



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
PUEBLA**



**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

*“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”*

**USO SUSTENTABLE DE LA COMPOSTA DE PLUMAS DE AVE Y  
BACTERIAS PGPR PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (ZEA MAYS L.)  
AZUL**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**María Guadalupe Onofre Gallegos**

Directora de tesis:

Dra. Lucía López Reyes



Noviembre 2023

## **Integrantes del comité tutorial**

Dra. Lucía López Reyes

Laboratorio de Microbiología de Suelos  
CICM-ICUAP

M. en C. Moisés G. Carcaño Montiel

Laboratorio de Microbiología de Suelos  
CICM-ICUAP

Dra. Edith Chávez Bravo

Laboratorio de Patogenicidad Microbiana-  
CICM-ICUAP

Dr. J. Santos Hernández Zepeda

Departamento Universitario para el  
Desarrollo Sustentable-ICUAP

Dr. Enrique Hipólito Romero

Centro de EcoAlfabetización y Diálogo de  
Saberes. Universidad Veracruzana

## **Agradecimientos**

A Dios y la vida que me concedieron tantos aprendizajes al realizar este proyecto.

Al apoyo de mi familia, ellos han sido el sostén y la fuerza que siempre me motivo a seguir adelante. A mis amigos que siempre que los necesite pude contar con ellos y a Kevin quien escucho de forma critica mis avances mientras aportó su perspicaz sapiencia como un verdadero compañero de vida.

A la Dra. Lucía López y al M. C. Moisés Carcaño por su paciencia y su apoyo a lo largo de esta investigación, más que profesores han sido verdaderos guías que en ámbito profesional y personal han sido verdaderos maestros.

Al personal del Laboratorio de Microbiología de Suelos, especialmente a la bióloga Leticia, quien, junto con el equipo de la universidad me brindó apoyo, gracias además por su amistad y los momentos que siempre recordaré.

A los miembros de Grupo IDAC que colaboraron en los muestreos, siembra y labores de campo.

A los productores que colaboraron en la realización de los cuestionarios de percepción social, cada palabra y enseñanza permeo en la importancia de la investigación y sensibilizó mi perspectiva al respecto de la actividad agrícola.

Al apoyo CONACHyT, al Recurso VIEP-BUAP, al programa BIOFERTIBUAP y al posgrado en Ciencias Ambientales.

# Contenido

<b>1. Resumen</b>	9
<b>2. Introducción</b>	10
<b>3. Antecedentes</b>	11
3.1 Desarrollo sustentable ante la crisis ambiental	11
3.2 Producción avícola y acumulación de residuos	12
3.3 Impacto ambiental de la agricultura	15
3.4 Producción de maíz azul y su importancia alimentaria y comercial	16
3.5 Insumos biológicos para la producción agrícola	19
3.6 Marco normativo	23
<b>4. Planteamiento del problema</b>	25
4.1 Formulación del problema de investigación	25
4.2 Pregunta de investigación	25
<b>5. Justificación</b>	26
<b>6. Objetivos</b>	27
6.1 Objetivo general	27
6.2 Objetivos específicos	27
<b>7 Hipótesis</b>	27
<b>8 Materiales y métodos</b>	28
8.1 Zona de estudio	28
8.2 Obtención y análisis de semillas	28
8.3 Muestreo y análisis de suelo	29
8.4 Muestreo y análisis de plumas	29
8.5 Elaboración, monitoreo y análisis de composta	30

8.6	Fase de invernadero	31
8.7	Fase de campo	33
8.8	Percepción social	36
<b>9</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>37</b>
9.1	Pruebas de sanidad y germinación en semillas	37
9.2	Degradación de plumas de ave en proceso de compostaje	38
9.3	Análisis físico y químico de suelo y composta de plumas de ave	39
9.4	Análisis microbiológico de composta de pluma de ave	40
9.5	Evaluación de características fenológicas de maíz en invernadero	43
9.6	Evaluación del crecimiento de maíz azul con adición de composta de plumas de ave y PGPR en campo	48
9,7	Percepción social del uso de biotecnologías agrícolas	52
<b>10</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>57</b>
<b>11</b>	<b>Referencias</b>	<b>58</b>
<b>12</b>	<b>Anexos</b>	<b>68</b>
12.1	Glosario	68
12.2	Formato de cuestionario para productores	70
12.3	Resumen de características fenológicas de maíz en invernadero	72
12.4	Resumen de características fenológicas de maíz en campo	76

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1</b>	Material para elaboración de composta: suelo, plumas e inóculo.	30
<b>Cuadro 2</b>	Tratamientos con el uso de maíz azul criollo, con el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato, con la composta de plumas de ave y fertilizante comercial aplicados en invernadero.	32
<b>Cuadro 3</b>	Tratamientos seleccionados para condiciones de campo	35
<b>Cuadro 4</b>	Análisis físico y químico del suelo y composta de plumas de ave utilizado en experimentos de invernadero	39
<b>Cuadro 5</b>	Poblaciones microbianas encontradas durante el proceso de compostaje de plumas de ave	40
<b>Cuadro 6</b>	Pruebas bioquímicas realizadas a géneros bacterianos aislados en muestras de composta	40
<b>Cuadro 7</b>	Identificación de géneros bacterianos con la técnica API20E.	41
<b>Cuadro 8</b>	Efecto de la composta y PGPR en altura y grosor de tallo en plantas de maíz en invernadero.	46
<b>Cuadro 9</b>	Efecto de la composta y PGPR en área foliar y masa seca de raíz y tallo en plantas de maíz en invernadero.	47
<b>Cuadro 10</b>	Efecto en altura de la planta y grosor de tallo con el uso de la composta de plumas de ave y PGPR en cultivo de maíz en campo	50
<b>Cuadro 11</b>	Efecto en área foliar y número de hojas con el uso de la composta de plumas de ave y PGPR en cultivo de maíz en campo	51
<b>Cuadro 12</b>	Efecto en masa seca de tallo y raíz con el uso de la composta de plumas de ave y PGPR en cultivo de maíz en campo	52

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	Zona de estudio a) Ubicación de Chalchicomula en el estado de Puebla, b) Municipio de Chalchicomula de Sesma	28
<b>Figura 2</b>	Diseño experimental de tratamientos en invernadero con la ubicación del tratamiento identificado por el color del Cuadro 2	33
<b>Figura 3</b>	Siembra en experimentos de campo a) Sin adición de composta, b) Con adición de composta	34
<b>Figura 4</b>	Diseño experimental de tratamientos en campo	35
<b>Figura 5</b>	Germinación en semillas criollas de maíz azul utilizadas para experimentos de invernadero y campo	37
<b>Figura 6</b>	Proceso de compostaje a) Mezcla de plumas, suelo e inóculo al primer mes de compostaje b) Composta al cuarto mes de proceso de degradación	38
<b>Figura 7</b>	Identificación de <i>Escherichia coli</i> por prueba API20E	42
<b>Figura 8</b>	Ficha de identificación de <i>Cronobacter</i> sp., <i>Escherichia coli</i> y <i>Proteus</i> sp.	43
<b>Figura 9</b>	Crecimiento de plantas de maíz en condiciones de invernadero	45
<b>Figura 10</b>	Fertilizantes más utilizados en la región	53
<b>Figura 11</b>	Criterios para elegir un fertilizante	53
<b>Figura 12</b>	Uso de biofertilizantes por los productores	54
<b>Figura 13</b>	Beneficios observados con el uso de biofertilizantes	55
<b>Figura 14</b>	Evaluación de altura de plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de invernadero	72
<b>Figura 15</b>	Evaluación de diámetro de tallo en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de invernadero	73
<b>Figura 16</b>	Evaluación de área foliar en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de invernadero	74
<b>Figura 17</b>	Evaluación de masa seca de tallo y raíz en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de invernadero	75
<b>Figura 18</b>	Evaluación de altura en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo	76
<b>Figura 19</b>	Evaluación de grosor de tallo en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo	77

<b>Figura 20</b>	Evaluación de área foliar en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo	78
<b>Figura 21</b>	Evaluación de número de hojas en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo	79
<b>Figura 22</b>	Evaluación de número de hojas en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo	80

## 1. Resumen

La generación de residuos agroindustriales es una importante problemática ambiental. En la industria avícola, las plumas se depositan en tiraderos lo que afecta al aire, suelo y agua. Sin embargo, con el uso de bacterias capaces de producir enzimas queratinolíticas, los compuestos de nitrógeno y carbono presentes en las plumas se pueden liberar y al ser utilizadas como composta los elementos favorecen el crecimiento de las plantas. Otros géneros bacterianos promotores del crecimiento vegetal en la rizosfera (PGPR) intervienen en la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y mejoran el desarrollo de los cultivos para una óptima producción de alimentos. Es por ello que en esta investigación se propuso un método para elaboración de composta a través de la degradación de plumas provenientes de rastros de pollo con el uso de bacterias queratinolíticas y se adicionó suelo de la región de Chalchicomula de Sesma para ser utilizado como insumo en la producción de cultivos. Además, se realizó el análisis físico y químico de suelo, en muestras de composta y suelo-composta y se encontró incremento en el contenido de nitrógeno y carbono en las muestras con adición de composta con respecto a las de suelo. Por otro lado, se realizaron conteos microbianos en muestras de composta y se observó ausencia de bacterias coliformes. El efecto de la composta en maíz azul se observó en experimentos de invernadero y campo al evaluar las características fenológicas en el desarrollo de la planta y se observó que en los tratamientos con adición de composta y bacterias PGPR favorecieron el crecimiento ya que la altura y el vigor del tallo fueron superiores en comparación con el tratamiento testigo. Por lo que, se concluye que la aplicación de composta proveniente de pluma de ave y bacterias PGPR tiene efectos benéficos en cultivo de maíz azul.

**Palabras clave:** Suelo, maíz, PGPR, composteo, bacterias queratinolíticas

## 2. Introducción

La generación de residuos agroindustriales es una importante problemática ambiental. En la industria avícola, las plumas que se generan como residuos se incineran o se depositan en tiraderos, lo que afecta al aire, suelo y agua (Florida & Reategui, 2019). Las plumas tienen un contenido aproximado del 80% de queratina, proteína fibrosa recalcitrante que no se degrada con facilidad por ser una molécula altamente estable (Florida-Rofner, 2019). Sin embargo, con el uso de bacterias capaces de producir enzimas queratinasas, los compuestos de nitrógeno y carbono presentes en las plumas se pueden liberar para ser aprovechados y ser utilizadas como composta toda vez que los elementos que las constituyen favorecen el crecimiento de las plantas. Otros géneros bacterianos promotores del crecimiento vegetal en la rizosfera (PGPR) pueden promover la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y mejorar el desarrollo de los cultivos para una óptima producción de alimentos (Santoyo *et al.*, 2019).

El uso de insumos biológicos para la nutrición de los cultivos favorece las prácticas agroecológicas establecidas en los acuerdos nacionales e internacionales que buscan el desarrollo de actividades agrícolas por medio del desarrollo sustentable (FAO, 2019). Mediante el uso de biofertilizantes y compostas es posible otorgar al suelo los nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos (Carreño *et al.*, 2019). Se ha visto que el uso excesivo de fertilizantes de síntesis química puede colaborar con la degradación del suelo (Kirchmann y Thorvaldsson, 2000), a consecuencia de ello se proponen otras alternativas para ser utilizadas en la fertilización de producción agrícola (Maçik, *et al.*, 2016). Dentro de las especies vegetales de mayor importancia se encuentra el maíz, es ampliamente utilizado en México y el extranjero (Graillet *et al.*, 2019), en el caso de su variedad azul, destaca por la producción de antocianinas utilizadas para la elaboración de pigmentos y por el efecto antioxidante que ofrecen a quienes lo consumen (Godínez y Gómez, 2017). El maíz se produce en distintos estados de la república mexicana, forma parte de los principales estados productores y algunos municipios con amplia extensión de suelo con cultivos de maíz son Tlachichuca y/o Chalchicomula de Sesma entre otros (INAFED, 2010), los cuales utilizan diferentes métodos para fertilizar el cultivo de maíz.

### **3. Antecedentes**

#### **3.1 Desarrollo sustentable ante la crisis ambiental**

##### **3.1.1 Modelo de desarrollo sustentable**

En los últimos años se han acrecentado y agravado los problemas ambientales: pérdida de biodiversidad, contaminación del agua, el aire y el suelo, el agotamiento de los recursos y el uso excesivo de la tierra, lo que compromete los modos de vida de la sociedad (Rockstrom *et al.*, 2009, Jackson, 2009, Meadows *et al.*, 2004, WWF, 2014). A raíz de esto, organizaciones internacionales han buscado un modelo que permita satisfacer las necesidades de la sociedad actual sin comprometer el bienestar de las futuras generaciones, entendido como desarrollo sustentable o sostenible (CMMAD, 1988). Dichos términos se utilizan de forma similar, por ejemplo, mientras que en España se utiliza usualmente el término “desarrollo sostenible”, en algunos países de Latinoamérica se prefiere el término “desarrollo sustentable” pero es importante señalar que ambos términos han sido estudiados ampliamente tratando de encontrar la mejor definición (Gómez y Román, 2020).

##### **3.1.2 Acuerdos internacionales y objetivos de desarrollo sustentable**

Una de las principales propuestas para guiar el modelo de desarrollo sustentable es la agenda 2030 el cual es un documento en el que se incluyen 17 objetivos y 169 metas (CEPAL, 2020). Su surgimiento es una respuesta para alcanzar la realidad del paradigma de desarrollo actual en donde se alcance la vía del desarrollo sustentable, que tenga como visión la inclusión y la visión a largo plazo (CEPAL, 2020). Cada objetivo de este acuerdo internacional está enfocado en solucionar alguna problemática específica como la desigualdad social o el desgaste de los recursos naturales ocasionado por actividades antropogénicas, con las métricas establecidas se busca alcanzar el desarrollo sustentable en la sociedad (CEPAL, 2019)

Organizaciones internacionales han establecido acuerdos para alcanzar otro lado, la FAO ha propuesto el marco estratégico para 2022-2031 que propone objetivos para alcanzar sistemas agroalimentarios más eficientes, inclusivos y resilientes. (FAO, 2021)

## **3.2 Acumulación de residuos provenientes de la industria avícola**

### **3.2.1 Producción avícola y generación de residuos recalitrantes**

En todo el mundo la producción de carne de pollo ha incrementado considerablemente en comparación con la carne de res o puerco (FAO, 2013). Estados Unidos, China y Brasil son los principales productores de carne aviar y huevo, con una producción anual de carne de pollo de aproximadamente 133 millones de toneladas y de huevo en 93 millones de toneladas (FAO, 2023). El desarrollo acelerado de este sector agroalimentario apunta a continuar su crecimiento, toda vez que la amplia gama de subproductos que se obtienen, son una importante fuente de energía, proteínas y micronutrientes para los consumidores (Mottet y Tempio, 2017). El incremento en la producción de carne de ave es una respuesta al crecimiento demográfico para satisfacer la demanda de alimentos, los sistemas industrializados son las principales fuentes de abastecimiento de productos avícolas, sin embargo, los productores a pequeña escala tienen una función esencial para la preservación de los medios de vida (FAO, 2023).

México es el sexto país en producción de carne de ave (SENASICA, 2022). Se estima la producción anual de pollos en 3.6 millones de toneladas y 11.8 millones de toneladas de pavos con un crecimiento del 3% cada año (UNA, 2019). Hoy en día, seis de cada diez mexicanos comen pollo o alguno de los productos derivados de la industria avícola (CEDRSSA, 2019). Los estados con mayor producción de carne de ave son: Veracruz, Jalisco, Aguascalientes, Querétaro, Durango, Guanajuato, Chiapas, Puebla, Yucatán, Sinaloa y San Luis Potosí, los cuales aportan 82% de la producción total nacional (SIAP, 2022). La industria avícola es además un importante sector en el desarrollo de la economía nacional que contribuye significativamente al PIB, con 228,000 empleos directos y 1,139,000 empleos indirectos (UNA, 2022).

La producción de carne de pollo y otros subproductos de la industria avícola, también genera una gran cantidad de residuos sólidos que incluyen excretas, vísceras y plumas (Hernández-Guzmán, 2020), depositar estos residuos en vertederos o tiraderos ocasiona la atracción de vectores de enfermedades y la generación de olores desagradables (Singh *et al.*, 2018). Entre los residuos generados, las plumas representan un 10% de los residuos de la industria avícola (Carrillo, 2019).

Las plumas son estructuras epidérmicas con un eje central llamado raquis, del que se dependen filamentos más delgadas llamados barbillas. Alrededor de 85-90% de la estructura de la pluma está conformada por proteínas, de las cuales la queratina es una de las más abundantes; sin embargo, por su composición la degradación de este material es muy lenta (Florida, 2019). Para el tratamiento de estos residuos queratinosos, se procede a incinerarlos o depositados en vertederos al aire libre lo que ocasiona contaminación de aire, agua y suelo (Fellahi *et al.*, 2016), además de promover enfermedades como cólera aviar o clorosis (Williams *et al.*, 1991).

### **3.2.2 Características de la queratina**

Es uno de los biopolímeros más abundantes en el mundo. Su estructura organizativa conforma tejidos de diversos organismos bióticos (Mousquès, y Dullaart, 2012) y se caracteriza por ser mecánicamente eficiente en tensión y compresión (CITA).

Su estructura proteica puede ser de dos tipos:  $\alpha$ -helice y hoja  $\beta$ -plegada (McKittrick *et al.*, 2013bb). Las queratinas  $\alpha$  se encuentran abundantemente en los tejidos blandos: lana de oveja, el cabello y la piel. Estos son ricos en cistina. Mientras que las queratinas  $\beta$  están presentes en las proteínas del tejido duro de uñas, escamas de peces, plumas de las aves y otros. Son ricos en glicina y alanina, pobres en cistina, hidroxiprolina y prolina (Gupta *et al.* 2012). Es una molécula conformada por cadenas de aminoácidos que presenta entrecruzamientos por los enlaces disulfuro, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas (Demir *et al.*, 2015). Estas propiedades únicas están relacionadas con el alto contenido de residuos de cisteína, un aminoácido azufrado, que permite la formación de puentes disulfuro intramoleculares e intermoleculares entre aminoácidos ubicados en dos cadenas peptídicas diferentes, dando a los materiales de queratina una estructura entrecruzada y dura.

### **3.2.3 Potencial biotecnológico de pluma de ave**

Por su composición química y propiedades físicas, la queratina es un polímero de interés médico, farmacéutico, cosmético y biotecnológico (Adelere *et al.*, 2019). Recientemente se han estudiado alternativas que permitan el aprovechamiento de los residuos de plumas de ave, al considerar que estos contienen concentraciones de aminoácidos

esenciales (Vera *et al.*, 2020). Dentro de los usos que se han encontrado para el aprovechamiento de las plumas se encuentran: que han sido usadas como fuente de peptona en la producción de biomasa láctica, también la queratina presente en las plumas ha sido de interés para la industria cosmética, se usan plumas en la Industria textil como fibra natural para relleno de almohadas, colchones, bolsas de dormir y en la industria agropecuaria se ha observado que puede ser utilizado en composta para enriquecer los niveles de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre en el suelo, entre otros (Florida, 2019). Se ha observado que el uso de plumas en compostaje permite una mejor absorción de nutrientes en plantas y tolerancia de estrés biótico y abiótico ya que contiene agentes bioestimulantes del crecimiento vegetativo (Hernández-Guzmán, 2020). Ayuda en la retención del agua y su movimiento, ya que se ha visto que beneficia el desarrollo de microorganismos, enriqueciendo la diversidad biológica del suelo (Singh *et al.*, 2018). El uso de plumas para la producción de bioabonos resulta una propuesta sustentable para el enriquecimiento del suelo en labores agrícolas, también se promueve la producción de triptófano (Florida, 2019). El uso de plumas de ave como composta ayuda proporcionando macronutrientes como el nitrógeno, fosforo y potasio, además de que contiene otros elementos como: calcio, magnesio, azufre, boro, molibdeno, cobalto, cobre, hierro, manganeso y zinc, que son deficientes en los fertilizantes comerciales (Singh *et al.*, 2018).

### **3.2.4 Microorganismos con capacidad queratinolítica**

Los métodos actuales para la extracción de biomasa y aprovechamiento de la queratina resultan destructivos o poco costosos. En el caso de la hidrólisis ácida puede afectar algunos aminoácidos de interés, mientras que la hidrólisis enzimática es un proceso lento y costoso (Staron *et al.*, 2014).

A pesar de la compleja composición de la queratina, las enzimas queratinasas son capaces de alterar la estructura sobre los enlaces disulfuro, con ayuda de bacterias y hongos que tengan la capacidad de producir enzimas queratinasas. Algunos de estos microorganismos son: *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp., *Tricurus spiralis*, *Kocuria rosea* entre otros (Hernández-Guzmán, 2020).

Ejemplos de bacterias productoras de enzimas queratinasas

1. *Bacillus* sp.: Se ha observado su participación como parte del grupo de bacterias promotoras de crecimiento vegetal en la producción de sideróforos y solubilización de fosfato. Sin embargo, también es una bacteria que produce enzimas queratinasas (Liu *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2018).
2. *Chryseobacterium indologenes*: Es una bacteria Gram negativa, encontrada en los residuos de la industria avícola, superficies húmedas en hospitales, además de que se encuentra en ambientes terrestres. Este microorganismo se distribuye de forma nativa en suelo, pero resulta patógeno si se relaciona con el ser humano. Su actividad de producción de queratinasas apoya a la degradación de plumas, la temperatura óptima en la que se produce esta enzima está entre 15-35 °C. También es productora de sideróforos y solubilizadora de fosfato (Sharma *et al.*, 2018; Calderón *et al.*, 2011).
3. *Brevundimonas vesicularis*: Forma parte de las bacterias Gram negativas que puede crecer en condiciones oligotróficas. Su actividad queratinolítica está demostrada por la degradación de plumas de pollo (Hernández-Guzmán, 2020).

### **3.3 Impacto social, económico y ambiental de actividades agrícolas**

#### **3.3.1 Importancia del sector agrícola a nivel nacional e internacional**

La agricultura es la base de la cadena productiva, sin embargo, después de la revolución verde la productividad y expansión se han triplicado, en los últimos 60 años el uso del suelo, agua y otros recursos naturales ha incrementado excesivamente para fines agrícolas (FAO, 2017). A nivel mundial se genera una mayor afectación al suelo y recursos hídricos de la tierra, además esta actividad está asociada con las emisiones de gases de efecto invernadero (Kirchmann y Thorvaldsson, 2000).

