

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación De Biofertilizantes En El Cultivo De Flor De Cempasúchil (*Tagetes erecta*) Bajo Condiciones De Campo Abierto

Por:

MONSERRAT CRUZ LOPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación De Biofertilizantes En El Cultivo De Flor De Cempasúchil (*Tagetes
erecta*) Bajo Condiciones De Campo Abierto

Por:

MONSERRAT CRUZ LOPEZ

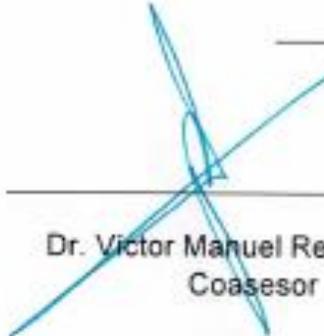
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

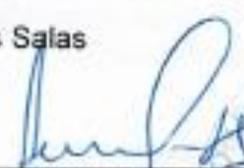
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal


Dr. Víctor Manuel Reyes Salas
Coasesor


M.C. Raúl Alejandro Ramos
Salazar
Coasesor externo


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador de la División de
Agronomía



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación De Biofertilizantes En El Cultivo De Flor De Cempasúchil (*Tagetes erecta*) Bajo Condiciones De Campo Abierto

Por:

MONSERRAT CRUZ LOPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

JURADO EXAMINADOR



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal



Dr. Victor Manuel Reyes Salas
Coasesor



M.C. Raúl Alejandro Ramos
Salazar
Coasesor externo

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2022

I. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme permitido formarme dentro de sus instalaciones como Ingeniera Agrónoma.

Agradezco las enseñanzas y sabidurías de cada uno de los maestros en el transcurso de este trayecto y a cada uno de mis compañeros con los cuales pasábamos horas en la biblioteca haciendo la tarea.

Al **Dr. Alberto Sandoval Rangel**, por su dedicación, tiempo y apoyo durante este trabajo de investigación.

Agradezco a mi madre **Sandra López Martínez** por nunca dejarme sola y apoyarme cuando más lo he necesitado, dándome y llenándome de buenos consejos con sabiduría y amor.

Agradezco a mis hermanas **Itzel, Annette y María del Rosario** por siempre estar al pendiente de mí a pesar de los kilómetros de distancia.

Estoy agradecida con mi abuela **Rosa María** fue la persona que después de mi madre se preocupaba por mí y que en cada una de sus oraciones oraba porque me fuera bien.

Agradezco al **M.C Raúl Alejandro Ramos Salazar** por brindarme la confianza de llevar a cabo esta investigación y por su gran disposición para asesorarme

II. DEDICATORIAS

A mi madre **Sandra López Martínez**, ella me enseñó a nunca darse por vencido y nunca dejar de echarle ganas a pesar de cuán difícil sea la situación en la que te encuentres. Gracias por siempre brindarme tu mano esa que me ayudo a levantarme cada vez más fuerte para seguir echándole ganas a la vida.

A mis hermanas por ayudarme cuando me sentía sola estando lejos de mi casa. Gracias por levantar mis ánimos con videollamadas en esos días donde todo lo veía con oscuridad.

A ti persona especial que nunca me dejo sola y cuidar de mi estos años lejos de casa, siempre estuviste ahí en cada uno de mis fracasos y logros, compartiéndome de tus conocimientos, me alentabas dándome buenos consejos para no rendirme, gracias a ti cada minuto que pase en nuestra Universidad lo disfrute y en esos salones se quedaran grabadas nuestras risas y conocimientos compartidos.

A dios, por darme sabiduría, vida y salud a lo largo de toda mi vida.

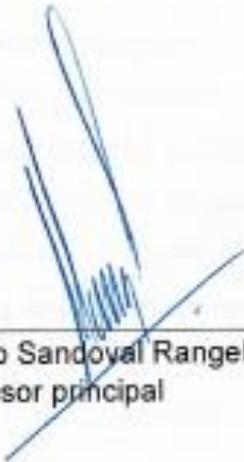
III. DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

La información que se exhibe en esta tesis está protegida por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y es propiedad del autor principal, responsable directo que jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Desarrollo íntegro del trabajo con citas de información incluida de otros autores debidamente identificadas, por lo que no se asume como propias las ideas vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos o digitales; reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original; robar, comprar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; citar textualmente sin usar comillas. Así mismo es de mi conocimiento que el uso para fines como la edición, reproducción, distribución y lucro será perseguido y sancionado por el titular de los Derechos de Autor.

