H., Rangel, A. O. S. S., & Castro, P. M. L. (2010). Assessment of the plant growth promotion abilities of six bacterial isolates using Zea mays as indicator plant. *Soil Biology and Biochemistry*, *42*(8), 1229–1235. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2010.04.014

Marquina, M. Ramírez, Y. & Castro, Y. (2018). Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimentón Capsicum annuum L. var. Cacique Gigante. *Bioagro*, *30*(1), 3–16. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-

Dirección General de Bibliotecas UAQ

33612018000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Martínez-Fernández, A., Soldado, A., Vicente, F., Martínez, A., & de la Roza-Delgado, B. (2010). Wilting and inoculation of lactobacillus buchneri on intercropped triticale-fava silage: Effects on nutritive, fermentative and aerobic stability characteristics. *Agricultural and Food Science*, *19*(4), 302–312. https://doi.org/10.2137/145960610794197597

Mazid, M., & Khan, T. A. (2014). Future of Bio-fertilizers in Indian agriculture: An Overview. *International Journal of Agricultural and Food Research*, *3*(3), 10–23. https://doi.org/10.24102/ijafr.v3i3.132

Mehnaz, S., & Lazarovits, G. (2006). Inoculation effects of Pseudomonas putida, Gluconacetobacter azotocaptans, and Azospirillum lipoferum on corn plant growth under greenhouse conditions. *Micro Ecol*.

Miretti, María. Pilatti, Miguel, Lavado, Raul S., Lavado. Imhoff, S. (2012). Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Ciencia Del Suelo*, *30*, 67–30.

Misra, R. (2003). *ON-Farm Composting Methods* (F. L. and water development Division, Ed.). Rome.

Mohee, R., Mauthoor, S., Bundhoo, Z. M. A., Somaroo, G., Soobhany, N., & Gunasee, S. (2015). Current status of solid waste management in small island developing states: A review. *Waste Management*, *43*, 539–549. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2015.06.012

Montanarella, L., Pennock, D., & Mckenzie, N. (2016). *Estado mundial del recurso del suelo*.

Mreno, J., & Moral, R. (2008). *COmpostaje* (Mundi Pren).

Nahed, T., Calderón, P., Aguilar, J., Sánchez-Muñoz, B., Ruiz-Rojas, J. L.Mena, Y.Castel, J. M.Ruiz, F. A.Jiménez, F. G.López-Méndez, J.Sánchez-Moreno, G.Salvatierra, I. B. (2009). *Aproximación de los sistemas agrosilvopastoriles de tres microrregiones de Chiapas, México, al modelo de producción orgánica*.

Naserzadeh, Y., Nafchi, A., & Mahmoudi, N. (2019). Effect of combined use of fertilizer and plant growth stimulating bacteria Rhizobium, Azospirillum, Azotobacter and Pseudomonas on the quality and components of corn forage in Iran. *RUDN Journal*

Dirección General de Bibliotecas UAQ

of Agronomy and Animal Industries, *14*, 209–224.

Nations, F. and A. O. of the U. (2017). World fertilizer trends and outlook to 2018. *Food and Agriculture Organization of United Nations*, 38.

Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Larrinaga-Mayoral, J. Á., & García-Hernández, J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del Chile (Capsicum annuum L.) en zonas áridas. *Interciencia*, *27*(8), 417–421.

NOM-021-RECNAT. (2000). Nom-021-Recnat. *Diario Oficial De La Federación*.

Noumavo, P. A., Kochoni, E., Didagbé, Y. O., Adjanohoun, A., Allagbé, M., Sikirou, R., … Baba-Moussa, L. (2013). Effect of Different Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Maize Seed Germination and Seedling Development. *American Journal of Plant Sciences*, *04*(05), 1013–1021. https://doi.org/10.4236/ajps.2013.45125

OCDE/FAO. (2017). *Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO*. https://doi.org/10.1007/BF02915673

Oruru, M. B., & Njeru, E. M. (2016). Upscaling Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis and Related Agroecosystems Services in Smallholder Farming Systems. *BioMed Research International*, *2016*. https://doi.org/10.1155/2016/4376240

Osorio, N. W., & Habte, M. (2009). Foreword. *Microbial Strategies for Crop Improvement*, v–viii. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01979-1

Oviedo Ocana, E. R., Marmolejo Rebellon, L. F., & Torres Lozada, P. (2014). Influence of pile turning frequency for moisture control in municipal biowaste composting. *REVISTA INTERNACIONAL DE CONTAMINACION AMBIENTAL*, *30*(1), 91–100. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Paliwal, R. Granados, G. Lafitte, H.R. Marathée, J.P. Violic, A. D. (2001). El Maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. *Organización de Las Naciones Unidas*.

Pellegrino, E., Bedini, S., Avio, L., Bonari, E., & Giovannetti, M. (2011). Field inoculation effectiveness of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi in a Mediterranean agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(2), 367–376. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2010.11.002

Pérez Moncada, U. A., Ramírez Gómez, M. M., Zapata Narváez, Y. A., & Córdoba

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Sánchez, J. M. (2015). Efecto de la inoculación simple y combinada con Hongos Formadores de Micorriza Arbuscular (HFMA) y Rizobacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (BPCV) en plántulas micropropagadas de mora (Rubus glaucus L.). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *16*(1), 95. https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:383

Raut, M. P., Prince William, S. P. M., Bhattacharyya, J. K., Chakrabarti, T., & Devotta, S. (2008). Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste – A compost maturity analysis perspective. *Bioresource Technology*, *99*(14), 6512–6519. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.11.030

Rezapour, R., Kazemi-Arbat, H., Yarnia, M., & Zafarani-Moattar, P. (2013). Effect of seed size on germination and seed vigor of two soybean (Glycine max L.) cultivars. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, *4*, 3396–3401.