En México aproximadamente 26.9 millones de hectáreas están destinadas a actividades agrícolas, asimismo se considera que, de la población total en México, cerca del 13% está dedicada a actividades agrícolas (CEDRSSA, 2020). La demanda alimenticia estimada es de 138 millones de mexicanos para el año 2030 por lo cual, tal como en el panorama mundial, es necesario optimizar la producción agrícola para satisfacer la

demanda de la población (CEPAL, 2021). Sin embargo, la superficie que se tiene disponible para actividades de producción agrícola está sufriendo degradación y pérdida de nutrientes, lo que afecta directamente al rendimiento obtenido en las cosechas (Torres y Rojas, 2018).

### **3.3.2 Afectaciones en el suelo por fertilizantes obtenidos de síntesis química**

En el suelo se encuentran una mezcla de diversas partículas que le proporcionan su textura característica y lo conforman, en su mayor parte arcillas o limos, en los cuales será más difícil el paso de los fluidos como agua o aire, mientras que un suelo compuesto por gravas o arenas tendrá un bajo nivel de retención. (NOM-021-SEMARNAT, 2000). El suelo es un sistema susceptible a la transformación de sus partículas, donde las raíces de las plantas tienen acceso a los nutrientes que necesitan para su crecimiento (Enger *et al.*, 2010). El suelo está enriquecido por componentes bióticos o abióticos que permiten el crecimiento de distintos organismos, entre ellos los cultivos de interés alimentario y/o comercial (Enger *et al.*, 2010). Para que dichos cultivos puedan desarrollarse de forma óptima es necesario proveer de los macro y micronutrientes requeridos, entre los que se encuentran el carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre entre otros (Román *et al.*, 2013).

Los principales fertilizantes nitrogenados de síntesis química son la urea, el nitrato amónico, el amoníaco y el sulfato amónico; son utilizados ampliamente en la fertilización de distintos cultivos (Galindo *et al.*, 2020). Las plantas asimilan del 30 al 50% de N presente en los fertilizantes, mientras que el porcentaje restante se puede filtrar y llegar a acumularse en aguas subterráneas por lo cual es conveniente aplicar este tipo de fertilizantes en las dosis adecuadas (Ahmed *et al.*, 2017; Galloway *et al.*, 2003).

## **3.4 Producción de maíz azul y su importancia alimentaria y comercial**

### **3.4.1 Características del maíz**

El maíz pertenece a la familia de gramíneas, es un cereal con un sistema radicular fasciculado, de gran potencia y de rápido desarrollo. Posee raíces primarias, de origen embrionario que no llegan a tener grandes proporciones, a diferencia de las raíces

adventicias que constituyen la masa principal del aparato radical (Graillet *et al.*, 2019). La altura del tallo es de 2 a 3 metros, las hojas son anchas y abrazadoras, de disposición alterna y el número de hojas está en relación con su variedad (Gispert, 1987; Graillet *et al.*, 2019).

El cultivo de maíz en México es de vital importancia en distintos ámbitos, tanto en la producción alimentaria, como en otros aspectos como el desarrollo social y cultural. Es un producto que funciona como materia prima para múltiples usos, como fibra, para la elaboración de hojuelas de harina de maíz, frituras, botana y aguardientes, para la fabricación de bebidas alcohólicas no fermentadas; otros derivados como aceites, biocombustibles, almidones, glucosa, fructosa, dextrosa y etanol (Graillet *et al.*, 2019).

El maíz es un eje importante de la cultura de México, donde ha estado presente en la gastronomía, en la nutrición y el comercio, sin embargo, también representa un elemento vital en la construcción histórica de los pueblos y culturas precolombinas. Como lo menciona Toledo y Barrera-Bassols (2020), los ciclos del maíz y de la milpa centran la vida de todas las entidades anímicas existentes en el territorio (humanos, plantas, animales, rocas, cerros, laderas, nubes, rayos y tormentas), dándole sentido de identidad o de territorialidad. El maíz otorga sentido de pertenencia y recuerda la importancia del cuidado de los ecosistemas como patrimonio natural, así como biocultural. Como menciona Zamorano *et al.* (2022), que el enfoque biocultural ayuda al fortalecimiento de la agrobiodiversidad para observar la investigación de la diversidad y tradición agrícola observando el aporte cultural implicado en las prácticas agrícolas.

### **3.4.2 Producción de antocianinas y actividad antioxidante**

La pigmentación de distintos alimentos o frutos de las plantas en color rojo, azul y violeta se debe a la producción de antocianinas, las cuales son parte de los flavonoides que son compuestos fenólicos. Se ha observado que las antocianinas ayudan en la eliminación de radicales libres, lo que puede ayudar a prevenir enfermedades crónico-degenerativas (Urías-Lugo *et al.*, 2015). Entre los cultivos en los que se pueden encontrar estos compuestos está el maíz (García-Campos *et al.*, 2020).

En México principalmente se cultivan tres tipos de maíz: el blanco que es utilizado principalmente para alimentación, el amarillo que es usado para forraje y fines industriales y los maíces pigmentados, entre ellos el azul que es para la elaboración de tortillas, atole y pinole, además de ser de interés industrial por la producción de pigmentos (Godínez y Gómez, 2017).

En los maíces pigmentados se puede encontrar antocianinas en diferentes áreas de los granos algunas tienen antocianinas en el pericarpio y en la aleurona, otros sólo en alguna de estas estructuras e incluso en su endospermo; la localización de estos compuestos es importante dado que en el momento de la transformación de los granos será necesario tener cuidado de no degradar las antocianinas (Graillet *et al.*, 2019).

Se estima que la producción de maíces pigmentados a nivel nacional se lleva a cabo principalmente en los estados de Guanajuato, Estado de México, Veracruz, Puebla, y Chiapas, en particular en los estados de Puebla y México la producción de maíz azul es superior a la razón del maíz comercial de grano blanco (Juárez *et al.*, 2020).

En México, el principal producto alimenticio a base de maíz es la tortilla. La población nacional consume 1400 millones de tortillas al día, se ha observado que los principales tipos de maíces que se consumen son de color blanco, no obstante, los maíces de colores, entre ellos el azul es producido para fines alimenticios ya que se ha visto su efecto anti-obsoletivo (León-Murillo *et al.*, 2021).

### **3.4.3 Importancia biocultural del maíz**

El maíz es un eje importante de la cultura de México, donde está presente en la gastronomía, en la nutrición y en el comercio, sin embargo, también representa un elemento vital en la construcción histórica de los pueblos y culturas precolombinas. Como lo menciona Toledo y Barrera-Bassols (2020), los ciclos del maíz y de la milpa centran la vida de todas las entidades anímicas existentes en el territorio (humanos, plantas, animales, rocas, cerros, laderas, nubes, rayos y tormentas), dándole sentido de identidad o de territorialidad. El maíz otorga sentido de pertenencia y recuerda la importancia del cuidado de los ecosistemas como patrimonio natural, así como biocultural. Como

menciona Zamorano *et al.* (2022), que el enfoque biocultural ayuda al fortalecimiento de la agrobiodiversidad para observar la investigación de la diversidad y tradición agrícola observando el aporte cultural implicado en las prácticas agrícolas.

#### **3.4.5 Chalchicomula de Sesma, un municipio productor de maíz**

El municipio de Chalchicomula de Sesma se localiza en la parte centro-este del estado de Puebla, donde colinda al norte con San Juan Atenco, Aljojuca y Tlachichuca, al sur con Esperanza, al este con Atzitzintla y al oeste con Palmar de Bravo y Quecholac (INEGI, 1995). El clima es frío por lo que el principal riesgo para la agricultura es la baja temperatura que ocasiona heladas y afecta a los cultivos (INAFED, 2010). La población de Chalchicomula está orientada principalmente al comercio y la agricultura. Tanto en la cabecera municipal como en las comunidades aledañas sus habitantes tienen campos de cultivo en donde se cosecha: maíz, haba, frijol y calabaza (INAFED, 2010). De acuerdo con el INEGI, Chalchicomula es uno de los municipios con mayor producción de maíz en el estado de Puebla, con alrededor de 13 000 hectáreas (INEGI, 1995).

#### **3.5 Insumos biológicos para la producción agrícola**

El desarrollo de la agricultura sostenible como transición de la agricultura convencional es un reto en los diferentes ámbitos del desarrollo social, económico y ambiental (Carreño *et al.*, 2019). Una de las estrategias para lograrlo es el uso de productos biológicos que incrementen la productividad de los cultivos y minimicen los daños al medio ambiente y a la salud humana (González-Marquetti *et al.*, 2020).

Un biofertilizante es aquella sustancia que contiene uno o más microorganismos que permiten el desarrollo y crecimiento de la planta para mejorar la absorción o la disposición de los nutrientes por los procesos metabólicos principalmente de bacterias y hongos (López-Reyes *et al.*, 2018). Los biofertilizantes, además, facilitan procesos como la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo, la producción de fitohormonas del crecimiento e incluso el control biológico (Maçik, *et al.*, 2016). El término inoculante se considera sinónimo de biofertilizante, aunque otras investigaciones hacen una distinción entre ambos términos y como biofertilizante se refiere a preparaciones de

microorganismos, abonos verdes, estiércoles o extractos de plantas (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012).

### **3.5.1 Abonos verdes**

Utiliza plantas que se cultivan para ser incorporadas al suelo, preferentemente cuando alcanzan la etapa de floración. Se usan leguminosas (trébol, chícharo, haba y frijol), gramíneas (avena y cebada) o crucíferas (nabo). Al adicionar este tipo de abono, se incrementa la materia orgánica en el suelo para contribuir a restablecer o aumentar la actividad microbiana y disponibilidad de nutrientes.

### **3.5.2 Carbón vegetal**

Obtenido por medio de la degradación térmica de materiales orgánicos en ausencia de aire (pirólisis) se utiliza como enmienda o insumo biológico. Descrito como un posible medio para mejorar la fertilidad del suelo (Lehmann *et al.*, 2011).

### **3.5.3 Estiércoles**

Proveniente de excretas de ganado bovino, porcino, equino, ovino, caprino y aviar. Se suele mezclar con rastrojo de materia vegetal de cosechas anteriores que se utilizan como cama en los corrales de ganado, son el fertilizante orgánico o biofertilizante de mayor uso. Aportan nitrógeno y materia orgánica a los suelos.

### **3.5.4 Compostas y lombricompostas**

El compostaje o compost es un proceso biológico de descomposición a partir de mezclas de sustratos orgánicos como residuos agropecuarios o de alimentos. El proceso se lleva a cabo en condiciones oxigénicas (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012) y comprende diversos procesos metabólicos realizados por diferentes microorganismos que aprovechan el nitrógeno y carbono para producir biomasa (Román *et al.*, 2013).

Entre los materiales utilizados para la elaboración de compostas se encuentran: aguas residuales municipales, estiércol de ganado, cortezas de árboles o y residuos vegetales (Gaird 2014). Para el proceso de compostaje de materiales hay cuatro métodos: Pilas estáticas aireadas, compostaje en hileras, vermicompostaje y compostaje en recipientes (Riaz *et al.*, 2021).

El proceso de compostaje se desarrolla en tres vertientes importantes: tratamiento de los biorresiduos, gestión del estiércol animal y residuos vegetales y compostaje doméstico (Füleky,y Benedek, 2010).

Las plumas de aves de corral pueden bioconvertirse en bioestimulantes ricos en nitrógeno con posibles beneficios para la salud del suelo (Adetunji *et al.*, 2021).

### **3.5.5 Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR)**

Las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal, por sus siglas en inglés PGPR representan del 2 al 5% de las bacterias de la rizósfera (Jha y Saraf, 2015), este grupo de microorganismos son capaces de mejorar el crecimiento de las plantas mediante diferentes mecanismos.

**Fijadores de nitrógeno.** El nitrógeno es un elemento con amplia presencia en el ambiente, sin embargo, la mayor parte de este elemento se encuentra en forma molecular no disponible para el aprovechamiento de los organismos autótrofos. Para los cultivos, por ejemplo, este elemento es uno de los macronutrientes necesarios para su desarrollo. Las cepas bacterianas que pueden realizar la fijación de nitrógeno se clasifican en dos categorías. La primera incluye bacterias simbióticas asociadas a raíces de leguminosas a las que infectan para producir nódulos. El segundo grupo de bacterias son las denominadas fijadoras de nitrógeno de vida libre o diazotróficas que no poseen especificidad para la planta (Oberson *et al.*, 2013).

**Solubilizadoras de fosfatos.** El fósforo (P) es un elemento requerido por las plantas, por lo que su disponibilidad es un factor limitante para el desarrollo vegetal. Los cultivos solo pueden absorber este mineral en dos formas iónicas solubles, la monobásica ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y la dibásica ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (Jha y Saraf; 2015). La liberación de fósforo inorgánico insoluble la realizan bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF), principalmente por medio de la secreción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular como el ácido glucónico, acético, fumárico y cítrico (Faria *et al.*, 2013).

**Producción de fitohormonas.** Las hormonas de crecimiento vegetal promueven el desarrollo de los cultivos. El ácido indol-3-acético forma parte del grupo de auxinas, las cuales son hormonas vegetales que promueven una mejor absorción de minerales, por

ejemplo, las especies comunes son del género del género *Azospirillum* spp. (García-Olivares *et al.*, 2012).

**Producción de sideróforos.** Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal han desarrollado diversas estrategias, tanto para sobrevivir y adaptarse a su entorno, como para proveer a la planta de hierro (Fe), una de estas estrategias es la producción de sideróforos (Santos-Villalobos *et al.*, 2018). Por ejemplo, diversas especies de *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Enterobacter* han sido evaluadas y reportadas como agentes de biocontrol contra patógenos de plantas. Bajo condiciones de estrés por Fe estas cepas producen sideróforos que quelan el Fe disponible y se ven afectadas las cepas bacterianas, restringiendo así su proliferación y colonización de la raíz (Solanki *et al.*, 2013).

**Producción de sustancias antibióticas.** Uno de los mecanismos más efectivos que emplean los PGPR para prevenir la proliferación de fitopatógenos es la síntesis de antibióticos. Los antibióticos incluyen un grupo heterogéneo de compuestos orgánicos de bajo peso molecular que son perjudiciales para el crecimiento o las actividades metabólicas de otros microorganismos (Duffy, 2003). Hay seis clases de compuestos antibióticos relacionados con el biocontrol de enfermedades de la raíz: fenazinas, floroglucinoles, pioluteorina, pirrolnitrina, lipopéptidos cíclicos y cianuro de hidrógeno (HCN) (Haas y Défago, 2005).

**Agentes de control biológico.** Para el control biológico de enfermedades, se han empleado diferentes microorganismos promotores de crecimiento vegetal como agentes de biocontrol, para eliminar de forma natural a los fitopatógenos mediante la producción de metabolitos secundarios, los cuales son excretados cerca de la superficie de la planta, son moléculas biodegradables y no se requieren en cantidades elevadas, a diferencia de los plaguicidas que son resistentes a la degradación y se aplican en grandes cantidades para mantener la salud de las plantas (Molina-Romero *et al.*, 2015).

### **3.6 Marco Normativo**

El marco normativo permite conocer y tener en cuenta las leyes que rigen los parámetros que debe tener una composta de acuerdo con la normativa mexicana, asimismo hay documentos que salvaguardan la riqueza de elementos bioculturales.

#### **3.6.1 Normatividad para la gestión de residuos**

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR; DOF, 2003) se considera que los residuos provenientes de las actividades avícolas pertenecen a la categoría de residuos especiales. Este tipo de residuos son definidos como aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o peligrosos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 2016). Para la gestión y manejo de dichos residuos se tiene la NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, la cual contiene un listado de residuos, los requerimientos para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

#### **3.6.2 Normativa internacional para la gestión de residuos**

En cuanto a la normativa para el manejo de los residuos de actividades avícolas, la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos (EPA) cuenta con un documento titulado: Alternativas al manejo de desechos avícolas: manual de diseño y aplicación. En dicho documento se mencionan los efectos que pueden tener el mal manejo de estos residuos en el medio ambiente y en la salud de los seres humanos, se enlistan las investigaciones en el área científica respecto a este tipo de residuos y se plantean metodologías para su gestión (Martín y Loehr, 1977).

#### **3.6.3 NMX-AA-180-SCFI-2018 Métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial**

Establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME), así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos

finales. Esta Norma Mexicana es aplicable a las actividades realizadas por las entidades públicas y privadas que operen procesos de tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los RSU y RME, así como de productores y comercializadores de los productos y subproductos derivados incluidos en la norma (DOF, 2018).

#### **3.6.4 Ley federal de fomento y protección al maíz nativo**

Declara a las actividades de producción, comercialización y consumo del maíz nativo y en diversificación constante, como manifestación cultural de conformidad con el artículo 3 de la Ley General de Cultura y Derechos Culturales (DOF, 2020). Define como maíz nativo a las razas taxonómicas *Zea mays* subespecie *mays* que los pueblos indígenas, campesino y agricultores han cultivado y cultivan a partir de semillas seleccionadas por sí mismas u obtenidas de intercambio, en evolución y diversificación constante, que sean identificadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (DOF, 2020).

## **4. Planteamiento del problema**

### **4.1 Formulación del problema de investigación**

Como consecuencia de la actividad industrial avícola para la producción de carne de pollo se genera la acumulación de plumas de ave como residuo, las cuales se pueden convertir en una fuente de contaminación en caso de no darle tratamiento, asimismo, por lo que existe la necesidad de plantear alternativas sustentables para la producción de alimentos para la mejora de la fertilidad del suelo y contribuir en la producción y seguridad alimentaria con el cultivo de maíz azul.

### **4.2 Pregunta de investigación**

¿El uso de composta de plumas de ave y bacterias PGPR es una alternativa sustentable para promover el crecimiento y la nutrición de las plantas de maíz azul?

## 5. Justificación

De acuerdo con el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), en México, la cuarta parte de la población habita zonas rurales más del 50% viven en condiciones de pobreza. En este contexto, la agricultura es una actividad económica primordial para el desarrollo económico; sin embargo, el uso constante de los agroquímicos y aditivos que se utilizan para la producción de alimentos ha generado una situación que compromete a los productores por el uso de estos productos lo que no solamente afecta la calidad del suelo, sino que además genera dependencia económica.

Con el surgimiento de las alternativas agroecológicas se ofrece una alternativa sustentable que considere el buen uso del recurso suelo. Además, la composta que se propone en el presente estudio tiene como fuente principal las plumas de ave, las cuales se consideran desechos recalcitrantes que usualmente son depositadas en tiraderos o incineradas, pero con esta propuesta se busca ofrecer un valor agregado que beneficie a las actividades económicas agrícolas y contribuir al desarrollo de una economía circular. Además de que la acumulación de residuos sólidos orgánicos también genera riesgos a la salud ya que puede acarrear infecciones a las personas que se encuentran cerca de estos tiraderos, por lo que el aprovechamiento de estos residuos, disminuye la exposición de la población a estos focos de infección.

En este proyecto de investigación se evaluó la producción de la composta de plumas de ave con la aplicación de bacterias queratinolíticas, así como la posterior aplicación de la composta al cultivo de maíz azul, asimismo, se buscó enriquecer esta alternativa con el uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) que han mostrado efectos benéficos en las plantas por su actividad sinérgica.

## **6. Objetivos**

### **6.1 General**

Evaluar el uso de la composta de plumas de ave con bacterias PGPR mediante el efecto en el crecimiento de maíz azul bajo experimentos en condiciones de invernadero e *in situ* en la región de Chalchicomula de Sesma, Puebla.

### **6.2 Específicos**

6.2.1 Biotransformar los residuos de plumas de ave para ser usado como composta.

6.2.2 Determinar las características físicas, químicas y biológicas de la composta y del suelo de la región.

6.2.3 Determinar el efecto de la composta sola y combinada con bacterias PGPR en el cultivo de maíz azul en condiciones de invernadero.

6.2.4 Validar en campo el efecto de la composta sola y combinada con bacterias PGPR.

6.2.5 Conocer la percepción de actores clave sobre el uso de esta biotecnología.

## **7. Hipótesis**

La aplicación conjunta de composta de plumas de ave con las bacterias PGPR promoverá el crecimiento y nutrición en plantas de maíz azul como alternativa sustentable.

## 8. Materiales y métodos

### 8.1 Zona de estudio

La zona de estudio se ubica en las coordenadas 19.05971°N y 97.47960°O, en un Ejido de Chalchicomula de Sesma (Figura 1). El municipio se encuentra al sureste del estado de Puebla. El principal uso del suelo es destinado a actividades agrícolas de temporal.

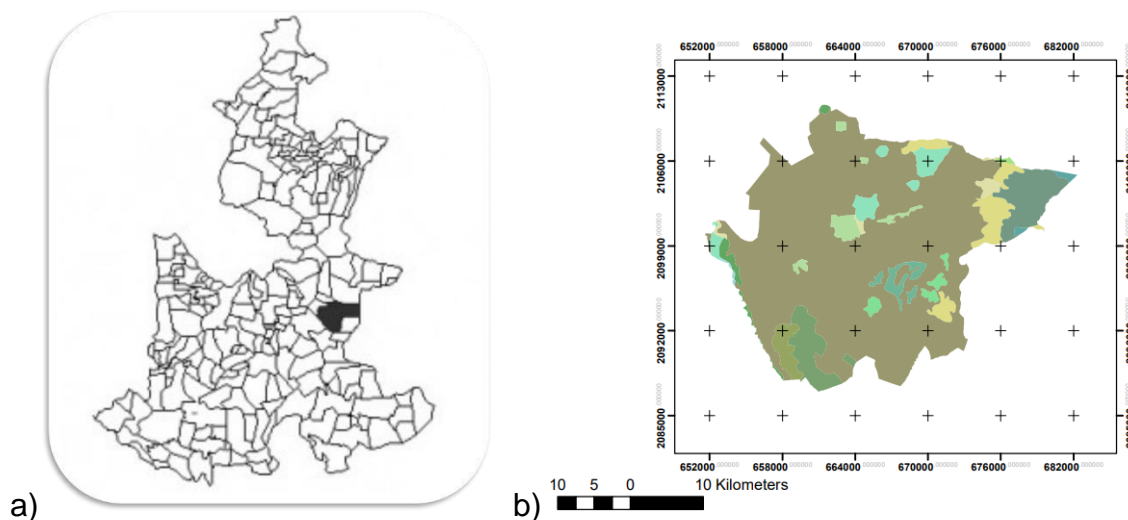


Figura 1. Zona de estudio a) Ubicación de Chalchicomula en el estado de Puebla, b) Municipio de Chalchicomula de Sesma.