Por ello, afirmo que soy responsable de todo su contenido y asumo, como autor, las consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el presente documento. Declaro que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

ATENTAMENTE

 _____ Monserrat Cruz López Autor principal	 _____ Dr. Alberto Sandoval Rangel Asesor principal
---	---

IV. RESÚMEN

El uso excesivo de fertilizantes químicos convencionales ha ido deteriorando los suelos de uso agrícola, además, el costo de estos se ha ido incrementando, por lo que cada vez se va haciendo menos rentable su uso. Por esto, se han buscado otras alternativas para suplir las necesidades nutrimentales de las plantas y una de estas es el uso de biofertilizantes, como lo son las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) o los lixiviados de lombricomposta, que poseen diversos mecanismos para aportar nutrientes a las plantas. Es por eso que el presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo evaluar tres consorcios de rizobacterias fijadoras de nitrógeno y un lixiviado de lombricomposta sobre los caracteres agronómicos y la producción de dos cultivos de flor de cempasúchil, uno criollo y otro híbrido, en condiciones de campo abierto en Saltillo, Coahuila. En los caracteres agronómicos de las flores criollas, la prueba de comparación de medias de Hotelling arrojó que las plantas inoculadas con las PGPR igualaron al testigo químico, mientras que en las plantas híbridas, todos los tratamientos lograron igualar al testigo químico. En cuanto al contenido de nitrógeno, en el cultivo criollo, al aplicar Lixiviado de lombricomposta, las plantas presentaron un 3.0% mayor contenido de N comparadas con el testigo químico. Por su parte, en las plantas híbridas, aquellas que fueron tratadas con PGPR 1, mostraron valores 9.7% superiores que los encontrados en las plantas testigo. En el rendimiento, solo el tratamiento PGPR 3 logró igualar el rendimiento obtenido con el testigo químico en las plantas criollas, mientras que en las híbridas, todas fueron estadísticamente iguales. El uso de los biofertilizantes basados en PGPR a una concentración de 10^7 UFC mL⁻¹ en el cultivo de flor de cempasúchil criolla igualó al tratamiento químico, mientras que todos los biofertilizantes utilizados igualaron al testigo en el cultivo de flor de cempasúchil híbrido. Por lo que la aplicación de biofertilizantes puede sustituir parcialmente el uso de fertilizantes químicos de base y aun así obtener rendimientos similares, bajo condiciones de campo abierto.

Palabras clave: Biofertilizante, Cempasúchil, PGPR, Lixiviado de lombricomposta.

V. INDICE GENERAL

I.	AGRADECIMIENTOS.....	I
II.	DEDICATORIAS.....	II
III.	DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO	III
IV.	RESÚMEN	IV
V.	INDICE GENERAL	V
VI.	ÍNDICE DE CUADROS	VIII
VII.	INTRODUCCIÓN	1
VIII.	OBJETIVO	2
IX.	HIPÓTESIS.....	2
X.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
	Fertilizantes químicos.....	3
	Flor de Cempasúchil (<i>Tagetes erecta</i>)	4
	Importancia económica	4
	Botánica de la planta	5
	Contenido bioquímico y mineral	6
	Exigencias del Cultivo	7
	Biofertilizantes	8
	Rizobacterias promotoras del crecimiento Vegetal (PGPR)	10
	Rizobacterias Solubilizadoras de Fosforo	11

Rizobacterias fijadoras de Nitrógeno.....	11
Lixiviados de lombricomposta	12
XI. MATERIALES Y MÉTODOS	14
Localización del área de estudio	14
Material vegetativo	14
Descripción de los tratamientos.....	14
Nutrición	15
Poda	15
Control de plagas	15
Parámetros evaluados.....	16
Altura de planta:.....	16
Diámetro de tallo:.....	16
Clorofila:.....	16
Nitrógeno:	16
Diámetro de la flor:.....	16
Rendimiento:.....	16
Longitud de raíz:	16
Biomasa fresca de la planta:.....	16
Biomasa seca:	16
Análisis de datos	17

XII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
Biomasa fresca.....	18
Biomasa seca.....	20
Longitud de raíz.....	22
Diámetro de flor.....	22
Rendimiento.....	22
Altura de planta y diámetro de tallo.....	24
SPAD y contenido de N.....	26
XIII. CONCLUSIONES.....	29
XIV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