Robačer, M., Canali, S., Kristensen, H. L., Bavec, F., Mlakar, S. G., Jakop, M., & Bavec, M. (2016). Cover crops in organic field vegetable production. *Scientia Horticulturae*, *208*, 104–110. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.029

Ruíz-Sánchez, M., Muñoz-Hernández, Y., Simó-Gonzalez, J., & Cabrera-Rodriguez, J. (2016). Evaluación de diferentes cepas de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de arroz (Oryza sativa L.) en condiciones inundadas del suelo. *Cultivos Tropicales*, *37*(4), 67–75.

Ryckeboer, J., Mergaert, J., Coosemans, J., Deprins, K., & Swings, J. (2003). Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied Microbiology*, *94*(1), 127–137. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01800.x

SADER. (2019). *Perspectivas agroalimentarias 2019*. 53. Retrieved from http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/Brochure Expectativas 2019.pdf

Said-Pullicino, D., Erriquens, F. G., & Gigliotti, G. (2007). Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, *98*(9), 1822–1831. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2006.06.018

Salazar-Sosa, E., C. Vázquez-Vázquez, H. I. T.-E. y O. R.-O. (2003). Aplicación, manejo y descomposición de estiercol de ganado bovino. *UJED, SMCS, A. C. y COCYTED*,

Dirección General de Bibliotecas UAQ

18–36.

Salmerón-Santiago, I. A., Pedraza-Santos, M. E., Mendoza-Oviedo, L. S., & Chávez-Bárcenas, A. T. (2015). Chronology of the taxonomy and cladistics of glomeromycetes. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *38*(2), 153–163.

Sánchez, Ó. J., Ospina, D. A., & Montoya, S. (2017). Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management*, *69*, 136–153. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.08.012

Shahzad, S. M., Arif, M. S., Riaz, M., Ashraf, M., Yasmeen, T., Zaheer, A., … Robroek, B. J. M. (2017). Interaction of compost additives with phosphate solubilizing rhizobacteria improved maize production and soil biochemical properties under dryland agriculture. *Soil and Tillage Research*, *174*, 70–80. https://doi.org/10.1016/J.STILL.2017.06.004

Sharma, K., & Garg, V. K. (2018). Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm Eisenia fetida (Sav.). *Bioresource Technology*, *250*(December 2017), 708–715. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101

SIAP. (2018). Servicio de información agrícola y pesquera,

Smith, S., & Read, D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd Editio; A. Press, Ed.).

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo., E., Trejo-Escareño, H. I., Vázquez-Vázquez, C., López-Martínez, J. D., Fortis-Hernández, M., Zuñiga-Tarango, R., & Amado-Álvarez, J. P. (2009). Terra : organo oficial de divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. In *Terra Latinoamericana* (Vol. 27). Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792009000400012&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Souza, H. A. de, Melo, M. D., Primo, A. A., Vieira, L. V., Pompeu, R. C. F. F., Guedes, F. L., … Natale, W. (2016). Use of Organic Compost Containing Waste from Small Ruminants in Corn Production. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, *40*(0). https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150385

Sutton, R., & Sposito, G. (2005). Molecular structure in soil humic substances: The new view. *Environmental Science and Technology*, *39*(23), 9009–9015. https://doi.org/10.1021/es050778q

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Sylvestre, A., FALCON, R. A., NOVAL, P. B. M. de la, Lamine, B.-M., A, N. P., Gustave, D., … Adolphe, A. (2017). Improvement of Maize Productivity (Zea Mays L.) by Mycorrhizal Inoculation on Ferruginous Soil in Center of Benin. *International Journal of Sustainable Agricultural Research*, *4*(3), 63–76. https://doi.org/10.18488/journal.70.2017.43.63.76

Tiquia, S. M. (2010). Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere*, *79*(5), 506–512. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2010.02.040

Torres Torres, F., & Rojas Martínez, A. (2018). Suelo agrícola en México: Retrospección y prospectiva para la seguridad alimentaria. In *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía* (Vol. 9).

Trends, E. (2014). The World of Organic Agriculture. In *The World of Organic Agriculture*. https://doi.org/10.4324/9781849775991

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco., R., Lázaro-Jerónimo, G., & León-Nájera, J. (1984). Universidad y ciencia. In *Universidad y ciencia* (Vol. 24). Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Wang, K., Yin, X., Mao, H., Chu, C., & Tian, Y. (2018). Changes in structure and function of fungal community in cow manure composting. *Bioresource Technology*, *255*, 123–130. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2018.01.064

Yu, X., Guo, L., Jiang, G., Song, Y., & Muminov, M. A. (2018). Advances of organic products over conventional productions with respect to nutritional quality and food security. *Acta Ecologica Sinica*, *38*(1), 53–60. https://doi.org/10.1016/J.CHNAES.2018.01.009

Zulueta Rodríguez, R., Valerio Landa, S., Murillo Amador, B., Lara, L., Reyes Pérez, J., & Hernández Montiel, L. (2016). Influencia de micorrizas arbusculares en el crecimiento y cambios fisiológicos de la albahaca dulce bajo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3557–3568.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Dirección General de Bibliotecas UAQ