### 8.2 Obtención y análisis de las semillas de maíz azul

Las semillas de maíz azul fueron de la región de Chalchicomula de Sesma y proporcionadas por productores de la región para la valoración.

#### 8.2.1 Análisis de semilla

Se corroboró que la semilla de maíz fuera viable para lo cual se realizaron pruebas de germinación y análisis de sanidad (CIMMYT, 1998). El examen de la semilla consistió en una exploración visual, para detectar la presencia de daño ocasionado por organismos patógenos que pudiera afectar negativamente, para ello se empleó un microscopio estereoscópico. Posteriormente se realizó la prueba de sanidad de las semillas que consistió en colocarlas sobre papel secante estéril por 10 días y en condiciones de humedad para favorecer el desarrollo de hongos. Fue importante tener en cuenta la

temperatura, humedad, luz y periodo de incubación. Todo esto bajo las recomendaciones establecidas por la Asociación Internacional para las Pruebas de Semillas (ISTA, 1985).

### **8.3 Muestreo y análisis de suelo**

Se realizó la colecta del suelo mediante un muestreo aleatorio simple. Se seleccionaron 5 submuestras sobre la extensión del campo de cultivo. Las muestras se mezclaron para homogeneizar y obtener una muestra compuesta, se tamizó (2mm) y almacenó a 4°C hasta su procesamiento. El periodo de muestreo se realizó en los meses de enero-mayo del año 2022.

#### **8.3.1 Análisis microbiológico del suelo**

Se realizaron diluciones seriadas y se sembraron 100 µL de muestra por extensión en placa en Agar Soya Trypticaseína (TSA) para la cuantificación de bacterias mesófilas aerobias, en Agar Dextrosa Papa (PDA) para el crecimiento de hongos, Agar *Salmonella Shigella* (SS) para aislar bacterias sospechosas de estos géneros y Agar MacConkey para cuantificar las poblaciones de bacterias gram. Para la prueba de coliformes totales por el método del número más probable NMP se agregó 1 mL a 9 mL de caldo lactosado con rojo de fenol.

#### **8.3.2 Análisis suelo para fertilidad**

Del suelo colectado se tomó una porción para el análisis de fertilidad, el cual se realizó de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, cuyos parámetros son: pH, conductividad eléctrica, textura, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, concentración total de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, (DOF, 2002).

### **8.4 Muestreo y análisis de plumas de ave**

Se colectaron 25 kg de plumas de ave en rastros ubicados en Chalchicomula y poblaciones aledañas al municipio de Chalchicomula de Sesma, Puebla, México; también se recolectaron 100 kg en el rastro de San Salvador El Seco, Puebla, México.

#### 8.4.1 Análisis microbiológico de plumas

En un frasco se colocó 1 g de plumas con 9 mL de agua destilada estéril, posteriormente se realizaron diluciones seriadas y se sembraron 100  $\mu$ L en cada uno de los medios de cultivo: Agar Soya Trypticaseína (TSA), Agar Dextrosa Papa (PDA), Agar *Salmonella Shigella* (SS) y Agar MacConkey. Así como prueba de coliformes totales. Se seleccionaron UFC que crecieron en medios SS y MacConkey, a las colonias aisladas se les realizaron pruebas bioquímicas como: oxidasa, catalasa, tinción de Gram, pruebas de oxidación fermentación (OF) e identificación de las especies bacterianas por medio del sistema Api20E de Biomerieux.

#### 8.5 Elaboración, monitoreo y análisis de composta

Para preparar la composta, por cada kilogramo de suelo se adicionan 250 g de plumas en peso húmedo y 100 mL de inóculo ( $10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>) de bacterias productoras de enzimas queratinolíticas pertenecientes a la colección del cepario del Laboratorio de Microbiología de Suelos-BUAP (Cuadro 1). Se acondicionó un área de 2 m<sup>2</sup> para formar la pila que se formó y en la cual se estuvo compostando el material e hidratando con volteos para homogeneizar la composta semanalmente. Se revisó quincenalmente la composta y se tomaron muestras que fueron analizadas en laboratorio para su posterior análisis microbiológico.

Cuadro 1. Material para elaboración de composta: suelo, plumas e inóculo.

Material	Volumen o masa
Plumas de pollo de rastros del municipio de Chalchicomula de Sesma	25 kg
Suelo del predio seleccionado	100 kg
Inóculo bacteriano para la degradación de plumas <sup>a</sup>	10 L

<sup>a</sup> Bacterias con actividad queratinolíticas:

##### 8.5.1 Análisis microbiológico de composta

Se tomaron muestras de la composta y se realizarán diluciones seriadas 1:10 para cuantificar la población de bacterias y hongos. Para ello se sembró por duplicado en Agar Soya Trypticaseína (TSA), Agar Dextrosa Papa (PDA), Agar *Salmonella Shigella* (SS),

Agar MacConkey. También se utilizó caldo lactosado para la prueba de coliformes totales por el método del número más probable NMP. A las colonias aisladas se les realizaron pruebas bioquímicas y morfológicas como: oxidasa, catalasa, tinción de Gram, pruebas de oxidación fermentación (OF) e identificación de las especies bacterianas por medio del sistema Api20E de Biomerieux.

### **8.5.2 Análisis de fertilidad de composta**

De la composta elaborada se tomó una muestra para el análisis de fertilidad de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, cuyos parámetros son: pH, conductividad eléctrica, textura, materia orgánica, contenido total de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente (DOF, 2002).







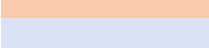










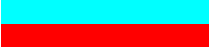



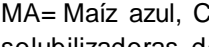
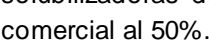

### **8.6 Experimento en invernadero**

Para evaluar el efecto de la composta obtenida y bacterias PGPR en el crecimiento de maíz azul se realizaron pruebas en invernadero, donde se emplearon 24 tratamientos (Cuadro 2) y se evaluaron los efectos en el desarrollo de las plantas de maíz a través de una evaluación periódica de las características fenológicas: Grosor de tallo, altura de la planta, masa seca de parte aérea, masa seca de raíz y área foliar (CIMMITY, 1995). Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) para identificar diferencias en el efecto de los distintos tratamientos basados en un diseño de bloques al azar con 5 repeticiones (Padrón-Corral, 2009).

Se prepararon y etiquetaron las macetas de acuerdo con el tratamiento (Figura 2) y se colocaron 3 kg de suelo y para los tratamientos adicionados con composta, se colocaron 250 g por cada 2.75 kg de suelo. Se colocaron cuatro semillas por maceta y en el caso de los tratamientos con bacterias PGPR, se incubaron las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y las bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF) con un periodo de incubación de 24 horas, posteriormente fueron adicionadas a un sustrato sólido y con ayuda de un adherente fueron colocadas en las semillas previo a la siembra. Después de dos semanas de la siembra se realizó un raleo para tener dos plantas por maceta y tener un mejor

aprovechamiento de nutrientes. La aplicación de fertilizante comercial fue a las 2 semanas de siembra, en dosis equivalentes a las utilizadas por el productor (90-46-00).

Cuadro 2. Tratamientos para el cultivo de maíz azul criollo, adicionado con la composta de plumas de ave y/o bacterias PGPR

Color de Identificación	No.	Tratamiento
	0	Suelo
	1	Testigo
	2	CP
	3	BFN
	4	BSF
	5	F100
	6	F50
	7	CP + BFN
	8	CP + BSF
	9	CP + F100
	10	CP + F50
	11	CP + BFN + BSF
	12	CP + F100
	13	CP + F50
	14	CP + BSF + F100
	15	CP + BSF + F50
	16	BFN + BSF
	17	BFN + F100
	18	BFN + F50
	19	BSF + F100
	20	BSF + F50
	21	BFN + BSF + F100
	22	BFN + BSF + F50
	23	CP + BFN + BSF + F100
	24	CP + BFN + BSF + F50

MA= Maíz azul, CP= Composta de plumas de ave, BFN= Bacterias fijadoras de nitrógeno, BSF= Bacterias solubilizadoras de fosfato, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%.

9	6	7	3	10	5	8	18	6	1
13	0	17	22	24	6	22	17	16	10
4	3	14	0	9	3	15	21	14	18
17	2	11	23	16	24	20	11	23	4
5	24	1	16	21	7	2	19	9	12
22	14	8	19	12	7	23	13	15	10
20	12	24	7	1	18	2	11	5	8
16	11	9	13	22	20	17	8	1	19
23	11	15	21	4	10	6	14	18	13
15	21	4	8	7	4	22	9	0	20
1	18	20	5	19	13	3	2	15	5
14	3	2	17	0	12	24	21	23	19
10	0	6	12	16					

Figura 2. Diseño experimental de tratamientos en invernadero con la ubicación del tratamiento identificado por el color del Cuadro 2

### 8.7 Experimento en campo

Con los resultados obtenidos de la fase de invernadero, se seleccionaron ocho tratamientos con base en su efectividad en el crecimiento de maíz para la validación en condiciones de campo (Cuadro 3).

Para el cultivo de maíz, se consultó a un agricultor de la región y se revisó una guía para la asistencia técnica agrícola (INIFAP, 1997). A partir de dicha información, se realizaron las siguientes acciones:

De manera inicial, el suelo se preparó con una primera rastra Inmediatamente después de la cosecha anterior, que fue en la segunda quincena de noviembre del año 2022, a una profundidad de 30 centímetros. Posteriormente se realizó una segunda rastra a fines del mes de febrero del año 2023. Se utilizaron 25 kilogramos para obtener 50 000 plantas por hectárea de acuerdo con la recomendación para temporal eficiente y temporal crítico. Previo a la siembra, se verificó que la semilla tuviera un porcentaje de germinación superior al 85%.

El periodo de siembra en el municipio de Chalchicomula de Sesma va del primero de marzo al diez de abril, por lo que se sembró en la segunda quincena del mes de marzo. La siembra se realizó a una distancia de 40 cm entre matas colocando 3 semillas con pala recta y con una distancia de 80 cm entre surcos (Figura 2). De acuerdo con la guía para asistencia técnica agrícola (INIFAP, 1998), se agregó fertilizante comercial en dosis equivalente a 140-60-00.



Figura 3. Siembra en experimentos de campo a) Sin adición de composta, b) Con adición de composta.

Cuadro 3 Tratamientos seleccionados para aplicar en campo.

Color/No.	Tratamiento
1	Testigo
2	F100
3	BFN+BSF
4	BFN+BSF+F50
5	CP
6	CP+F50
7	CP+BFN+BSF
8	CP+BFN+BSF+F50

CP= Composta, BFN= Bacterias fijadoras de nitrógeno, BSF= Bacterias solubilizadoras de fosfato, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%.

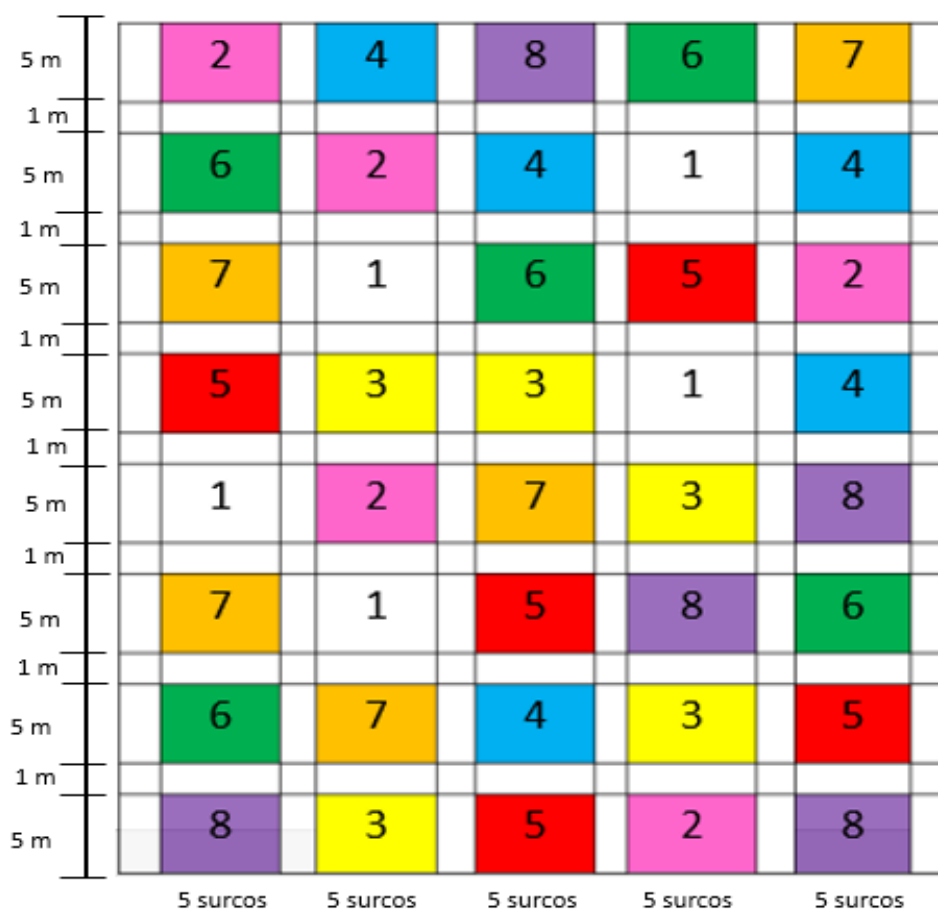


Figura 4. Diseño experimental de tratamientos en campo.

El experimento delimitado con un diseño en totalmente al azar con 8 tratamientos y 5 repeticiones (Figura 4) el área del experimento fue de 2000 m<sup>2</sup> (Figura 3).

Después de 152 días posteriores a la siembra, se evaluaron parámetros fenológicos de la planta: Germinación, número de hojas por planta, altura de la planta, grosor del tallo, área foliar, masa seca de raíz y tallo. A los datos se les realizó un análisis de varianza y una comparación de medias (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

## **8.8 Percepción social**

Para llevar a cabo el análisis de percepción social se revisaron los instrumentos de recopilación de información primaria (entrevista, cuestionario y encuesta y se determinó aplicar un cuestionario a productores. La elaboración del cuestionario se realizó con base en diferentes instrumentos de análisis cualitativos para conocer la percepción social del uso de insumos biológicos (Linares-Fontela, 2002). Los criterios para su diseño fueron: Área de interés, propósito, enfoque metodológico, tipo de muestreo, unidad estudiada, tipo de levantamiento, forma de registrar la información, temas abordados y periodicidad (Galindo-Cáceres, 1998). El tipo de conocimiento buscado fue un análisis de la percepción del uso de biotecnologías para la nutrición de cultivos de maíz, el universo o población a estudiar, la naturaleza, forma de medir los temas y conceptos, tratamiento estadístico requerido y forma de entrega de resultados (Casiano y Paz, 2018).

Se determinó que la información recabada enriquecería el conocimiento que se tiene con respecto al uso de bioinsumos, lo que podría beneficiar el acervo educativo que persigue esta investigación. Se realizó un muestreo por conveniencia (INEGI, 2011) de productores agrícolas que tuvieran predios en la región de Chalchicomula, teniendo en cuenta el método de fertilización para sus sistemas de cultivo.

El cuestionario se aplicó al productor que proporcionó el predio para la prueba en campo, así como a productores clave de la región para recabar los datos. Los resultados obtenidos se reportan por medio de un análisis de estadística descriptiva. El tamaño de la muestra fue igual en ambos grupos (ANEXO 12.2).

## 9. Resultados y discusión

### 9.1 Pruebas de sanidad y germinación de semillas

La contaminación de las semillas de maíz por presencia de colonias fúngicas fue de  $38\% \pm 1.52$  y la germinación fue de  $98\% \pm 0.57$ . Dado que se obtuvo un porcentaje menor al 50% de contaminación y un porcentaje de germinación cercano al 100% se determinó que las semillas eran viables para ser utilizadas en los experimentos de invernadero y campo. El estado óptimo de las semillas es primordial para los procesos de germinación pues permite realizar los procesos metabólicos y morfogénéticos que transforman al embrión en plántula (Rosental *et al.*, 2014). Al tener la certeza de que las semillas poseen el vigor suficiente para crecer, los procesos de crecimiento del cultivo mostraron el conjunto de propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de las semillas durante la germinación y posterior emergencia de las plántulas (López *et al.*, 2016). Asimismo, el porcentaje de germinación representa el comportamiento potencial de las semillas en condiciones de campo (Sako *et al.*, 2001), ya que el deterioro del material biológico se muestra primero en el vigor de las semillas. Cuando las semillas se afectan en su capacidad germinativa, la velocidad de crecimiento y la tolerancia a condiciones adversas se altera (Durán *et al.*, 2008). Se observó que las semillas fueron viables por su porcentaje de germinación, además su nivel de contaminación es bajo lo que favorece su capacidad de germinar en campo (Figura 5).



Figura 5. Germinación en semillas criollas de maíz azul utilizadas para experimentos de invernadero y campo.

## 9.2 Degradación de plumas de ave en proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje no se observaron cambios significativos en los primeros dos meses (Figura 6 a). A partir del tercer mes se observó el fraccionamiento de las barbillas en los soportes principales (raquis) y la incorporación de este material al suelo (Figura 6 b). Fue notorio que en la parte interna de la pila de composta se preservó mayor porcentaje de humedad en comparación con la parte superior del montículo.

La adición del inóculo microbiano queratinolítico, promovió la degradación de las plumas de ave ya que se incrementó la población de microorganismos en presencia del sustrato.



Figura 6. Proceso de compostaje a) Mezcla de plumas, suelo e inóculo al primer mes de compostaje b) Composta al cuarto mes de proceso de degradación

En diversos estudios se ha demostrado que la inoculación microbiana en compostas agiliza el tiempo de degradación (Ichida *et al.*, 2001). Las cepas bacterianas adicionadas fueron aisladas de plumas y que mostraron resultados favorables en la degradación de queratina (Hernández-Guzmán, 2020). En el proceso de hidrólisis de queratina, se llevan a cabo procesos de la disulfuro reductasa y la queratinasa, lo que da como resultado sulfólisis y proteólisis simultáneas para que se realice la degradación (Bhari *et al.*, 2021). La queratinasa, enzima que actúa como catalizador en el proceso de hidrólisis ha mostrado un gran potencial para la conversión de residuos en productos de valor agregado (Gupta *et al.*, 2013). El tiempo del proceso de compostaje fue de cinco meses con una mayor degradación a partir del tercer mes. Como menciona Singh *et al.* (2018), el tiempo para degradar residuos orgánicos es de dos a seis meses, lo que tiene concordancia con el resultado obtenido con la composta de plumas de ave.

### 9.3 Análisis físico y químico de suelo y composta de plumas de ave

La composta presentó un pH de 6.58, cercano a la neutralidad lo que ayudó a disminuir la acidez del suelo (5.8). Los valores del contenido de nitrógeno en la composta, (0.10 %) fueron mayores con respecto al presente en el suelo estudiado (0.08%) y en la mezcla suelo-composta se observó un mayor contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo lo que mejoró estas condiciones en la mezcla suelo-composta (Cuadro 4). Al someter las plumas en un proceso de compostaje se puede aprovechar el carbono y nitrógeno contenido en estos residuos. En algunos estudios se ha reportado una conversión de carbono del 50% y la recuperación de compuestos nitrogenados (Nayaka y Vidyasagar, 2013), por lo que el uso de la composta ayuda a enriquecer el suelo con los macronutrientes necesarios para el desarrollo de plantas (Florida, 2019). El valor de densidad aparente de la composta (1.10 g cm<sup>3</sup>) es ligeramente inferior al del suelo (1.31 g cm<sup>3</sup>).

Cuadro 4. Análisis físico y químico del suelo y composta de plumas de ave utilizado en experimentos de invernadero.

	Suelo	Composta <sup>α</sup>	Suelo-Composta <sup>α</sup>
pH	5.80	6.58	5.88
MO%	1.35	1.90	1.63
N%	0.08	0.10	0.09
Ca Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	5.20	3.20	4.40
Mg Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	2.00	1.20	1.20
Na Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	0.30	0.50	0.40
K Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	0.20	0.40	0.30
CIC Cmol (+) kg <sup>-1</sup>	3.60	3.80	3.00
P mg kg <sup>-1</sup>	25.50	51.60	23.90
CE dS m <sup>-1</sup>	0.09	2.00	0.29
DA g cm <sup>3</sup>	1.31	1.10	1.34

<sup>α</sup>= Composta de plumas de ave, MO= Materia orgánica, CIC= Capacidad de intercambio catiónico, CE= Conductividad eléctrica, DA = Densidad aparente

La adición de composta a base de residuos avícolas aporta nitrógeno, potasio y fósforo (Olumayowa y Abiodun, 2011). lo que promueve el desarrollo vegetal, además de elementos como el calcio, magnesio, azufre, boro, molibdeno, cobalto, cobre, hierro,

manganeso y zinc, que son deficientes en los fertilizantes comerciales (Singh *et al.*, 2018).

#### **9.4 Análisis microbiológico de composta de pluma de ave**

Las muestras de suelo mostraron un mayor número de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) del tipo Gram negativas con respecto a poblaciones de bacterias mesófilas aerobias o a la presencia de hongos (Cuadro 5). Al cuantificar la presencia de coliformes en suelo se obtuvo una población de 95 UFC g<sup>-1</sup>. Se ha observado la presencia de poblaciones de coliformes en muestras de suelo que han sido abonados con estiércol dado que este grupo bacteriano se encuentra distribuido de manera general en los suelos, pero tienen la característica de que su hábitat principal está conformado por el intestino de los seres humanos y otros animales de sangre caliente (Cerna, *et al.*, 2012). Por otro lado, en las muestras de plumas se encontró la presencia de 110 UFC g<sup>-1</sup> coliformes, lo que representa una mayor proporción de este tipo de microorganismos. El crecimiento de las bacterias coliformes en las plumas puede estar relacionado a la mezcla de residuos avícolas (plumas, sangre, heces, etc.) y a que dichos microorganismos pueden crecer en ambientes adversos caracterizados por pH y temperaturas bajas, además de que pueden sobrevivir durante largos períodos en el agua y el suelo (Bukhari *et al.*, 2017). La población microbiana se modificó a lo largo del proceso de compostaje. La población de coliformes decreció a partir del segundo mes (95 UFC g<sup>-1</sup>) hasta el quinto mes (9 UFC g<sup>-1</sup>), mientras que las poblaciones bacterianas Gram negativas incrementaron su población de 74 UFC g<sup>-1</sup> a 125 UFC g<sup>-1</sup>. Además, se sembraron muestras de composta en agar SS para detectar la presencia de las bacterias patógenas de *Salmonella* y *Shigella*, sin embargo, no se encontraron colonias características de dichos géneros. No obstante, se aislaron 17 colonias bacterianas de agar MacConkey y SS, los datos se observan en el Cuadro 6. Posteriormente, se seleccionaron cinco bacterias Gram negativas y dieron resultados positivos en la prueba de catalasa y OF para ser identificadas por el sistema API20E de Biomerieux<sup>R</sup> y detectar la presencia o ausencia de bacterias patógenas en la composta. Las poblaciones microbianas tendrán un aumento y decremento conforme el proceso de compostaje avance desde la fase termofílica a la mesofílica, hasta llegar a

una estabilidad en la población de microorganismos en la composta en la fase de maduración (Román *et al.*, 2013).