VI. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía de la flor de cempasúchil.	6
Cuadro 2. Contenidos de carbohidratos solubles totales (CST), azúcares reductores (AR) y proteínas solubles totales (PST) en extractos acuosos y etanólicos de hoja y flor de <i>Tagetes erecta</i> L (Roca et al., 2009).	7
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos del experimento en el cultivo de flor de cempasúchil.	15
Cuadro 4. Respuesta a las variables de biomasa fresca de flores por planta y biomasa fresca de parte foliar por planta en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.	19
Cuadro 5. Respuesta a las variables de biomasa fresca de raíz por planta y biomasa fresca de pétalos por planta en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.	20
Cuadro 6. Respuesta a las variables de biomasa seca de parte foliar por planta, biomasa seca de raíz por planta y biomasa seca de pétalos por planta en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.	21
Cuadro 7. Respuesta a las variables de longitud de raíz y diámetro de flor en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.	23
Cuadro 8. Respuesta a las variables de flores por planta y rendimiento por hectárea en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.	24

Cuadro 9. Respuesta multivariada de las medidas repetidas en el tiempo en las variables de altura y diámetro de tallo en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.	25
Cuadro 10. Respuesta multivariada de las medidas repetidas en el tiempo en las variables de SPAD y contenido de nitrógeno en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.	26
Cuadro 11. Respuesta multivariada en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.....	27

VII. INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna se ha hecho dependiente de los fertilizantes químicos convencionales, lo que, debido a su excesivo uso, los suelos agrícolas se han ido degradando (Amereshwar-Reddy & Saravanan, 2020). Aunado a esto, estos fertilizantes han visto su precio incrementado en el último año, por lo que es necesario encontrar alternativas para disminuir el uso de este tipo de insumos agrícolas. Una de estas alternativas es el uso de biofertilizantes, como los microorganismos benéficos, que pueden hacer disponibles los minerales del suelo para las plantas (Sharma *et al.*, 2013), o los lixiviados de lombricomposta, que por la presencia de ácidos húmicos, también tiene efecto bioestimulante (Valenzuela, *et al.*, 2020).

La flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) o flor de muerto tiene gran importancia cultural como flor de ornato, ya que forma parte primordial de las festividades del día de muertos. Esta especie se adapta a diversas condiciones de suelo y climáticas (Rodríguez *et al.*, 2010), y por los compuestos fenólicos que produce es tolerante a diversas plagas y enfermedades (Nikkon *et al.*, 2011). En muchos países es utilizada por sus compuestos medicinales, además de que su principal pigmento, la luteína, es utilizada en la industria agroalimentaria (Gopi, *et al.* 2012).

Los biofertilizantes han sido utilizados en distintas variedades de *Tagetes*, en combinación de fertilización química reducida, obteniendo resultados positivos. Resultados como los obtenidos por Ravi y colaboradores (2017 A; 2017 B), que al aplicar biofertilizantes a base de rizobacterias, lograron obtener mayor número de flores por planta, además de que éstas fueron de mayor tamaño, comparadas con las flores que se fertilizaron convencionalmente. Agnadi y colaboradores (2020) aumentaron un 40% la producción de flores totales al aplicar biofertilizantes a base de lombricomposta, hongos micorrícicos arbusculares y rizobacterias, reduciendo así en un 50% el uso de fertilizantes químicos.

Debido a lo anterior, el presente trabajo de investigación tiene como finalidad estudiar la respuesta de un cultivo de cempasúchil ante la aplicación de biofertilizantes, para así poder reducir el uso de fertilizantes químicos convencionales.

VIII. OBJETIVO

Evaluar 3 consorcios de rizobacterias solubilizadoras de P y fijadoras de N, además de un lixiviado de lombricomposta a base de estiércol equino en el cultivo de Cempasúchil (*Tagetes erecta*).

IX. HIPÓTESIS

Al menos un biofertilizante provocará mejor desarrollo de los caracteres agronómicos y rendimiento en el cultivo de *Tagetes erecta*.

X. REVISIÓN DE LITERATURA

Fertilizantes químicos

Los fertilizantes químicos han contribuido positivamente al rendimiento de los cultivos, produciendo un aumento en la producción de alimentos en el mundo. El consumo mundial de fertilizantes fue de 181.9 millones toneladas durante el periodo 2014/2015, representando 102.5 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados, 45.9 millones de toneladas de fertilizantes fosforados y 33.5 millones de toneladas de fertilizantes potásicos (González, 2019).