Cuadro 5. Poblaciones microbianas encontradas durante el proceso de compostaje de plumas de ave

Tiempo (meses)	Gram negativas ( $10^6$ UFCg $^{-1}$ )	Bacterias		Hongos
		Mesófilas aerobias ( $10^3$ UFCg $^{-1}$ )	Coliformes (UFCg $^{-1}$ )	( $10^3$ UFCg $^{-1}$ )
		Suelo		
	115 ± 22.1	17 ± 06.4	95	21 ± 2.6
		Plumas		
0	289 ± 06.3	49 ± 10.6	110	4 ± 0.7
		Composta		
1	74 ± 15.0	83 ± 18.4	95	15 ± 04.2
2	82 ± 09.0	69 ± 09.0	20	21 ± 04.7
3	72 ± 21.0	70 ± 21.0	15	51 ± 12.7
4	110 ± 17.3	50 ± 18.1	20	61 ± 61.0
5	125 ± 10.6	33 ± 02.1	10	67 ± 04.9

UFC= Unidades Formadoras de Colonias, NMP= Número más probable

Cuadro 6. Pruebas bioquímicas realizadas a géneros bacterianos aislados en muestras de composta.

Clave	Catalasa	Oxidación	Fermentación
S1, S2.3, SP1, SP2, CP2.3	+	+	+
S2.1, CP2.2, CP3.1	-	+	+
S2.2, CP1.1, CP4.3	-	-	-
CP1.2, CP2.1	+	-	-
CP3.2, CP4.1, CP4.2	+	-	+

S= Suelo, SP= Plumas, CP= Composta, + = Positivo, - = Negativo

Los géneros bacterianos que se encontraron en suelo fueron *Escherichia vulneris* y *Cronobacter* sp., en composta *Escherichia coli* y en plumas *Proteus* sp. (Cuadro 7). De acuerdo con Cechin *et al.* (2022), *Cronobacter* sp. se encuentra en ambientes de campo como suelos, heces de animales, compostas, cultivos de arroz y hortalizas, así como en industrias de procesamiento de alimentos y ambientes domésticos, lo que sugiere un posible riesgo sanitario en las primeras etapas del composteo. En el caso de las especies de *E. coli* se ha visto que pueden sobrevivir durante largos períodos de tiempo en

compostas de aves y lácteos. Algunos factores que influyen en la supervivencia de patógenos incluyen el tipo de compostas, las condiciones de almacenamiento y el nivel de inóculo (Chen *et al.*, 2018). Por tanto, debido a que no se encontró evidencia de Salmonella o Shigella, se podría descartar el riesgo de afectaciones en los cultivos. (Figura 8).

Cuadro 7. Identificación de géneros bacterianos con la técnica API20E.

Clave	Tipo de muestra	Microorganismo identificado	ID %
S1	Suelo	<i>Cronobacter</i> sp.	97.5
S2.1	Suelo	<i>Escherichia vulneris</i>	99.6
SP1	Plumas	<i>Proteus vulgaris</i> .	64.9
SP2	Plumas	<i>Proteus penneri</i>	86.2
CP2.3	Composta	<i>Escherichia coli</i>	98.5

S= Suelo, CP= Composta, SP= Plumas, ID= Porcentaje de identificación



Figura 7. Identificación de *Escherichia coli* por prueba API20E

BUENA IDENTIFICACION	
Galería	API 20 E V5.0
Perfil	3 3 0 4 3 7 3 5 7
Nota	POSIBILIDAD DE <i>Enterobacter cloacae</i>

Taxón significativo	% ID	T	Pruebas en contra			
<i>Cronobacter spp</i>	97.5	0.84	VP	91%		

Taxón siguiente	% ID	T	Pruebas en contra			
<i>Enterobacter cloacae</i>	2.3	0.58	VP	85%	INO 12%	SOR 90%

Pruebas complementarias(s)	AMARILLO	ESC (HYD.)		
<i>Enterobacter cloacae</i>	0%	30%		
<i>Cronobacter spp</i>	98%	100%		

BUENA IDENTIFICACION	
Galería	API 20 E V5.0
Perfil	5 1 0 4 5 7 2 5 7
Nota	

Taxón significativo	% ID	T	Pruebas en contra			
<i>Escherichia coli</i> 1	98.5	0.81	IND	89%		

Taxón siguiente	% ID	T	Pruebas en contra			
<i>Kluyvera spp</i>	0.7	0.43	LDC 25%	IND 80%	SOR 25%	AMY 99%

EXCELENTE IDENTIFICACION EN EL GENERO	
Galería	API 20 E V5.0
Perfil	0 4 3 8 0 2 0 5 7
Nota	

Taxón significativo	% ID	T	Pruebas en contra			
<i>Proteus penneri</i>	86.2	0.9	H2S	20%		
<i>Proteus vulgaris</i> group	13.7	0.78	IND	92%		

Taxón siguiente	% ID	T	Pruebas en contra			
<i>Proteus mirabilis</i>	0.1	0.39	ODC 99%	SAC 1%		

Figura 8. Ficha de identificación de *Cronobacter* sp, *Escherichia coli*, *Proteus* sp.

### 9.5 Evaluación de características fenológicas de maíz en invernadero

Se observó que el tratamiento adicionado con composta mostró una longitud de 68.1 cm la cual tuvo un incremento del 25.4% con respecto al control (Cuadro 8), asimismo, el tratamiento con la adición de composta + bacterias solubilizadoras de fosfato en combinación con dosis de fertilizante al cincuenta por ciento tuvieron un incremento del

29.4% (Cuadro 8). También se observó que la adición de composta en combinación con bacterias del tipo PGPR ya sean bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) o bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) tuvieron un incremento superior al 30% con respecto al control (Cuadro 8). El grosor el tallo en el tratamiento testigo fue de 0.54 cm, en los tratamientos con adición de composta junto con una dosis de fertilizante 50% , se obtuvo un incremento de 64.8%, también se observaron incrementos superiores a 60% al adicionar composta y bacterias (Cuadro 8). En el caso de las bacterias solubilizadoras de fosfatos se obtuvo un valor de 0.87 cm y con las bacterias fijadoras de nitrógeno , el grosor de tallo promedio fue de 0.90 cm, no obstante, al agregar ambos grupos bacterianos con fertilizante comercial y composta, el valor ascendió a 0.95 cm (Cuadro 8). Se obtuvo un área foliar 0.105 m<sup>2</sup> en el tratamiento adicionado con composta, pero también se favoreció el incremento del largo y ancho de las hojas en las plantas adicionadas con bacterias solubilizadoras de fosfatos (Cuadro 9). En los tratamientos con composta en combinación con bacterias PGPR se obtuvo un incremento de 112%, además el tratamiento con adición de composta, bacterias PGPR y dosis de fertilización química del 50%, mostró un incremento en el área foliar de 110% (Cuadro 9), lo que mostró que se pueden obtener resultados favorables sin la utilización de fertilización química. La masa de la raíz en plantas con adición de composta tuvo un incremento del 37.7% en comparación con el tratamiento control (Cuadro 9). Además, en los tratamientos con adición de bacterias fijadoras de nitrógeno se obtuvo un incremento superior al 80% de masa seca (Figura 9). Por otro lado, el grosor y el largo del tallo se favoreció en los tratamientos con adición de composta de plumas de ave, de bacterias fijadoras de nitrógeno o con la combinación de ambas junto con la dosis de fertilizante reducida al 50% (Cuadro 8). Los tratamientos con adición de composta mostraron incrementos superiores a 40% en comparación con el tratamiento testigo

El aumento en el crecimiento de las plantas de maíz en los tratamientos con composta puede atribuirse a los nutrientes que se liberan con la descomposición de las plumas, diversos estudios mencionan al degradar estructuras como las plumas, se puede liberar triptófano que como precursor de ácido indol-3-acético que promueve la división y elongación celular, la dominancia apical y embriogénesis en plantas por lo que la

secreción de estas hormonas favorecen el fortalecimiento de las raíces y promueven la absorción de agua y otros nutrientes.

El área foliar es uno de los aspectos más importantes en el crecimiento vegetal ya que promueve la captación de luz, eficiencia fotosintética, respiración, transpiración y respuesta al riego y a la fertilización (Casierra-Posada, 2008).

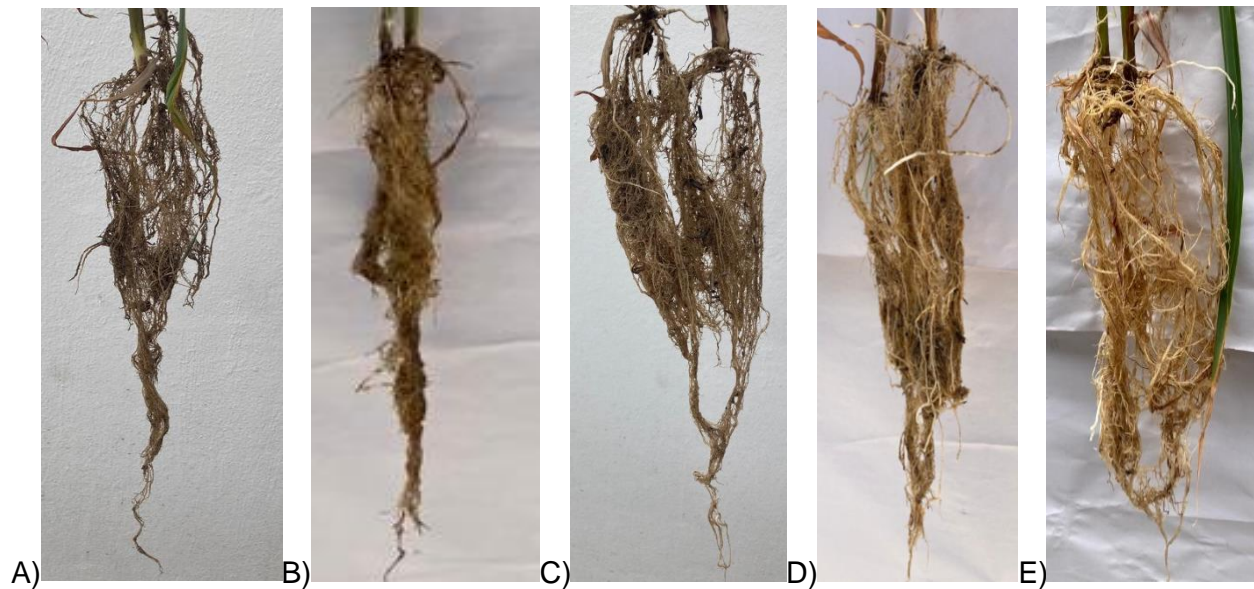


Figura 9., Sistema radicular de plantas de maíz azul en condiciones de invernadero. Las imágenes corresponden a los tratamientos: A) Testigo, B) Fertilizante comercial, C) Composta, D) PGPR y E) Composta + PGPR + fertilizante comercial al 50%.

Cuadro 8. Efecto de la composta y PGPR en altura y grosor de tallo en plantas de maíz en invernadero.

Tratamiento	Altura de la planta (cm)	Incremento (%)	Grosor del tallo (cm)	Incremento (%)
Testigo	54.3± 2.60 j	0.00	0.54 ±0.045 jk	0.00
Composta (C)	68.1± 4.72 abc	25.41	0.80± 0.043 efg	48.15
BF	53.7± 1.83 j	-1.10	0.58± 0.052 ijk	7.41
BS	62.9± 6.21 defgh	15.84	0.57± 0.046 ijk	5.56
F (100%)	54.9± 5.01 j	1.10	0.62± 0.036 h	14.81
F (50%)	58.3± 3.05 ghij	7.37	0.67± 0.060 h	24.07
C+BF	63.9± 6.12 defgh	17.68	0.78± 0.058 fg	44.44
C+BS	62.7± 4.91 defgh	15.47	0.81± 0.064 fg	50.00
C+F (100%)	65.9± 6.23 cd	21.36	0.82± 0.040 bc	51.85
C+F (50%)	65.3± 2.99 cdef	20.26	0.89± 0.063 bc	64.81
C+BF+BS	62.6± 4.48 defgh	15.29	0.81± 0.053 cd	50.00
C+BF+F (100%)	58.1± 3.70 hij	7.00	0.86± 0.085 bc	59.26
C+BF+F (50%)	65.7± 4.28 cd	20.99	0.90± 0.042 bc	66.67
C+BS+F (100%)	69.4± 5.65 ab	27.81	0.85± 0.066 bc	57.41
C+BS+F (50%)	70.3± 6.79 ab	29.47	0.87± 0.074 bc	61.11
BF+BS	57.7± 4.58 hij	6.26	0.60± 0.062 hij	11.11
BF+F (100%)	60.7± 3.06 fghi	11.79	0.61± 0.059 hij	12.96
BF+F (50%)	56.3± 2.47 ij	3.68	0.52± 0.058 k	-3.70
BS+F (100%)	62.3± 3.11 efgh	14.73	0.58± 0.046 ijk	7.41
BS+F (50%)	57.4± 4.78 hij	5.71	0.67± 0.044 h	24.07
BF+BS+F (50%)	61.1± 4.08 efgh	12.52	0.77± 0.113 g	42.59
BF+BS+F (100%)	55.9± 2.60 ij	2.95	0.59± 0.020 ijk	9.26
C+BF+BS+F (100%)	72.7± 6.60 a	33.89	0.96± 0.102 a	77.78
C+BF+BS+F (50%)	67.8± 2.59 abc	24.86	0.95± 0.056 ab	75.93

C= Composta de plumas de ave BFN= Bacterias fijadoras de nitrógeno, BSF= Bacterias solubilizadoras de fosfato, F100= Fertilización química 100%, F50= Fertilización química 50%. Letras iguales dentro de la misma columna indican que no existe diferencia (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Los valores corresponden a la media y desviación estándar (n=5).

Cuadro 9. Efecto de la composta y PGPR en área foliar y masa seca de raíz y tallo en plantas de maíz en invernadero.

Tratamiento	Área foliar (m <sup>2</sup> )		Incremento (%)	Masa de raíz (g)		Incremento (%)	Masa de tallo (g)		Incremento (%)	
Testigo	0.049±	0.0046	j	0.00	2.12 ± 0.47	fgh	0.00	2.53 ± 0.25	hij	0.00
Composta (C)	0.105±	0.0084	a	114.29	2.92± 0.78	bcde	37.74	4.32± 0.48	b	70.75
BF	0.068±	0.0082	hi	38.78	2.14± 0.30	efgh	0.94	2.30± 0.24	ij	-9.09
BS	0.062±	0.0056	hij	26.53	2.31± 0.53	defgh	8.96	2.67± 0.29	hi	5.53
F (100%)	0.068±	0.0037	gh	38.78	2.02± 0.45	fghi	-4.72	3.14± 0.29	fg	24.11
F (50%)	0.065±	0.0056	hi	32.65	2.37± 0.44	defg	11.79	2.66± 0.17	hi	5.14
C+BF	0.095±	0.0105	abc	93.88	3.91± 0.74	b	84.43	4.27± 0.43	bc	68.77
C+BS	0.087±	0.0079	bcd	77.55	2.18± 0.26	efgh	2.83	3.88± 0.33	de	53.36
C+F (100%)	0.080±	0.0033	ef	63.27	2.24± 0.07	defgh	5.66	4.14± 0.36	cd	63.64
C+F (50%)	0.104±	0.0079	ab	112.24	2.13± 0.39	fgh	0.47	4.31± 0.41	b	70.36
C+BF+BS	0.104±	0.0093	abc	112.24	2.42± 0.40	def	14.15	4.41± 0.41	b	74.31
C+BF+F (100%)	0.108±	0.0101	a	120.41	2.61± 0.42	cde	23.11	4.47± 0.28	b	76.68
C+BF+F (50%)	0.092±	0.0084	abc	87.76	2.82± 0.63	bcde	33.02	4.23± 0.33	bc	67.19
C+BS+F (100%)	0.086±	0.0040	cd	75.51	1.43± 0.17	i	-32.55	4.14± 0.39	cd	63.64
C+BS+F (50%)	0.085±	0.0091	de	73.47	3.24± 0.52	bcd	52.83	4.64± 0.49	b	83.40
BF+BS	0.062±	0.0050	hij	26.53	1.64± 0.25	hi	-22.64	2.35± 0.24	hij	-7.11
BF+F (100%)	0.062±	0.0056	hij	26.53	2.41± 0.65	def	13.68	2.76± 0.12	gh	9.09
BF+F (50%)	0.070±	0.0073	gh	42.86	1.73± 0.22	ghi	-18.40	2.14± 0.26	j	-15.42
BS+F (100%)	0.059±	0.0046	ij	20.41	2.15± 0.47	efgh	1.42	2.74± 0.29	gh	8.30
BS+F (50%)	0.072±	0.0086	fg	46.94	1.99± 0.38	fghi	-6.13	2.40± 0.22	hij	-5.14
BF+BS+F (50%)	0.085±	0.0095	cd	73.47	2.25± 0.57	defgh	6.13	3.50± 0.34	ef	38.34
BF+BS+F (100%)	0.063±	0.0070	hi	28.57	3.26± 0.83	bcd	53.77	2.68± 0.19	hi	5.93
C+BF+BS+F (100%)	0.103±	0.0099	abc	110.20	3.72± 0.83	bc	75.47	6.05± 0.40	a	139.13
C+BF+BS+F (50%)	0.099±	0.0062	abc	102.04	5.50± 1.01	a	159.43	4.56± 0.40	b	80.24

C= Composta de plumas de ave BFN= Bacteria fijadora de nitrógeno, BSF= Bacteria solubilizadora de fosfato, F100= Fertilización química 90-46-00 al 100%, F50= Fertilización química 45-23-00. Letras iguales dentro de la misma columna no existen diferencias significativas (Tukey P ≤ 0.05). Los valores son de la media y desviación estándar de 5 repeticiones por tratamiento.

## 9.6 Evaluación del crecimiento de maíz azul con adición de composta de plumas de ave y PGPR en campo

Durante el experimento en campo (Marzo-Agosto 2023), se presentó un temporal atípico con escasez de lluvia que afectó el desarrollo del cultivo de maíz en la región y provocó sequía y pérdidas de plantas en la mayoría de los predios aledaños. En la parcela experimental, se observó que las plantas de maíz azul sembradas con adición de PGPR y composta de plumas de ave tuvieron mayor resistencia a la desecación con respecto al tratamiento testigo o al de fertilización química. Se ha visto que el uso de enmiendas orgánicas como el estiércol y composta favorecen la estabilidad de los agregados del suelo, mejora el proceso de infiltración y consecuentemente aumenta la retención de agua (Seguel *et al.*, 2003). También se ha demostrado que la retención de humedad y adición de composta al suelo favorece el desarrollo de las plantas (Macias *et al.*, 2020). Por otro lado, se ha reportado que la inoculación de PGPR provoca una mayor resistencia contra la deficiencia hídrica y el incremento de biomasa en el plantas como el trigo (Moreno-Reséndez *et al.*, 2018). Las PGPR se adaptan a condiciones adversas y protegen a las plantas de los efectos letales del estrés ambiental (Glick *et al.*, 1997). Se sabe que el uso de PGPR ayuda a prevenir la pérdida de agua en las plantas, ya que la producción de aminoácidos permite que se tenga una mayor tolerancia a condiciones de sequía y salinidad en el suelo (Bécquer, 2022).

El promedio de la longitud de tallo o altura de la planta en el tratamiento control es de 82.90 cm, mientras que con la adición de fertilizante comercial alcanzó una longitud de 83.06 cm, por lo que el incremento no fue significativo (Cuadro 10). En los tratamientos con composta de plumas de ave y PGPR se observó un incremento superior al 20% en la altura de la planta. El largo del tallo en las plantas adicionadas con PGPR fue de 127.27 cm, con fertilizante comercial 50/100% + PGPR se obtuvo una altura de 123.50 cm, mientras que, con adición de composta de plumas de ave, la longitud del tallo fue de 122.87 cm y al combinarla con la dosis de 50% de fertilizante comercial se incrementó a 138.07 cm (Cuadro 10). El tratamiento adicionado con PGPR y composta de plumas tuvo un largo de tallo de 128.03 cm y al agregar una dosis del 50% de fertilizante comercial el valor se redujo a 118.5 cm. Es importante resaltar que hubo un aumento con respecto a

los tratamientos testigo y con fertilización química al 100% en todos los tratamientos adicionados con insumos biológicos (PGPR y composta de plumas de ave) siendo sobresaliente el tratamiento adicionado con composta y cuando se combina con fertilización química al 50% con un incremento del 66%. Se estima que las plantas de maíz pueden tener una altura de 75 a 248 cm según la variedad y condiciones de cultivo (Sánchez *et al.*, 2000), por tanto, el tratamiento control se encontró cerca del valor mínimo mientras que los tratamientos con adición de PGPR y/o composta de plumas incrementó el valor de longitud de tallo (Cuadro 10) El aumento de biomasa en el tallo resulta importante ya que las plantas de maíz después de la cosecha se utilizan como forraje para nutrición animal (Torres y Rueda, 2009), lo que representa un beneficio para los productores....

Con respecto al grosor de tallo, el tratamiento testigo tuvo un diámetro de 2.17 cm y con la adición de bacterias PGPR 2.72 cm (incremento del 25%), PGPR + 50% de fertilizante 2.79 cm (incremento del 28%), por lo que se demostró la promoción del crecimiento vegetal producto de la adición de bacterias benéficas. Se observaron tallos más vigorosos en las plantas con adición de composta de plumas de ave y PGPR, donde los tallos alcanzaron un grosor de 3.12 cm, lo que representa un incremento del 45% (Cuadro 10). Sin embargo, en el tratamiento con composta + fertilizante comercial al 50% el valor obtenido fue de 2.88 cm. Al combinar la composta de plumas, PGPR y fertilizante comercial (dosis al 50%) se obtuvo un diámetro de tallo de 3.08 cm mientras que al combinar PGPR con la composta de plumas el grosor de tallo es de 3.16 cm. Al obtener tallos más vigorosos se brinda mayor resistencia a la caída o quiebre de las plantas antes de la cosecha (García *et al.*, 2001), además de que un tallo con mayor grosor influye en el buen llenado del grano de la mazorca (Villafuerte *et al.*, 2018).

Cuadro 10. Efecto en altura de la planta y grosor de tallo con el uso de la composta de plumas de ave y PGPR en cultivo de maíz en campo.

Tratamiento	Altura (cm)	Incremento (%)	Grosor (cm)	Incremento (%)
Testigo	82.90 ± 17.8 b	0.0	2.17 ± 0.56 a	0.0
F100	83.07 ± 14.2 b	0.2	2.27 ± 0.02 a	4.3
PGPR	127.27 ± 21.5 a	53.5	2.72 ± 0.44 a	25.3
PGPR+F50	123.50 ± 10.8 a	49.0	2.79 ± 0.52 a	28.2
CP	122.87 ± 12.9 a	48.2	3.33 ± 0.95 a	53.1
CP+F50	138.07 ± 28.9 a	66.5	2.88 ± 0.34 a	32.5
PGPR+CP	128.03 ± 20.1 a	54.4	3.16 ± 0.11 a	45.3
PGPR+CP+F50	118.50 ± 19.6 a	42.9	3.08 ± 0.74 a	41.5

F100= Fertilización química 140-60-00 F50= Fertilización química 70-30-00 PGPR= Siglas en inglés de Bacterias promotoras de crecimiento vegetal, CP= Composta de plumas de ave. Letras iguales dentro de la misma columna no existen diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ ). Los valores son de la media y desviación estándar de 5 repeticiones por tratamiento.

El área foliar en el tratamiento testigo o control fue de 0.26 m<sup>2</sup>, mientras que en el tratamiento adicionado con fertilización química al 100% fue de 0.19 m<sup>2</sup>. Se observaron incrementos la composta de plumas de ave + fertilización química (50%) y PGPR + fertilización química (50%) con valores de 0.43 m<sup>2</sup> y 0.37 m<sup>2</sup> respectivamente (Cuadro 11). Por otro lado, el tratamiento con aplicación de PGPR mostró un área foliar de 0.49 m<sup>2</sup> (incremento del 90% con respecto al control), asimismo se observó que el mayor incremento (94%) se alcanzó en el tratamiento al que se adicionó únicamente composta con un valor de 0.50 m<sup>2</sup> (Cuadro 11). El número de hojas por planta en los tratamientos osciló de 12 a 14, se observaron hojas largas y anchas en los tratamientos con adición de insumos biológicos. Se ha visto que el área foliar está estrechamente relacionada con la tasa de crecimiento vegetativo e influye en la tasa de llenado de granos (Balardin *et al.*, 2001). Lo que colabora con el fortalecimiento de las plantas de maíz, además se ha visto que adicionar fertilizantes provenientes de residuos avícolas mejoran la fertilidad del suelo (Jansson *et al.*, 2020).

Cuadro 11. Efecto en área foliar y número de hojas con el uso de la composta de plumas de ave y PGPR en cultivo de maíz en campo.

Tratamiento	Área foliar (m <sup>2</sup> )	Incremento (%)	Número de hojas	Incremento (%)
Testigo	0.26 ± 0.15 b	0.0	12 ± 2.88 a	0.0
F100	0.19 ± 0.05 bc	-26.3	10 ± 1.52 a	-18.4
PGPR	0.49 ± 0.04 a	90.8	13 ± 1.15 a	7.9
PGPR+F50	0.43 ± 0.10 a	64.9	12 ± 1.15 a	0.0
CP	0.50 ± 0.07 a	94.4	14 ± 0.57 a	15.8
CP+F50	0.37 ± 0.10 ab	41.9	11 ± 1.15 a	-10.5
PGPR+CP	0.45 ± 0.11 a	74.9	14 ± 1.00 a	10.5
PGPR+CP+F50	0.42 ± 0.03 a	63.2	12 ± 2.30 a	-2.6

F100= Fertilización química 140-60-00 F50= Fertilización química 70-30-00 PGPR= Siglas en inglés de Bacterias promotoras de crecimiento vegetal, CP= Composta de plumas de ave. Letras iguales dentro de la misma columna no existen diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ ). Los valores son de la media y desviación estándar de 5 repeticiones por tratamiento.

Con respecto a la masa seca, se observó que las plantas de maíz de los tratamientos testigo (35.1 g) y con fertilizante químico al 100% (32.7), alcanzaron valores similares de masa seca de tallo (Cuadro 12). Mientras que en el tratamiento con adición de composta + F50 alcanzó los 74.5 g, lo que representa un incremento de 112%. Al utilizar la composta de plumas se potencializa el crecimiento de las plantas, nitrógeno, fósforo, y potasio (Florida-Dofner *et al.*, 2020). En el tratamiento con adición de PGPR se obtuvo un valor de 81.4 g con un incremento de 132% en el peso de masa seca de tallo, el uso de PGPR ha mostrado efectos benéficos en el crecimiento de los cultivos ya que promueve las interacciones simbióticas y mutualistas con otras bacterias nativas del suelo que aumentan la disponibilidad de macronutrientes necesarios para el crecimiento vegetal, además protegen a las plantas de estrés biótico y otros efectos adversos (Yang *et al.*, 2009). Cabe resaltar que el uso de insumos biológicos superó significativamente el uso de fertilización química ( $p < 0.05$ , Cuadro 12). La masa seca de raíz en el tratamiento control, fue de 2.4 g mientras que en el tratamiento con composta de plumas de ave se obtuvo un resultado de 10.5 g (246% de incremento), sin embargo en los tratamientos con adición de PGPR + F50 se obtuvo un incremento de más de 281% al obtener un valor de 11.5 g; en el tratamiento con adición de PGPR + composta de plumas de ave se obtuvo un valor de 20.1 g y en el tratamiento con PGPR + composta de plumas de ave + fertilización química al 50% se obtuvo un valor de 25.2 g, no se encontraron diferencias

significativas en estos tratamientos por lo que se asume que el uso de composta y PGPR puede ofrecer una alternativa atractiva a los productores ya que se obtuvieron resultados similares en dichos tratamientos. Se ha observado que adicionar proteína hidrolizada de origen animal influye de manera benéfica en el crecimiento de raíces (Cristiano *et al.*, 2018). El incremento en la masa seca de la raíz que se observó con la adición de composta hecha a base de plumas de aves, coincide con lo reportado por Halpern *et al.*, (2015) donde aplicaron queratina hidrolizada lo que benefició al desarrollo de raíces en las plantas de maíz.

Cuadro 12. Efecto en la masa seca de tallo y raíz con el uso de la composta de plumas de ave y PGPR en cultivo de maíz en campo.

Tratamiento	Masa seca tallo (g)	Incremento (%)	Masa seca raíz (g)	Incremento (%)
Testigo	35.1 ± 19.2 b	0.00	3.0 ± 2.4 c	0.00
F100	32.7 ± 04.5 b	-6.74	9.1 ± 0.2 b	201.10
PGPR	81.4 ± 11.6 a	132.10	7.2 ± 1.7 bc	138.46
PGPR+F50	74.3 ± 01.0 a	111.78	11.5 ± 4.8 b	281.32
CP	74.3 ± 12.9 a	111.97	10.5 ± 0.5 b	246.15
CP+F50	74.5 ± 04.5 a	112.35	6.4 ± 0.9 bc	112.09
PGPR+CP	76.9 ± 16.1 a	119.18	20.1 ± 6.9 a	563.74
PGPR+CP+F50	69.9 ± 26.4 a	99.15	25.2 ± 1.0 a	730.77

F100= Fertilización química 140-60-00 F50= Fertilización química 70-30-00 PGPR= Siglas en inglés de Bacterias promotoras de crecimiento vegetal, CP= Composta de plumas de ave. Letras iguales dentro de la misma columna no existen diferencias significativas (Tukey  $P \leq 0.05$ ). Los valores son de la media y desviación estándar de 5 repeticiones por tratamiento.

## 9.7 Percepción social del uso de biotecnologías agrícolas

Se aplicó un cuestionario a seis productores de maíz criollo con predios ubicados en la región de Chalchicomula de Sesma. La edad promedio de los entrevistados fue de 61 años, el productor más joven con 48 años y el más longevo de 80 años. El grado de escolaridad fue de educación básica (66%), educación media superior (16%) y educación superior (16%). La actividad principal del 66% de los entrevistados es la agricultura mientras que 34% restante combina las labores agrícolas con otra actividad económica. Todos los productores consideran que la fertilidad del suelo ha disminuido, algunos de ellos lo atribuyen al uso desmedido de fertilizante y pesticidas o la falta de vegetación en los predios (árboles). Por otro lado, de acuerdo con la opinión de los entrevistados, los

fertilizantes más utilizados en la región son urea, fosfato diamónico o aplicación de una fórmula que adiciona fósforo, nitrógeno y potasio (Figura 10). Con respecto a los criterios para elegir un fertilizante y determinar su efectividad, se toman en cuenta aspectos como: el desarrollo de las plantas cultivadas (40%), el precio de venta o la accesibilidad económica de estos insumos (40%) y consejos de otros productores (20%) como se observa en la Figura 11.

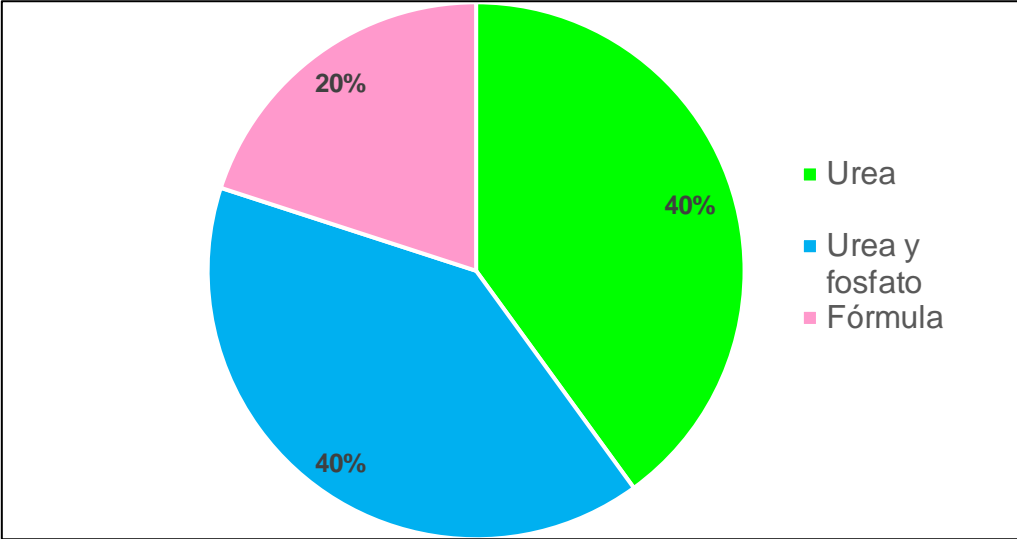


Figura 10. Principales fertilizantes para cultivo de maíz.

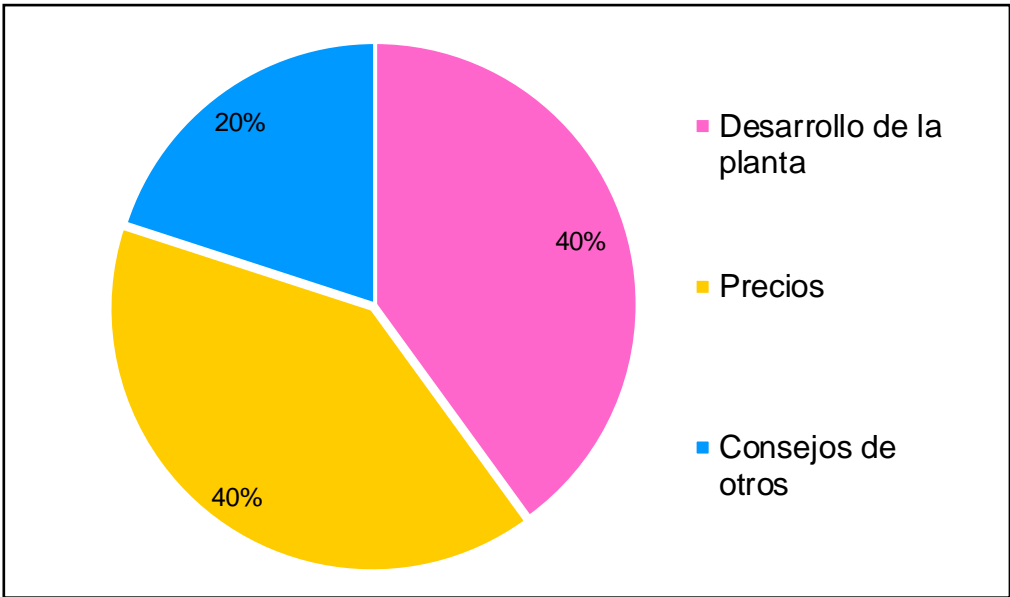


Figura 11. Criterios utilizados para selección de fertilizante.

En cuanto al uso de biofertilizantes (PGPR), el 67% de los productores mencionaron que han utilizado insumos biológicos como lombricomposta o inoculantes microbianos (Figura 12), el número de años promedio que los han utilizado fue de 5 años. Por otro lado, los entrevistados restantes mencionaron que desconocían la forma de utilizar los biofertilizantes, sin embargo, comentaron que han adicionado en sus parcelas estiércol de ganado equino y bovino, entre otros productos biológicos. Los productores que desconocen el uso de biofertilizantes tienen por tradición el uso de fertilización química mientras que los productores que aplican biofertilizantes o compostas combinan el uso de fertilizantes sólidos con aplicaciones foliares. Asimismo, los productores comentaron que hasta el momento no habían escuchado del uso de plumas para elaborar composta..

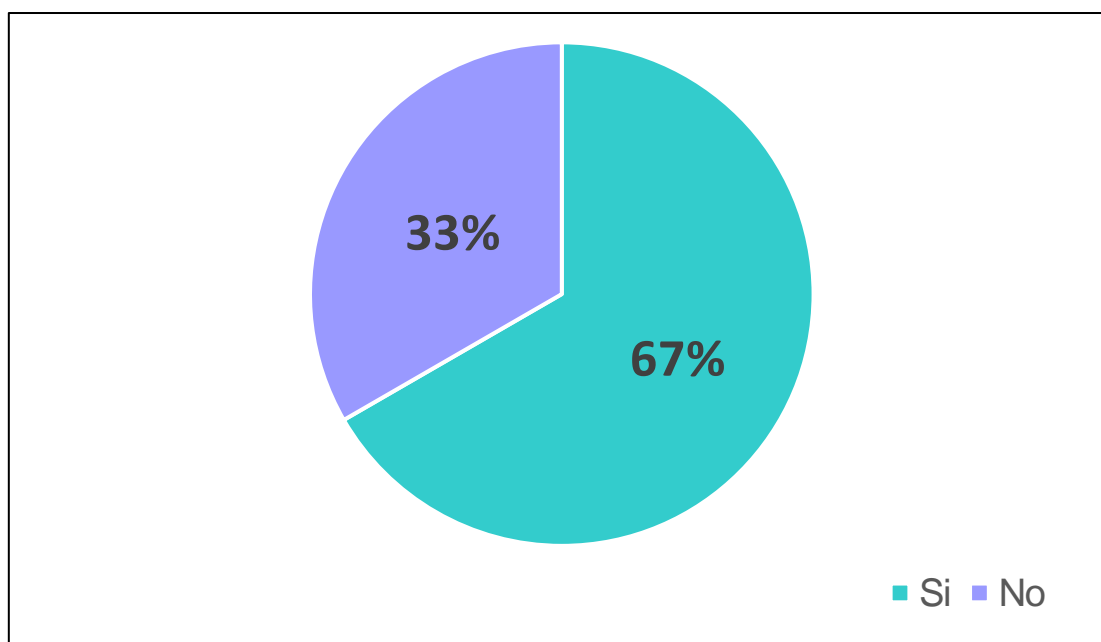


Figura 12. Uso de biofertilizantes por los productores

En cuanto al uso de inoculantes bacterianos es más conocido en cultivos de frijol y al referirse al uso de bacterias se conoce más como promotor del fortalecimiento de raíces. Aquellos productores que utilizan biofertilizantes están convencidos de los beneficios que ofrecen en el fortalecimiento de las plantas cultivadas y en los rendimientos de cosecha obtenidos (Figura 13). En ambos grupos se destaca que los biofertilizantes no presentan riesgos a la producción o generen algún problema en los cultivos. Indistintamente ambos

grupos de productores recomiendan el uso de biofertilizantes en función del cuidado del suelo

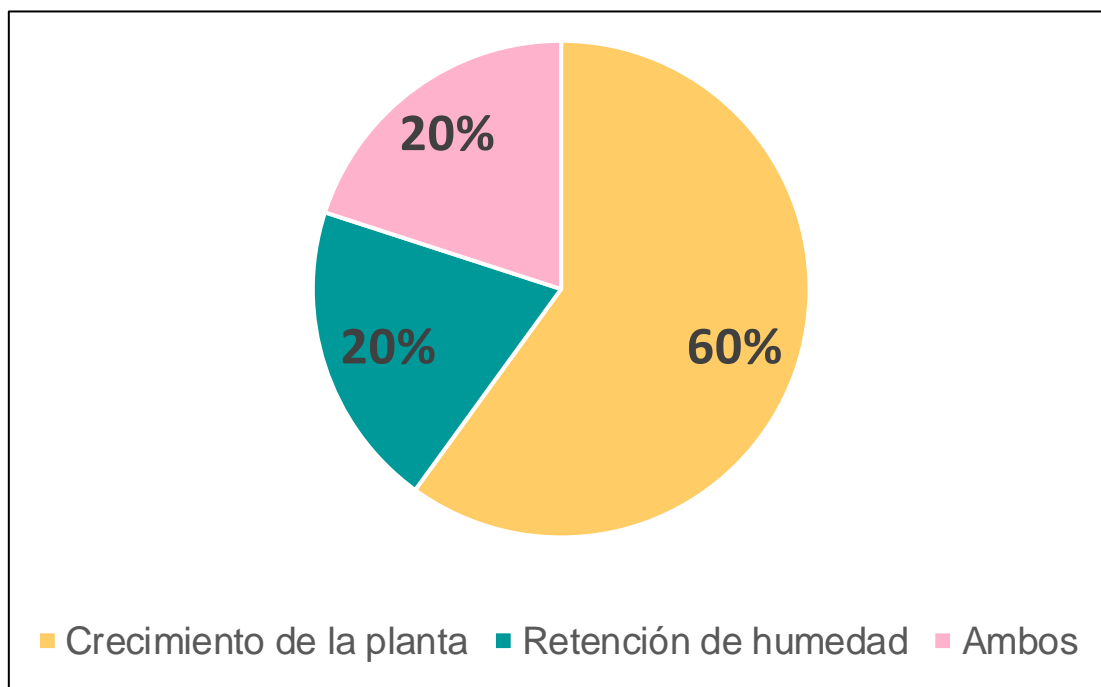


Figura 13. Beneficios observados en el uso de biofertilizantes

Las respuestas de los entrevistados mostraron que la percepción en el uso de insumos para fertilizar involucra no solo aspectos relacionados al crecimiento del cultivo sino también métodos que han desarrollado durante años e innovaciones que van implementando en sus métodos de fertilización como el uso de abonos a base de excretas de ganado, la implementación de maquinaria para las labores de abonado entre otras. La percepción es biocultural ya que depende de los estímulos físicos y sensaciones involucrados y de la selección y organización de dichos estímulos y sensaciones; esto quiere decir que un productor no solo se remite a los hechos inmediatos sino a los juicios que han hecho a través de los años de experiencia en actividades agrícolas (Vargas-Melgarejo, 1994).

Los agricultores consideran que los sistemas agrícolas distan de ser estáticos y que los recursos para la producción de cultivos son agotables, como lo menciona Toledo (2003), la naturaleza y el hombre tienen una intrínseca unión el uno con el otro. De ahí que los

productores consideran importante el desarrollo de alternativas que favorezcan la nutrición de los cultivos, pero además consideran importante que estas alternativas puedan ser más accesibles para sus bolsillos.

La adopción de un nuevo insumo para las labores agrícolas implica un proceso transdisciplinario donde es necesario tener en cuenta cuatro elementos: la innovación ya sea en un método o en un producto que se ofrece, los canales de comunicación empleados, el tiempo que toma desde que la persona conoce la innovación, la comienza a utilizar y la adopta en sus métodos de producción y el sistema social donde se difunde la innovación (Rogers, 2003).

En opinión de los productores, la mejor evidencia de que alguna innovación es factible es la repetitividad en los resultados obtenidos, asimismo, como actividad económica es necesario determinar la factibilidad en el uso de los insumos que se mencionaron a los entrevistados. Es necesario que se comience por un primer acercamiento en donde el productor sabe que existe este insumo, posteriormente el productor tiene un acercamiento a las alternativas (composta y bacterias PGPR). En esta etapa es necesario que el productor verifique su factibilidad y además de estos factores es necesario que el uso de estos biofertilizantes esté alineado con los objetivos que busca el productor, ya sea una producción óptima, una recuperación del suelo agrícola, reducir los costos en compra de insumos de fertilización etc. (Pannell, 1999).

Las respuestas obtenidas por parte del productor que implementó el uso de composta y bacterias mostró su apertura al uso de estos insumos puesto que en sus palabras “se observa que las plantas con bacterias y composta resisten un poco más la falta de agua”, asimismo se mencionó que la falta de lluvia en condiciones de temporal afecta significativamente al crecimiento de los cultivos, por lo que al tener una cosecha deficiente, la inversión en los insumos afecta negativamente al bolsillo del productor, sin embargo el uso de biofertilizantes es efectivo y en combinación con la composta se puede dar nutrición a los cultivos sin gastar demasiado en fertilización.