La agricultura tradicional se basa en la aplicación de fertilizantes minerales solubles en agua obteniendo así mayores rendimientos, sin embargo, la aplicación excesiva de estos resultó en: eutrofización, contaminación de las aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación de la tierra y los ecosistemas, desequilibrios biológicos y pérdida de biodiversidad. Teniendo en cuenta que las plantas pueden absorber del 30% al 50% de los fertilizantes químicos el resto se pierde en el suelo (Pastor *et al.*, 2022).

El nitrógeno es uno de los principales nutrientes y la principal limitación del rendimiento de los cultivos hortícolas, es un bloque de construcción de enzimas, proteínas, ADN y clorofila, los principales efectos del uso de nitrógeno son la eutrofización, la acidificación y la toxicidad. Para que pueda ser utilizado en los procesos metabólicos de las plantas, el nitrógeno debe de estar en forma de nitratos o de amonio (Navarro & Navarro, 2014).

Por su parte, el fósforo es esencial para el desarrollo adecuado de las plantas, ya que es uno de los constituyentes principales de los sistemas de captación, almacenamiento y transferencia de energía, además es componente de macromoléculas como los ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que participa en todos los procesos fisiológicos en las plantas (Fernández, 2007).

Flor de Cempasúchil (*Tagetes erecta*)

Cempasúchil proviene del idioma Náhuatl, significando “veinte flores”, es una flor que tiene su centro de origen en México y es de gran importancia para la cultura mexicana, ya que se utiliza como decoración principal en la festividad del día de muertos. En otros países se utiliza en la fabricación de insecticidas, además de aprovechar sus propiedades médicas (Barajas-Rodríguez et al., 2021a).

Es utilizada para la prevención de enfermedades como la disminución de cólicos estomacales, antiemético, antidiarreico y para prevenir la indigestión. También se utiliza para la obtención pigmentos naturales para la industria alimentaria (Del Villar et al., 2007). Uno de los principales usos es pigmentar la piel en pollos de engorda a través de su ingesta en el alimento (Serrato, 2022).

Todas las especies de Cempasúchil se reproducen por semilla ya sea en suelo o maceta, y se siembra de preferencia entre junio y julio. Para sembrar especies silvestres se debe utilizar semilla no mayor de seis a ocho meses de cosecha. Actualmente se conocen 58 especies en el continente americano, de ellas, en México contamos con alrededor de 30. Las especies silvestres no son muy conocidas, pero todas son aromáticas y de vistosos colores (Barajas-Rodríguez et al., 2021b).

Importancia económica

Los principales productores de flor de cempasúchil a nivel mundial son China, India y Perú, que poseen un 70%, 25% y 5% de la producción mundial, respectivamente (Heraldo, 2019). Actualmente México se encuentra como el cuarto productor mundial de flor de cempasúchil, aunque el total de su producción se destina a uso ornamental (Vázquez, 2016). Los principales

estados productores son Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Puebla.

En México, su comercialización se realiza casi exclusivamente para la celebración del día de muertos, donde el 86% de las ventas se dedican para adornar los altares de muertos y el resto para adornar las tumbas en los panteones. Actualmente la flor no se comercializa en otra época del año (Barajas-Rodríguez et al., 2021a).

La preferencia de los consumidores varía para la selección de la flor; el 30% toma en cuenta el aroma de la flor, el 50% el tamaño del ramo y precio, además el 83% argumenta que están dispuestos a pagar un precio de entre MXM\$15 y MXM\$20 (equivalente a US\$0.75-1.0) por un ramo de flores. La forma de venta se realiza de manera directa y un intermediario en algunos casos, el 42% indicó que el día primero de noviembre bajan las ventas, mientras que el 35% mencionó que la venta finaliza el día dos de noviembre (Barajas-Rodríguez et al., 2021a).

Botánica de la planta

Las flores de *Tagetes erecta* son inflorescencias de tonos anaranjados, amarillos y rojos. La inflorescencia tiene capítulos con muchas flores individuales (de 60 a 400). Estas flores pueden o no tener lígulas o pétalos (pétalos o apétalos). En el caso de *T. patula*, los capítulos tienen lígulas con el limbo elíptico de 8 a 18 mm de largo y 6 a 10 mm de ancho; las flores con forma de disco son de 12 a 40 mm, y las tubulares de 10 a 15 mm de largo (Quintanilla Carvajal et al., 2015).