No obstante, el productor comentó que las plagas y la aparición de hierbas indeseables afecta a los cultivos y aunque los sistemas de fertilización sean efectivos, hay muchos otros factores que afectan para tener una buena cosecha después del ciclo de cultivo.

## **10. Conclusiones**

Las plumas de ave provenientes de rastros de pollo pueden ser degradadas con bacterias con capacidad queratinolítica para ser utilizadas para la elaboración de composta para enriquecer los macronutrientes disponibles en el suelo. Además, se observan efectos benéficos en el desarrollo de las plantas de maíz azul en condiciones de invernadero ya que los tratamientos con presencia de composta proveniente de pluma de ave en combinación con bacterias PGPR muestran incrementos significativos en altura de la planta, grosor de tallo, área foliar y masa seca en comparación con el resto de los tratamientos.

Los tratamientos aplicados en campo mostraron que el uso de la composta de plumas de ave y PGPR ofrecen beneficios en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz azul, ya que los resultados obtenidos en altura de la planta, grosor de tallo, área foliar y masa seca mostraron incrementos con respecto al tratamiento control.

Los productores agrícolas consideran que es obligado el uso de fertilizantes, sin embargo, perciben el uso de composta, bacterias PGPR, y/o biofertilizantes como una alternativa benéfica para la nutrición de los cultivos.

## 11. Referencias

- Adelere, I.A., Lateef, A. (2019). Degradation of Keratin Biomass by Different Microorganisms. In: Sharma, S., Kumar, A. (eds) Keratin as a Protein Biopolymer. Springer Series on Polymer and Composite Materials. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02901-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02901-2_5)
- Adetunji, C.O., Olaniyan, O.T., Bodunrinde, R.E., Ahamed, M.I. (2021). Bioconversion of Poultry Waste into Added-Value Products. In: Inamuddin, Khan, A. (eds) Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61837-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61837-7_21)
- Aguado-Santacruz, G. A., Moreno-Gómez, B., Jiménez-Francisco, B., García-Moya, E., & Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidóforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 9-21.
- Ahemad, M., Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King saud University-science*, 26(1), 1-20.
- Álvarez-Arteaga, G., Ibáñez-Huerta, A., Orozco-Hernández, M. E., García-Fajardo, B. (2020). Regionalización de indicadores de calidad para suelos degradados por actividades agrícolas y pecuarias en el altiplano central de México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 22(2), 5-19.
- Álvarez-Solís, J. D., Díaz-Pérez, E., León-Martínez, N. S., Guillén-Velásquez, J. (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 239-245.
- Balardin, R. S.; Giordani, R. F. y Boligon, E. (2001) Tolerancia de cultivares às doenças foliares na cultura da soja. *Fitopatología brasileira*, vol. 26, p. 419-420
- Bhari, R., Kaur, M., & Sarup Singh, R. (2021). Chicken feather waste hydrolysate as a superior biofertilizer in agroindustry. *Current Microbiology*, 78(6), 2212-2230.
- Bécquer Granados, C. J. (2022). Las rizobacterias y su contribución a la tolerancia de las plantas a la sequía y a la salinidad. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 56(2), e06. Epub 01 de junio de 2022.
- Beryl, G.P., Thazeem, B., Umesh, M. (2021) Bioconversion of Feather Composts using Proteolytic *Bacillus mycoides* for their Possible Application as Biofertilizer in Agriculture. *Waste Biomass Valor* 12, 6795–6809 <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01472-4>
- Birch, P. R., Kamoun, S. (2000). Studying interaction transcriptomes: coordinated analyses of gene expression during plant-microorganism interactions. *New technologies for life sciences: a trends guide*, 1931, 77-82.
- Bolívar-Anillo, H. J., Contreras-Zentella, M. L., Teherán-Sierra, L. G. (2016). *Burkholderia tropica* UNA BACTERIA CON GRAN POTENCIAL PARA SU USO EN LA AGRICULTURA. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 19(2), 102–108. <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1016/j.recqb.2016.06.003>
- Boretti, A., y Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 1-6.
- Buraschi, M., Amato, C. N., y Peretti, M. F. (2017). Integración de Perspectivas Teóricas sobre Sustentabilidad en Cadenas Globales de Valor. *Revista De Economía Y Estadística*, 55(1), 45–68. <https://doi.org/10.55444/2451.7321.2017.v55.n1.28362>

- Carreño, N. E. F., Merchan, J. D. S., y Baquero, Z. Y. V. (2019). La agricultura familiar agroecológica, una estrategia de desarrollo rural incluyente. Una revisión. *Temas agrarios*, 24(2), 96-107.
- Calderón, G., García, E., Rojas, P., García, E., Rosso, M., Losada, A. (2011). *Chryseobacterium indologenes* infection in a newborn: a case report. *Journal of medical case reports*, 5(1), 1-3.
- Carrillo Navarrete, F. (2019). CONPLUMAS: Valorización de residuos biogénicos fibrosos para la obtención de nuevos materiales. *Noticiero textil*, 36(260), 6-7.
- CEDRSSA. (2020). La agricultura y su relación con la pobreza en México. 1 de diciembre de 2021, de CEDRSSA Sitio web: [http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/17Agricultura\\_pobreza.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/17Agricultura_pobreza.pdf)
- CMMAD. 1988. *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza Editorial
- CEPAL, N. (2019). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. *Objetivos, metas e indicadores mundiales*. <http://hdl.handle.net/11362/40155> Consultado el 30 de octubre de 2021.
- CEPAL, N. (2020). La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en el nuevo contexto mundial y regional: escenarios y proyecciones en la presente crisis.
- CEPAL. (2021). Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2021: dinámica laboral y políticas de empleo para una recuperación sostenible e inclusiva más allá de la crisis del COVID-19. de CEPAL Sitio web: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47192-estudio-economico-america-latina-caribe-2021-dinamica-laboral-politicas-empleo> Consultado el 1 de diciembre de 2021.
- Chen, Z., Kim, J., & Jiang, X. (2018). Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* in animal waste-based composts as influenced by compost type, storage condition and inoculum level. *Journal of applied microbiology*, 124(5), 1311-1323.
- Cristiano, G.; Pallozzi, E.; Conversa, G.; Tufarelli, V.; De Lucia, B. (2018) Effects of an animal-derived biostimulant on the growth and physiological parameters of potted snapdragon (*Antirrhinum majus* L.). *Front. Plant Sci.*, 9, 861.
- De-Bashan, L. E., Hernandez, J. P., Bashan, Y. (2012). The potential contribution of plant growth-promoting bacteria to reduce environmental degradation—A comprehensive evaluation. *Applied Soil Ecology*, 61, 171-189.
- Demir, T., Hameş, E. E., Öncel, S. S., & Vardar-Sukan, F. (2015). An optimization approach to scale up keratinase production by *Streptomyces* sp. 2M21 by utilizing chicken feather. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 103, 134-140.
- Diario Oficial de la Federación, D. O. (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Segunda sección. México.
- Diario Oficial de la Federación DOF Ley federal para el Fomento, L. F., del Maíz Nativo, P. México. dof (13 de abril de 2020a). Recuperdo de: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFFPMN\\_130420.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFFPMN_130420.pdf).
- Diario Oficial de la Federación DOF (2018) Norma mexicana que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME), así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales.

- Durán Hernández, D. (2018) Descripción fisiológica y molecular de semillas de maíz azul. Instituto Politécnico Nacional
- Dweipayan Goswami, Janki N. Thakker Pinakin C. Dhandhukia (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review, *Cogent Food & Agriculture*, 2:1, 1127500, DOI: 10.1080/23311932.2015.1127500.
- Enciso Santacruz, D., Monzón, D., Delosantos, A., Samaniego, G., del Pilar, M., Rojas, L., Raquel, L. (2018). *Azospirillum brasilense* y nitrógeno en maíz (*Zea mays* L. var. *amylacea*) en suelo arenoso. De Universidad Nacional de Cuyo Sitio web: [http://librosffyl.bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/13311/27-agroalimentos-encisoderlisuna.pdf](http://librosffyl.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/13311/27-agroalimentos-encisoderlisuna.pdf) Consultado el 03 de enero de 2022.
- Enger, Eldon D. (2010). *Environmental science: a study of interrelationships* / Eldon D. Enger, Bradley S. Smith. — 12th ed. 289-309.
- Espinoza-Ramos, J., Rodríguez Gámez, L. I. (2018). La geografía de la pobreza alimentaria en México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 28(52) .
- FAO (2019). Manejo de los desechos avícolas, producción y productores avícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/management-and-housing/waste-management/es/> Consultado el 8 de enero de 2022.
- Faria, D. C., Dias, A. C., Melo, I. S. & de Carvalho-Costa, F. E. (2013). Endophytic bacteria isolated from orchid and their potential to promote plant growth. *World J Microbiol Biotechnol* , 29(2), 217-221. doi: 10.1007/s11274-012-1173-4.
- Fellahi, S., Chibani, A., Feuk-Lagerstedt, E. and Taherzadeh, M.J., 2016. Identification of two new keratinolytic proteases from a *Bacillus pumilus* strain using protein analysis and gene sequencing. *AMB Express*, vol. 6, no. 1, pp. 42. <http://dx.doi.org/10.1186/s13568-016-0213-0>. PMID:27363997.
- Ferronato, N., Rada, E. C., Gorrity Portillo, M. A., Cioca, L. I., Ragazzi, M., Torretta, V. (2019). Introduction of the circular economy within developing regions: A comparative analysis of advantages and opportunities for waste valorization. *Journal of Environmental Management*, 230, 366–378. doi:10.1016/j.jenvman.2018.09.095
- Florida Rofner, N. (2019). Plumas: Implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 225-237.
- Füleky, G., Benedek, S. (2010). Composting to Recycle Biowaste. In: Lichtfouse, E. (eds) *Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science. Sustainable Agriculture Reviews*, vol 3. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-3333-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3333-8_12)
- Gaind S (2014) Effect of fungal consortium and animal manure amendments on phosphorus fractions of paddy-straw compost. *Int Biodeterior Biodegradation* 94:90–97
- Galindo-Caceres (1998) *Técnicas de investigación en sociedad, cultura y comunicación*. México: Logman. pp.33-73
- Galindo, L. A. G., Rivas, A. C., Melendez, J. P., Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et technica*, 25(1), 172-183.
- García-Campos, A. U., Cruz-Monterrosa, R. G., Rayas-Amor, A. A., Jiménez-Guzmán, J., Fabela-Morón, M. F., Salgado-Cruz, M. de la P., Cortés-Sánchez, A. de J., Villanueva-Carvajal, A., Díaz-Ramírez, M. (2020). Caracterización físico-química de maíz (*Zea mays* L.) criollo

- (azul y rojo) del Estado de México. *Agroproductividad*, 13(7), 95–100. <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.32854/agrop.vi.1728>
- García-Olivares, J. G., Mendoza-Herrera, A., & Mayek-Pérez, N. (2012). Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y ciencia*, 28(1), 79-84.
- Gispert C., (1987). *Biblioteca practica agrícola y ganadera*. Volumen 1 Barcelona: Océano 136-142.
- Glick B R. (2014) Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiol. Res.* 169: 30–39.
- Godínez, T. J., C. Gómez V. 2017. Evaluación de ocho genotipos de maíz criollo e híbridos en suelos de baja fertilidad en Acayucan, Veracruz. Tesis Licenciatura. FISPA. Universidad Veracruzana. Acayucan, Veracruz. México. (pp. 1-28).
- Gómez Romero, J. A., Garduño Román, S. (2020). Desarrollo sustentable o desarrollo sostenible, una aclaración al debate. *Tecnura*, 24(64), 117–133. <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.14483/22487638.15102>
- González, F. (2001). Algunas ideas para clarificar el significado de la pertinencia de la investigación. *Notas de Investigación (Boletín de la Coordinación General de Investigación de la UPEL Maracay)*, 2(1), 1-3.
- González-Marquetti, I., Rodríguez, M. G., Delgado-Oramas, B. P., Schmidt, H. P. (2020). Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas. *Revista de Protección Vegetal*, 35(2).
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- Graillet Juárez, E. M., Alvarado Gómez, L. C., Martínez Martínez, M., Ruiz Santos, K. Y., Torres Delgado, A. G. (2019). Los Maíces Pigmentados en México: El Caso Del Maíz Azul. *Congreso Internacional de Investigación Academia Journals*, 11(2), 1074–1080.
- Halpern, M.; Bar-Tal, A.; Ofek, M.; Minz, D.; Muller, T.; Yermiyahu, U. (2015) The Use of Biostimulants for Enhancing Nutrient Uptake. *Adv. Agron*, 130, 141–174
- Hernández Guzmán, L. E. (2020). Estrategia biotecnológica para la biodegradación de la pluma de pollo con bacterias productoras de enzimas queratinasas (Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
- Herrera, R., Calderón, L., Gutiérrez, A. (2017). Soil quality index in conventional and semi-ecological farms producing plantain (*Musa AAB Simmonds cv. Dominic Hartón*) in Anolaima-Cundinamarca, Colombia. *Rev. Acta Agron*, 66(4), 457-465.
- Ichida JM, Krizova L, LeFevre, Keener HM, Elwell DL y Burt EH., (2001) Bacterial inoculum enhance keratin degradation and biofilm formation in poultry compost. *J Microbiol Meth* 47; 199-208.
- INAFED. (2010). Chalchicomula de Sesma. Noviembre 2021, de Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México Sitio web: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21045a.html> Consultado el 20 de octubre de 2021
- INEGI. (1995). Atlas agropecuario: Puebla, de INEGI Sitio web: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825117214/702825117214\\_4.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825117214/702825117214_4.pdf) Consultado el 30 de noviembre de 2021.

- INEGI México (2011) Diseño de la muestra en proyectos de encuesta. Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía
- INEGI. (2019). Encuesta Nacional Agropecuaria 2019., de INEGI Sitio web: [https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/#Informacion\\_general](https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/#Informacion_general) Consultado 8 de enero de 2022.
- INIFAP (1997) Guía para la asistencia técnica agrícola en el área de influencia del campo experimental. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Consultado el 17 de mayo de 2023.
- International Seed Testing Association. 1985. International Rules for Seeds Testing 1985. Seed Science and Technology 13 (2) :299-520
- Jackson, T., 2009. Prosperity without Growth. Economics for a Finite Planet. Earthscan, London, New York
- Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020). Soil microbiomes and climate change. Nature Reviews Microbiology, 18(1), 35-46.
- Jha C K, Saraf M. (2015) Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. E3 Journal of Agricultural Res. Develop. 5: 108–119.
- Jewell, M. C., Campbell, B. C., Godwin, I. D. (2010). Transgenic plants for abiotic stress resistance. In Transgenic crop plants (pp. 67-132). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Joint, F. A. O. (2014). Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies (No. IAEA-TECDOC--1741). Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture.
- Juárez, E. M. G., Martínez, D. L. A., Juárez, A. D. G. (2020). ESTUDIO DE MERCADO DEL MAÍZ AZUL (ZEA MAYS L.) EN MÉXICO. Innovación empresarial en Mercadotecnia, 35.
- Koch, A., McBratney, A., Adams, M., Field, D., Hill, R., Crawford, J., Zimmermann, M. (2013). Soil security: solving the global soil crisis. Global Policy, 4(4), 434-441.
- Kuan, K. B., Othman, R., Abdul Rahim, K., & Shamsuddin, Z. H. (2016). Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. PloS one, 11(3), e0152478.
- Lehmann, J., *et al.* (2011) Biochar Effects on Soil Biota-A Review. Soil Biology and Biochemistry, 43, 1812-1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- León-Murillo, J. R., Gutiérrez-Dorado, R., Reynoso-Camacho, R., Milán-Carrillo, J., Perales-Sánchez, J. X. K., Cuevas-Rodríguez, E. O., Reyes-Moreno, C. (2021). Tortillas Made with Extruded Flours of Blue Maize and Chía Seeds as an Nutritious and Nutraceutical Food Option. Agro-Ciencia, 55(6), 487–506. <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.47163/agrociencia.v55i6.2555>
- Linares-Fontela (2002) El Logro Del Equilibrio En Las Microfinanzas: Guia Practica Para Movilizar Los Ahorros. Capítulo 10. Editorial PACT Pub
- Liu, C., Sun, D., Liu, J., Zhu, J., Liu, W. (2021). Recent advances and perspectives in efforts to reduce the production and application cost of microbial flocculants. Bioresources and Bioprocessing, 8(1). doi:10.1186/s40643-021-00405-2
- López-Reyes L.; Carcaño-Montiel M.; Espinosa-Victoria D.; Tapia-Hernández R. (2018). Biofertilizantes bacterianos. Un modelo biotecnológico microbiano para el desarrollo agrícola. En Modelos básicos para la investigación básica y la microbiología (253-272). México: BUAP.

- Macías Duarte, Rubén, Grijalva Contreras, Raúl Leonel, Robles Contreras, Fabián, López Carvajal, Arturo, y Núñez Ramírez, Fidel. (2020). Respuesta de la composta sobre la fertilidad, humedad del suelo, contenido nutrimental en hojas y productividad en olivo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1879-1890. Epub. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2141>
- Maçik, M., Gryta, A., Fraç, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies, and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 162, 31-87.
- Mamarandi Mossot, J. E. Ojeda Shagñay, A. G. (2019). Evaluación de cepas de *Bacillus* spp. como microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPR) en brócoli (*Brassica oleracea*) y lechuga (*Lactuca sativa*) (Tesis de licenciatura) Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Martin, J. H., Loehr, R. C. (1977). *Poultry waste management alternatives: A design and application manual*.
- Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B. R. (1999). Effect of wild-type and mutant plant growth-promoting rhizobacteria on the rooting of mung bean cuttings. *Journal of plant growth regulation*, 18(2), 49-53.
- McKittrick, J., Chen, P. Y., Bodde, S. G., Yang, W., Novitskaya, E. E., & Meyers, M. A. (2012). The structure, functions, and mechanical properties of keratin. *JOM*, 64(4), 449–468. <https://doi.org/10.1007/s11837-012-0302-8>
- Meadows, D., & Randers, J. (2012). *The limits to growth: the 30-year update*. Routledge.
- Molina-Romero, D., Bustillos-Cristales, M. R., Rodríguez-andrade, O. y Elizabeth, Y. (2015). Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Revista de La DES Ciencias Biológico-Agropecuarias*, 17(2), 24-34.
- Moreno Reséndez, Alejandro, Carda Mendoza, Verónica, Reyes Carrillo, José Luis, Vásquez Arroyo, Jesús, & Cano Ríos, Pedro. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 68-83. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Mousquès, J., & Dullaart, R. (2012). *Keratin: Structure, Properties, and Applications*. Nova Science Publishers, Inc.
- Mottet, A. y Tempio, G. (2017). Global poultry production: Current state and outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245-256. doi:10.1017/S0043933917000071
- Muduli, S., Champati, A., Popalghat, H. K., Patel, P., Sneha, K. R. (2018). Poultry waste management: An approach for sustainable development. *International Journal of Advanced Scientific Research*, 4(1), 8-14.
- Nebel, B. J., Wright, R. T. (1999). *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*. Pearson educación.
- Nayaka, S., & Vidyasagar, G. M. (2013). Development of eco-friendly bio-fertilizer using feather compost. *Annals of Plant Sciences*, 2(7), 238-244.
- Nicolardot, B., S. Recous, and B. Mary. 2001. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant Soil* 228: 83-103.

- Oberson, A., Frossard, E., Bühlmann, C., Mayer, J., Mäder, P., & Lüscher, A. (2013). Nitrogen fixation and transfer in grass-clover leys under organic and conventional cropping systems. *Plant and Soil*, 371, 237-255.
- OECD/FAO (2021), OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.
- Olumayowa, O., & Abiodun, O. O. (2011). Profit efficiency and waste management in poultry farming: the case of Egba Division, Ogun State, Nigeria. *International journal of poultry science*, 10(2), 137-142.
- Padrón-Corral (2009) Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y ganadería. Editorial Trillas
- Pannell, DJ. (1999). Uncertainty and Adoption of Sustainable Farming Systems. Disponible en <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/124511/2/Pannell.pdf> (20 de diciembre de 2015)
- Pérez LC. Técnicas estadísticas con SPSS. España: Ed. Prentice Hall; 2001
- Park M, Kim C, Yang J, Lee H, Shin W, Sa S K. (2005) Isolation and characterization of diazotrophic growth promoting bacteria from rhizosphere of agricultural crops of Korea. *Microbiol. Res.*160: 127–133.
- Pool-Novelo, L., A. Trinidad-Santos, J. Etchevers-Barra, J. Pérez-Moreno, A. Martínez-Garza. (2000) Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de Los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 34: 251-259.
- Posada, A., Mejía, D., Polanco-Echeverry, D., Cardona, J. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 161 – 178. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2016). LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. PROFEPA Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23.\\_LEY\\_GENERAL\\_PARA\\_LA\\_PREVENCI\\_N\\_Y\\_GESTI\\_N\\_INTEGRAL\\_DE\\_LOS\\_RESIDUOS.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23._LEY_GENERAL_PARA_LA_PREVENCI_N_Y_GESTI_N_INTEGRAL_DE_LOS_RESIDUOS.pdf)  
<https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-para-la-prevencion-y-gestion-integral-de-los-residuos-62914#:~:text=Tiene%20por%20objeto%20garantizar%20el,la%20contaminaci%C3%B3n%20de%20sitios%20con> Consultado: 3 de enero de 2022
- Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, 23.<sup>a</sup> ed., versión 23.5 en línea. <https://dle.rae.es> Consultado el 10 de noviembre de 2021
- Riaz, U. et al. (2021). Values of Composting. In: Dar, G.H., Bhat, R.A., Mehmood, M.A., Hakeem, K.R. (eds) *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_9)
- Rivera-Hernández, J. E., Blanco-Orozco, N. V., Alcántara-Salinas, G., Houbron, E. P., Pérez-Sato, J. A. (2017). ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. *Posgrado Y Sociedad Revista Electrónica Del Sistema De Estudios De Posgrado*, 15(1), 57-67. <https://doi.org/10.22458/rpys.v15i1.1825>.
- Rockstrom, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, F.S., Lambin, E., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., De Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson,

- K., Crutzen, P., Foley, J., 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecol. Soc.* 14 (2), 32. URL:<http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Rogers, E.M. (2003). *Diffusion of Innovations*. 5th Ed., The Free Press, New York.
- Román P.; Martínez, M. M.; Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor experiencias en américa latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Romero, J. (2019). Import demand for intermediate goods in Mexico: 1993-2018. *Atlantic Review of Economics: Revista Atlántica de Economía*, 2(3), 4.
- Rosental, L., H. Nonogaki, and A. Fait. (2014). Activation and regulation of primary metabolism during seed germination. *Seed Science Research* 24(1):1-15.
- Ruíz, B. (2020). Producción avícola de Jalisco en el contexto latinoamericano: Si Jalisco fuera un país, su avicultura de producción de huevo se clasificaría entre las primeras de Latinoamérica, aunque pese a su tamaño, se enfrenta a los mismos desafíos que el resto. *Industria Avícola*, 67(10), 22–25.
- Sako Y., McDonald, M. B. Fujimura K., Evans, A.F., Bennett, M. A. (2001) A System Automated Seed Vigour Assessment. *Seed Science and Technol*, 29, 625-636.
- Salcedo S., & Guzmán, L. (2014). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política*. Santiago: FAO.
- Santa Cruz-Suárez, A., Hernández-Forte, I. (2021). Acercamiento en la identificación de rizobios rizosféricos de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar “INCA LP-7.” *Cultivos Tropicales*, 42(1), 1–9.
- Santos Villalobos, S. D. L., Parra Cota, F. I., Herrera Sepúlveda, A., Valenzuela Aragón, B., & Estrada Mora, J. C. (2018). Colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 191-202.
- Saraf, M., Pandya, U., & Thakkar, A. (2014). Role of allelochemicals in plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens. *Microbiological research*, 169(1), 18-29.
- Saval (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C.*, 16 (2): 14-16
- Seguel, O. V.; García de Cortázar, A. y Casanova, M. 2003. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura Técnica*. 63(3):287- 297.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), 2022. Análisis económico del potencial impacto de la Influenza Aviar de Alta Patogenicidad en México. Disponible en: [https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2023/abril/Riesgosenlaaviculturanacionaleimpactosecon%C3%B3micosenloscostosdeproducci%C3%B3nav%C3%ADcolaporlosbrotesdelAH5N1enM%C3%A9xico\\_6d95188b-1d2c-4c40-ac94-33f060630990.pdf](https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2023/abril/Riesgosenlaaviculturanacionaleimpactosecon%C3%B3micosenloscostosdeproducci%C3%B3nav%C3%ADcolaporlosbrotesdelAH5N1enM%C3%A9xico_6d95188b-1d2c-4c40-ac94-33f060630990.pdf)
- Shah, M.D., Gupta, A.R., Vaidya, R.B. (2019). Production of High-Quality Compost from Feather Waste: A Novel, Cost-Effective and Sustainable Approach for Feather Waste Management and Organic Soil Management. In: Ghosh, S. (eds) *Waste Management and Resource Efficiency*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7290-1\\_45](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7290-1_45)
- Sharma, R., Devi, S. Versatility and commercial status of microbial keratinases: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol* 17, 19–45 (2018). <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1007/s11157-017-9454-x>

- SIAP. (2022). Índice de Productividad Laboral Agropecuario (IPLA, de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Sitio web: <https://www.gob.mx/siap/documentos/indice-de-productividad-laboral-agropecuario-ipla> Consultado el 8 de enero de 2022.
- Singh, I. (2018). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and their various mechanisms for plant growth enhancement in stressful conditions: a review. *European Journal of Biological Research*, 8(4), 191-213.
- Singh, P., Mondal, T., Sharma, R., Mahalakshmi, N., Gupta, M. (2018). Poultry waste management. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(08), 701-712.
- Solanki, M. K., Singh, R. K., Srivastava, S., Kumar, S., Kashyap, P. L., Srivastava, A. K. & Arora, D. K. (2013). Isolation and characterization of siderophore producing antagonistic rhizobacteria against *Rhizoctonia solani*. *J Basic Microbiol* , 2013(00), 1-14. doi: 10.1002/jobm.201200564.
- Staron P, Banach M, Kowalski Z, Staro ´n A (2014) Hydrolysis of keratin materials derived from poultry industry. In: *Proceedings of ECOpole 8*
- Toledo, V., y Barrera-Bassols, N. (2020). La milpa y la memoria biocultural de Mesoamérica. 2019). A conservação das sementes crioulas: uma visão interdisciplinar da agrobiodiversidade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Série Ensino, Aprendizagens e Tecnologias. Rio Grande do Sul, Brazil.
- Torres, F.; Rojas, A. (2018). El suelo agrícola en México: retrospección y prospectiva para la seguridad alimentaria. Realidad, datos y espacio. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(3),138-145.
- Torres Vargas, R., & Ruedas Alba, C. D. 2009. Producción de materia seca de maíz forrajero AN 423 en el ciclo primavera verano.
- Tovar, C. D. G., Colonia, B. S. O. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Guillermo de Ockham*, 11(1), 97-110.
- Trujillo I., Díaz A., Hernández A., Heydrich M. (2007). Antagonismo de cepas de *Pseudomonas fluorescens* y *Burkholderia cepacia* contra hongos fitopatógenos del arroz y el maíz. *Rev Prot Veg.*; 22:41-6.
- Unión Nacional Avícola (2019). Indicadores económicos, Unión nacional de avicultores. Recuperado de: <http://www.una.org.mx/indicadores-economicos/> Consultado el 3 de enero 2022.
- UNA (2022). Compendio de Indicadores económicos del Sector Agrícola 2022. Unión nacional de avicultores
- Urias-Lugo, D. A., Heredia, J. B., Serna-Saldivar, S. O., Muy-Rangel, M. D., Valdez-Torres, J. B. (2015). Total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity of native and elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *CyTA: Journal of Food*, 13(3), 336–339. <https://doi-org.proxydgb.buap.mx/10.1080/19476337.2014.980324>
- Valls, J. (2017). El buen rendimiento del canal de pollo. *Avicultura.info*. Recuperado de: <http://avicultura.info/el-buen-rendimiento-de-la-canal-de-pollo/> enero, 2022.
- Vargas Melgarejo, L. M., (1994). Sobre el concepto de percepción. *Alteridades*, 4(8), 47-53
- Vera, M. S. Á., Vázquez, J. E. V., Guevara, J. R. C. (2020). Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 1016-1033.
- Warham, E. J. (1998). Ensayos para la semilla de maíz y de trigo: Manual de laboratorio. CIMMYT (65-67).
- Williams, C. (2013). Desechos del matadero. Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. Roma, Italia; FAO, Revisión del desarrollo avícola, 59-60. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i3531s/i3531s05.pdf>

- World Wide Fund for Nature. (2002). Living planet report. The Fund.
- Yang, S., Cai, W., Shen, L., Wu, R., Cao, J., Tang, W., et al. (2022). Solanaceous plants switch to cytokinin-mediated immunity against *Ralstonia solanacearum* under high temperature and high humidity. *Plant Cell Environ.* 45 (2), 459–478. doi: 10.1111/pce.14222
- Zamorano, S. M. B. Z. B., Avilés, R. P., García, G. A., Espejel, B. O. y Pérez, J. A. F. (2022). Uso biocultural de la agrobiodiversidad en la zona de influencia sierra del Tentzo, Puebla, México. *etnobiología*, 20(2), 152-172.
- Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, (28), 409-423. Doi: <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>.

## 12. Anexos

### 12.1 Glosario

**Agricultura:** Cultivo o labranza de la tierra. Arte de cultivar la tierra.

**Bacteria:** Organismo microscópico, unicelular, sin clorofila ni núcleo, pero con gránulos de cromatina en el protoplasma. Está provisto de flagelos o cilios por medio de los cuales se mueve en un medio líquido y muchas de sus especies viven en las aguas que abundan en sustancias orgánicas.

**Biofertilizante:** Es una preparación que contiene células vivas o latentes provenientes de cepas eficientes de microorganismos que aceleran los procesos microbianos del suelo mejorando la asimilación de nutrientes por parte de las plantas

**Contaminar:** Penetrar la inmundicia un cuerpo, manchar, ensuciar. Contagiar, inficionar.

**Degradación:** Es la transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla.

**Inocular:** Introducir en un organismo una sustancia que contiene los gérmenes de una enfermedad.

**Fertilizante:** Producto utilizado en agricultura o jardinería que, por su contenido en nutrientes, facilita el crecimiento de las plantas, aumenta su rendimiento y mejora la calidad de las cosechas, o que, por su acción específica, modifica, según convenga, la fertilidad del suelo o sus características físicas, químicas o biológicas.

**Raleo:** En algunos cultivos, como el del frijol y el del maíz, acción de arrancar las plantas que han nacido muy juntas.

**Seguridad alimentaria:** A nivel individual, familiar, regional, nacional y global se alcanza cuando todas las personas tienen en todo momento, acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos, sano y nutritivos que les permitan satisfacer sus necesidades y sus preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana.

**Sideróforo:** Pequeñas moléculas, péptidos no ribosomales muchas de ellas, de alta afinidad por el hierro que actúan de manera específica como agentes quelantes para secuestrar hierro

en presencia de otros metales y lo transforman a una forma mucho más soluble y aprovechable (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012)

**Soberanía alimentaria:** Es el derecho de los pueblos, las naciones o las uniones de países a definir sus políticas agrícolas y de alimentos, sin ningún dumping frente a países terceros. La soberanía alimentaria organiza la producción y el consumo de alimentos acorde con las necesidades de las comunidades locales, otorgando prioridad a la producción para el consumo local y doméstico

**Suelo:** El suelo es la capa externa de la corteza terrestre que permite el crecimiento y desarrollo de distintos organismos, regula la filtración y retención de agua.

## **ANEXO 12.2**

### **Formato de cuestionario para productores**

“Uso sustentable de la composta de plumas de ave y bacterias PGPR para el cultivo de maíz azul”.

Instrucciones: A continuación, encontrará una serie de reactivos (preguntas) que tienen como objetivo conocer la importancia para los actores claves, con respecto al uso de la composta de plumas de ave y bacterias PGPR para usos agrícolas.

Nota: - La información que se obtenga mediante estas entrevistas será empleada únicamente con fines académicos y se tratará de manera agregada por lo que el nombre del informante no aparecerá ligado a las respuestas. Se le pide el nombre en el caso de que haya que aclarar o corroborar alguna respuesta.

#### **1.- DATOS GENERALES**

Nombre completo:

Edad (en años):

Escolaridad:

Ocupación:

Lugar de actividad agrícola (Municipio):

#### **2.- EXPERIENCIA AGRÍCOLA**

1. ¿Desde qué edad se dedica a las labores del campo?
2. ¿En su opinión cómo se ha comportado la fertilidad de los suelos en los últimos 10 años? ¿Por qué?
3. ¿Cuáles son los principales tipos de fertilizantes que se ocupan en la región para cultivar maíz?
4. ¿Cómo es su sistema de fertilización (cuál es la forma de fertilizar) en los cultivos de maíz?

5. ¿Qué criterios (características) toma en cuenta cuando elige los fertilizantes que utilizará?
6. ¿Cómo determina que un fertilizante es efectivo?

### **3.- EXPERIENCIA EN EL USO DE COMPOSTA Y BIOFERTILIZANTES**

7. ¿Ha utilizado algún biofertilizante composta o abono orgánico para la producción de sus cultivos? En caso de responder afirmativamente, mencionar cuáles. Y en caso de responder negativamente ¿por qué no los ha considerado?
8. ¿Ha utilizado algún biofertilizante para el cultivo de maíz? En caso afirmativo ¿Desde cuándo lo utiliza?
9. ¿Ha escuchado sobre el uso combinado de la composta de plumas de ave y bacterias PGPR para el cultivo de maíz?
10. ¿Sabe del uso de composta de plumas de ave y bacterias PGPR para fertilizar los cultivos?
11. ¿Qué beneficios ha observado en sus cultivos con el uso de biofertilizantes? ¿Cree que haya beneficios en los cultivos?
12. ¿Considera que este tipo de fertilizante puede ofrecer ventajas con relación a otro tipo de fertilizantes?
13. ¿Ha notado algún problema al utilizar biofertilizantes? ¿Cree que habrá algún problema al utilizar la composta y bacterias PGPR?
14. ¿Recomendaría el uso de biofertilizantes?

¡Agradecemos la atención prestada!

### 12.3 Resumen de evaluación en invernadero

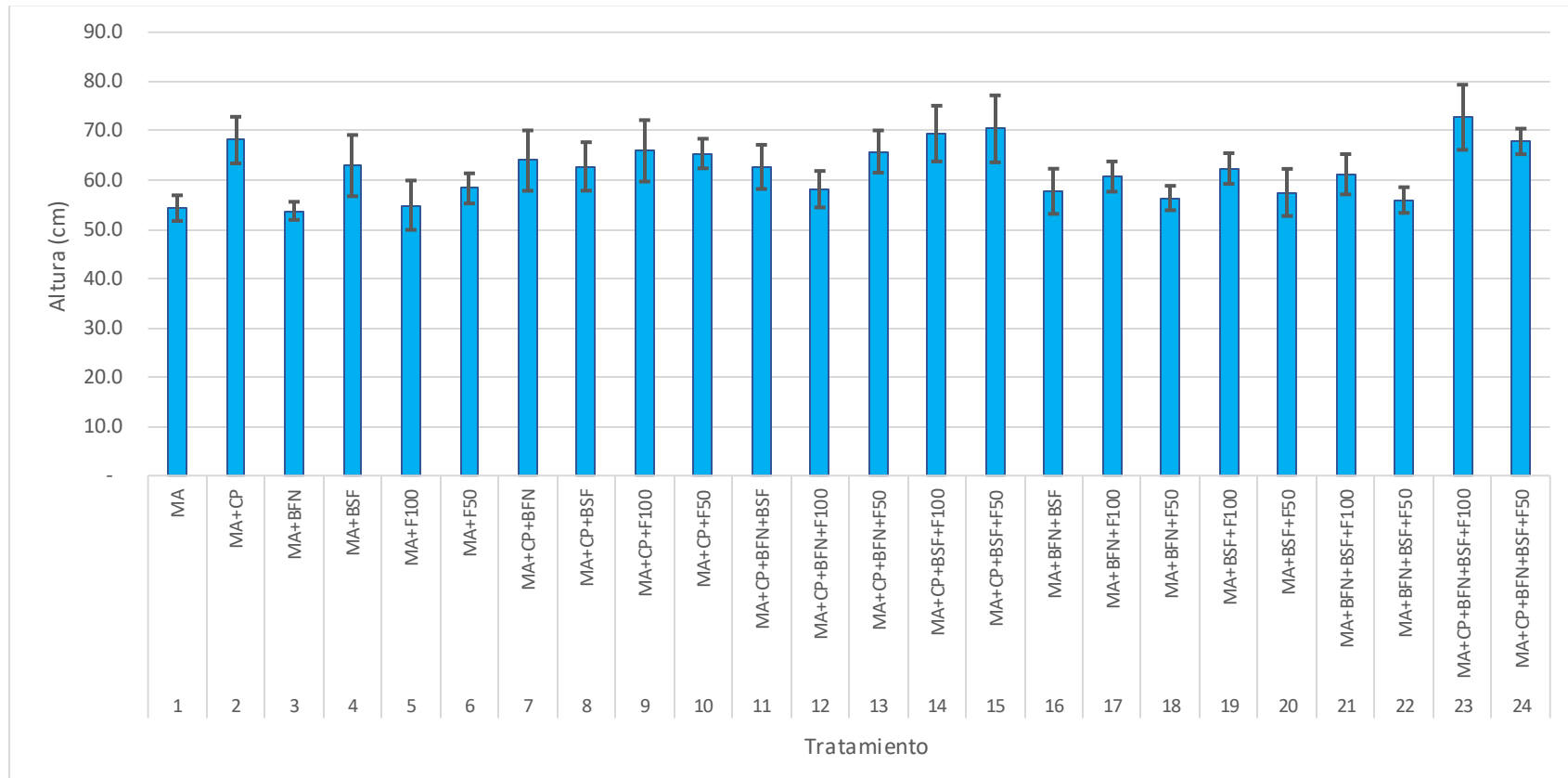


Figura 14. Evaluación de altura en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de invernadero. MA= Maíz, CP= Composta, BFN= Bacteria fijadora de nitrógeno, BSF= Bacteria solubilizadora de fosfato, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%

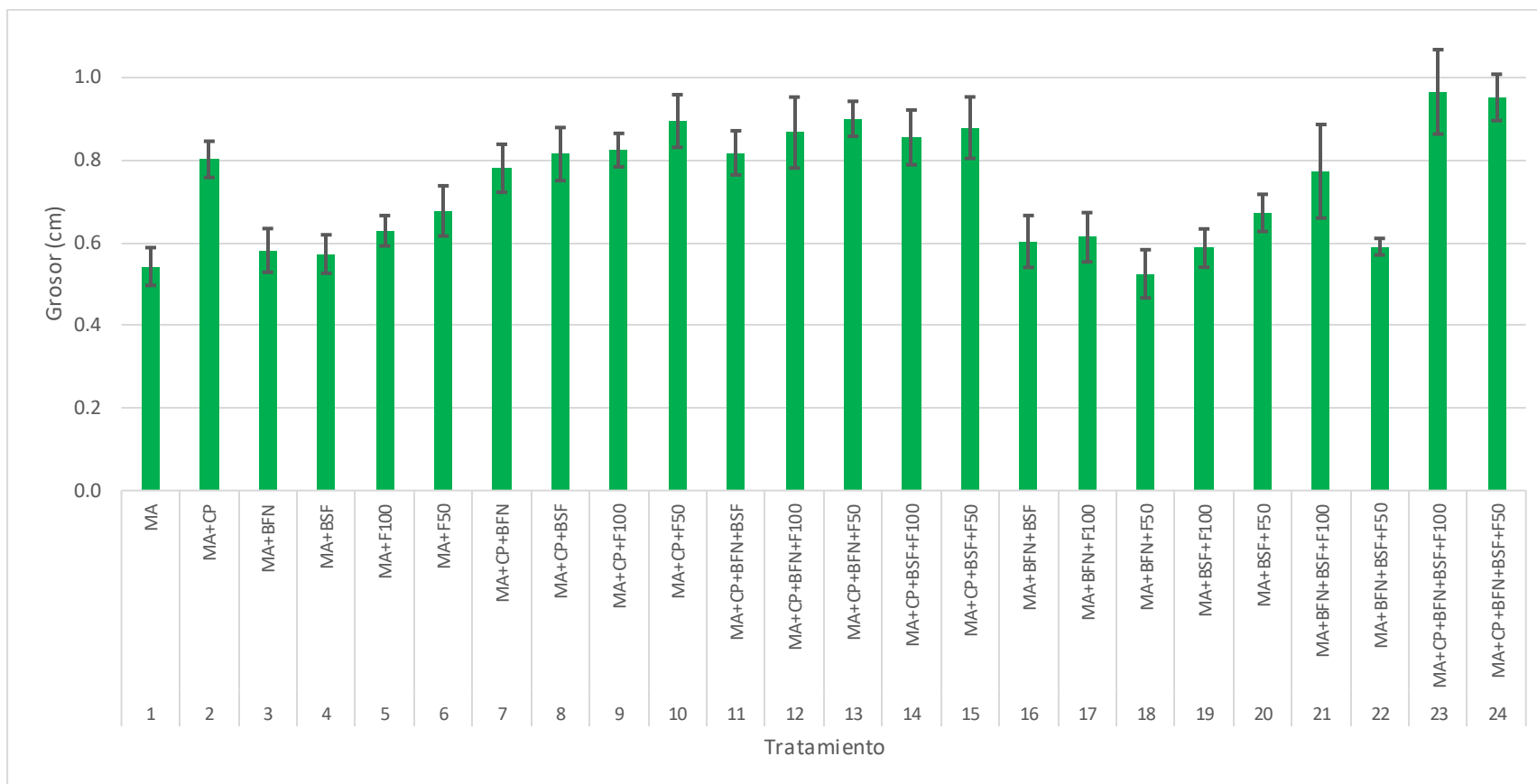


Figura 15. Evaluación de grosor de tallo en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de invernadero. MA=Maíz, CP=Composta, BFN= Bacteria fijadora de nitrógeno, BSF= Bacteria solubilizadora de fosfato, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%

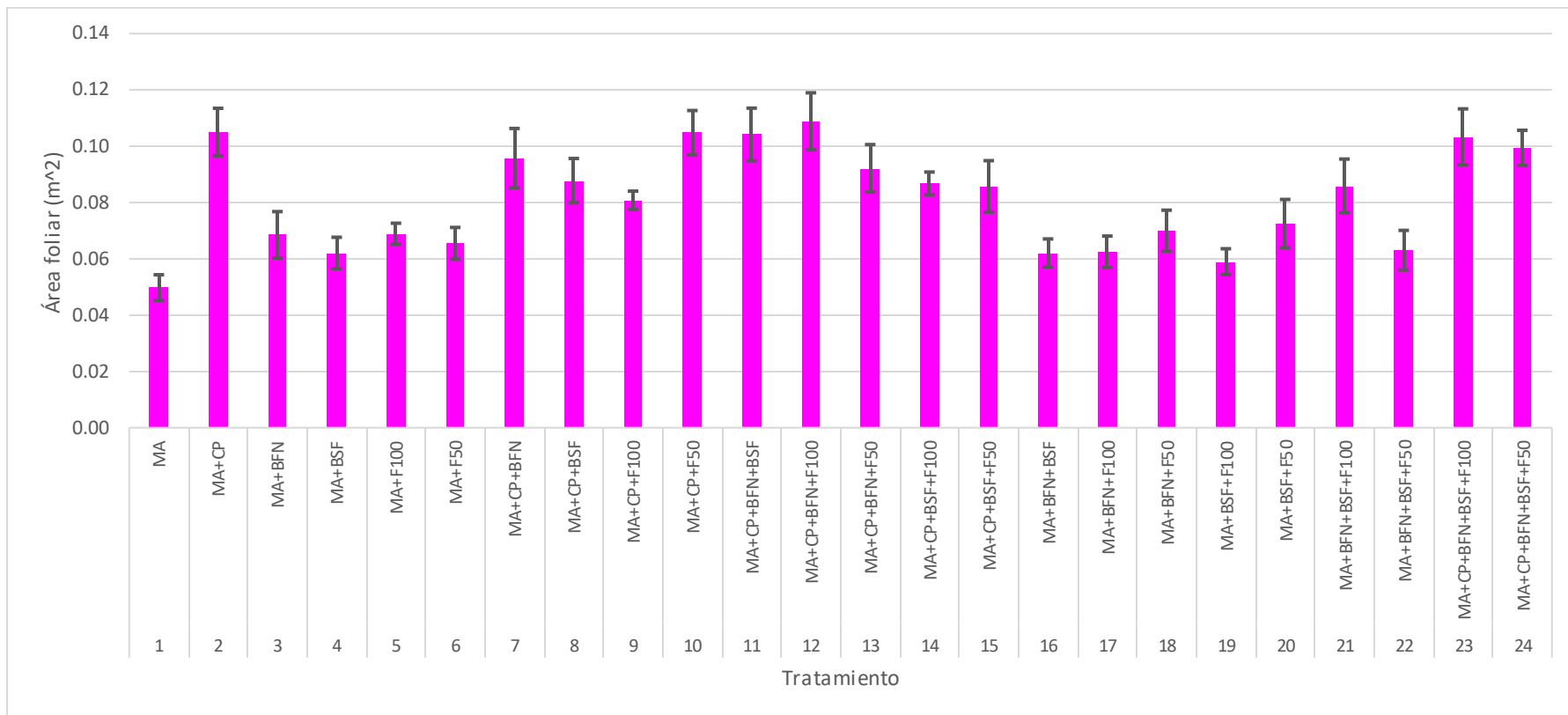


Figura 16. Evaluación de área foliar en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de invernadero. MA= Maíz, CP= Composta, BFN= Bacteria fijadora de nitrógeno, BSF= Bacteria solubilizadora de fosfato, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%

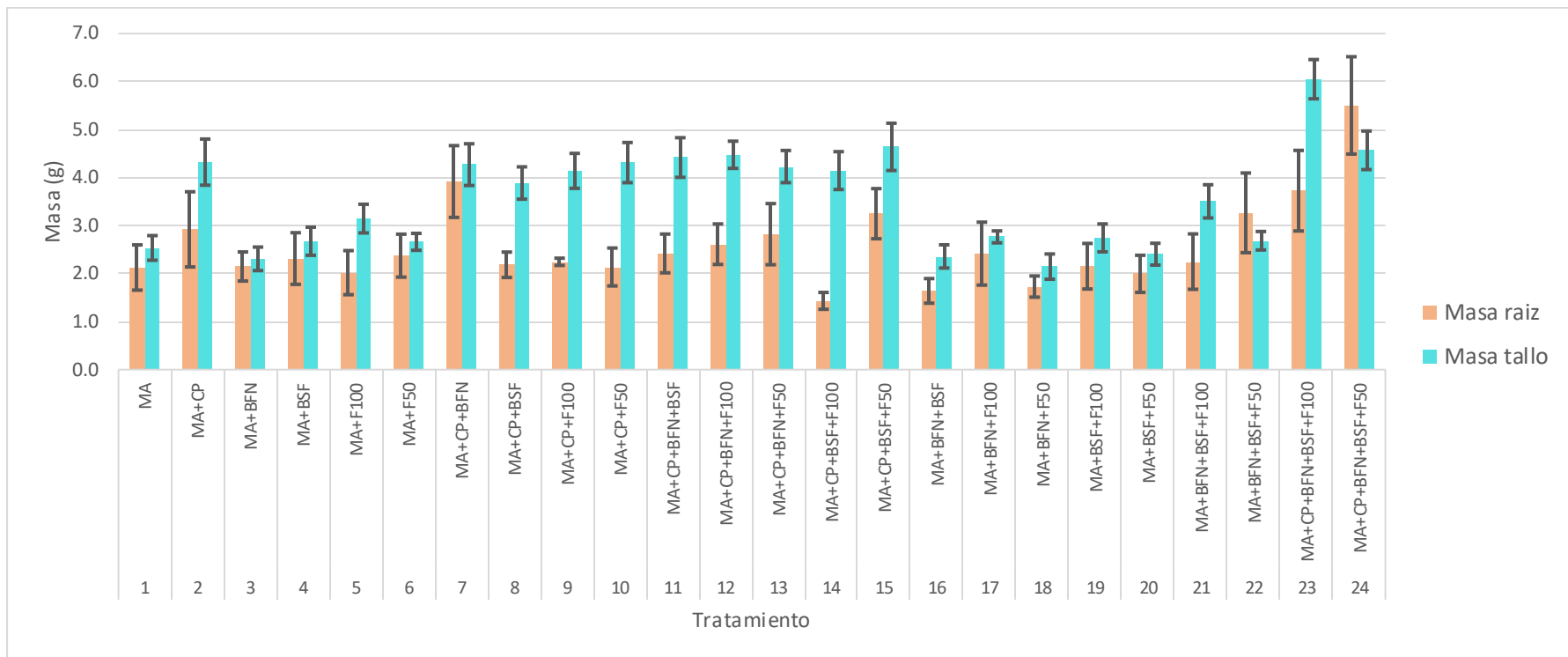


Figura 17. Evaluación de masa seca de tallo y raíz en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de invernadero. MA= Maíz, CP= Composta, BFN= Bacteria fijadora de nitrógeno, BSF= Bacteria solubilizadora de fosfato, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%

## 12.4 Resumen de evaluación en campo

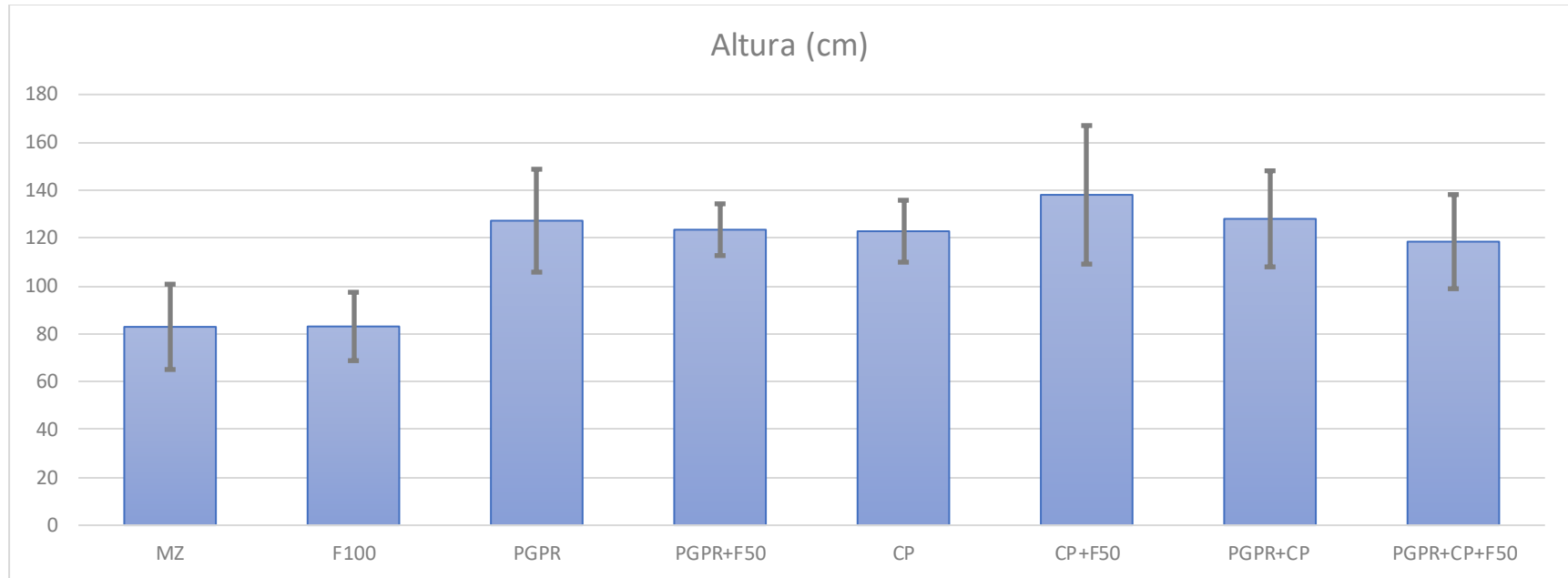


Figura 18. Evaluación de altura en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo. MA= Maíz, CP= Composta, PGPR= Bacterias promotoras del crecimiento vegetal, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%

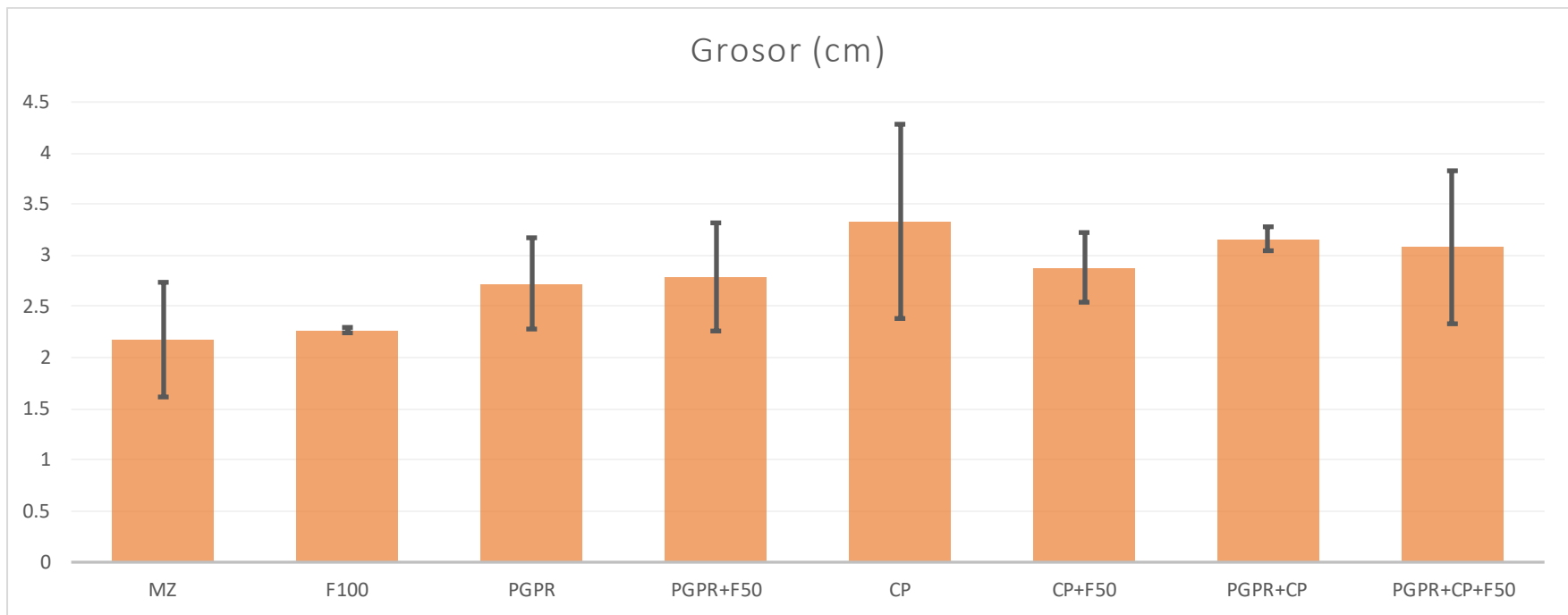


Figura 19. Evaluación de grosor de tallo en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo. MA= Maíz, CP= Composta, PGPR= Bacterias promotoras del crecimiento vegetal, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%

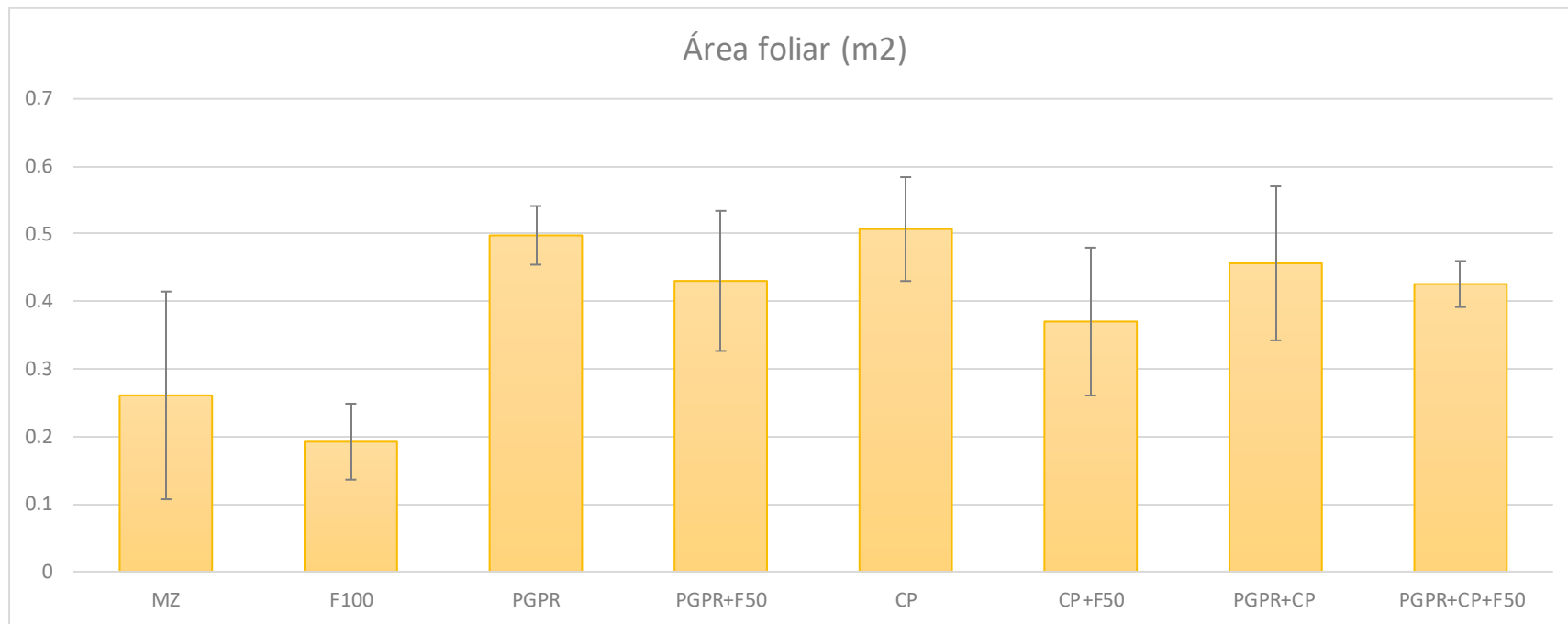


Figura 20. Evaluación de área foliar en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo. MA= Maíz, CP= Composta, PGPR= Bacterias promotoras del crecimiento vegetal, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%

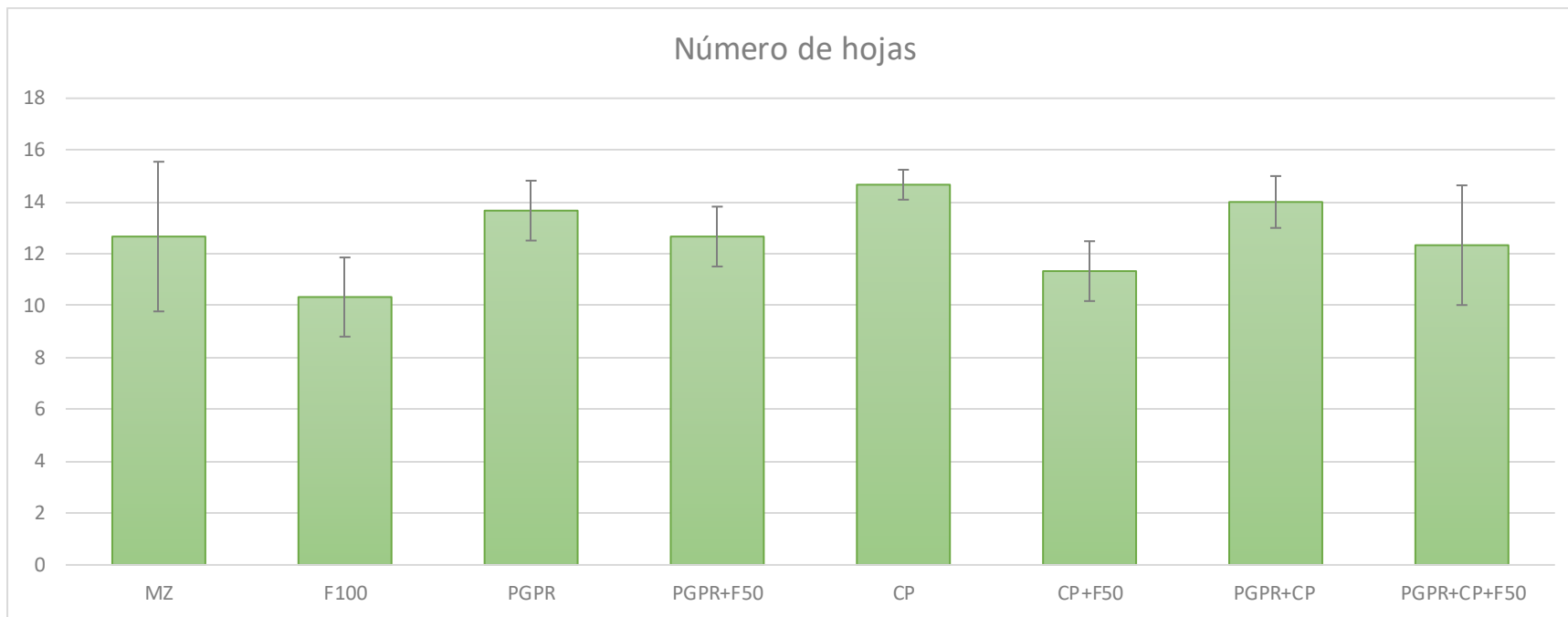


Figura 21. Evaluación de número de hojas en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo. MA= Maíz, CP= Composta, PGPR= Bacterias promotoras del crecimiento vegetal, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%

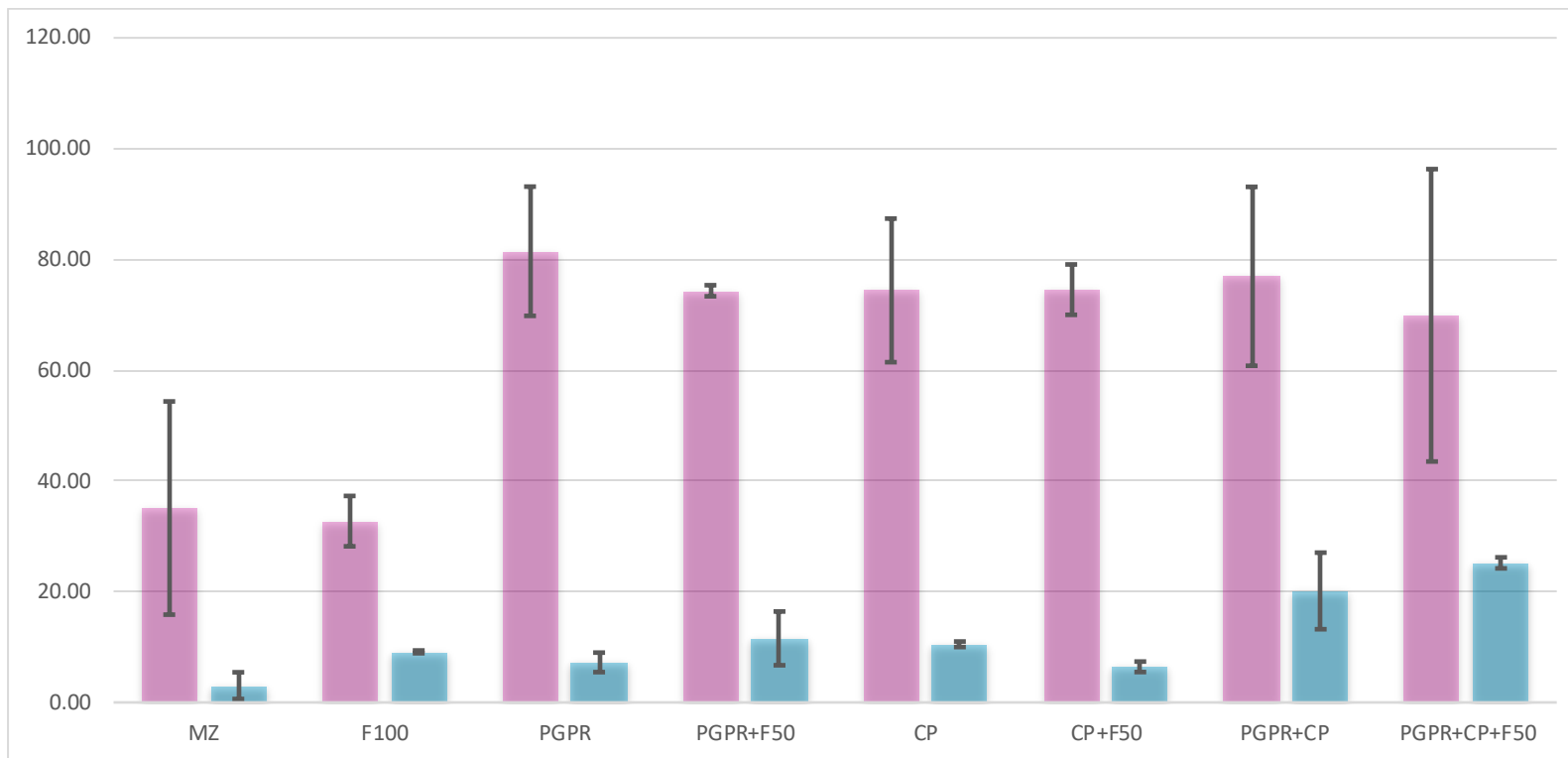


Figura 22. Evaluación de masa seca de tallo (púrpura) y raíz (azul) en plantas de maíz azul en diferentes tratamientos de campo. MA= Maíz, CP= Composta, PGPR= Bacterias promotoras del crecimiento vegetal, F100= Dosis de fertilizante comercial completa, F50= Dosis de fertilizante comercial al 50%



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



*“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”*

**USO SUSTENTABLE DE LA COMPOSTA DE PLUMAS DE AVE Y BACTERIAS PGPR  
PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (ZEA MAYS L.) AZUL**

TESIS

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**María Guadalupe Onofre Gallegos**

Comité tutorial:

Directora	Dra. Lucía López Reyes
Co-Director	MC. Moisés Graciano Carcaño Montiel
Tutora	Dra. Edith Chávez Bravo
Integrante Comité Tutorial	Dr. J Santos Hernández Zepeda
Integrante Comité Tutorial	Dr. Enrique Hipólito Romero

Noviembre 2023