Al conjunto de inflorescencia también es conocido como cimoso; siempre con pedúnculo y con glándulas oleíferas en la parte externa del involucre; en la base de la cabezuela por lo general se forman brácteas reducidas; este puede ser cilíndrico a semiesférico; brácteas en 1 a 3 hileras, libres a fusionadas el

receptáculo floral plano a cónico, no tiene páleas; las flores individuales radiales frecuentemente con lígulas de tipo pistilado (androestériles), color amarillo, anaranjado y blancas; las flores individuales del disco floral sin lígula, son hermafroditas y las corolas rudimentarias presentan color amarillo; aquenios de forma prismática a cilíndrica; vilano de cerdas, excepcionalmente ausente (Serrato, 2014).

Las semillas son de color negro con puntas acuminadas, unidas entre sí, presentan un tamaño de 7 a 10 mm y cada botón floral puede producir hasta 2 gramos de semilla.

Cuadro 1. Taxonomía de la flor de cempasúchil.

Taxonomía	
Nombre científico	<i>Tagetes erecta</i> Linn.
Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta
Familia	Asteraceae
División	Magnoliophyta
Superdivisión	Spermatophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Asterales

Contenido bioquímico y mineral

Los extractos de *Tagetes erecta* tienen presencia de compuestos bioquímicos tales como flavonoides, terpenoides, taninos, saponinas, glucósidos cardiotónicas, así como cumarinas, estos compuestos son considerados agentes antioxidantes, por lo que los extractos tienen potencial de ser utilizados en el tratamiento de diversas enfermedades como arteriosclerosis, además de

ser utilizado como antiinflamatorio, anticancerígeno, así como disminuir los niveles de colesterol (Ministerio de Educación Superior de Cuba, 2019).

Las cumarinas y sus derivados bioactivos son compuestos que presentan diversas propiedades farmacológicas, estos metabolitos poseen actividad antioxidante, anticancerígena, antiinflamatoria, antimicrobiana y anticoagulante.

Cuadro 2. Contenidos de carbohidratos solubles totales (CST), azúcares reductores (AR) y proteínas solubles totales (PST) en extractos acuosos y etanólicos de hoja y flor de *Tagetes erecta* L (Roca et al., 2009).

	CST (mg mL ⁻¹)	AR (mg mL ⁻¹)	PST (mg mL ⁻¹)
Flor (etanólico)	7.32	0.86	1.48
Flor (acuoso)	1.71	0.094	0.36
Hoja (etanólico)	2.50	2.66	13.57
Hoja (acuoso)	0.94	0.23	1.60

Exigencias del Cultivo

La flor de cempasúchil se caracteriza por tener un fotoperiodo largo, por lo que su floración se prolonga, cuando el fotoperiodo es corto, la floración se adelanta. La semilla germina de 5 a 8 días después de la siembra si la temperatura del sustrato fluctúa de 21 y 24 °C (Sakata, 2022). Sin embargo, cuando la siembra se hace en charolas germinadoras y se cubre con plástico, la germinación puede llevar 2 o 3 días. Primeramente, emergen las hojas cotiledóneas y posteriormente el primer par de hojas verdaderas (Jaulis C. & Pacheco, 2015).

Al mes de siembra, aproximadamente, las primeras horas verdaderas totalmente expandidas se desarrollan, y una vez alcanzando este estado, las plántulas se pueden llevar a campo o a maceta. Para la obtención de flores para las festividades del día de muertos, la siembra de semillas de *T. erecta* se hace el 24 de junio y el transplante un mes después. Hay regiones donde la siembra se hace al voleo directamente en campo abierto, como lo son la Huasteca Hidalguense y Potosina (Jaulis C. & Pacheco, 2015).

El cultivo de *Tagetes erecta* es sensible a la toxicidad por hierro y a un pH inferior a 5.8, y los síntomas que presenta incluyen la presencia de hojas inferiores amarillentas con quemadura en los bordes, por lo que el pH óptimo para su desarrollo es de 6.5 a 7.5, además de preferir suelos relativamente pesados con texturas franco-arcillosas, donde produce mayor cantidad de flores y de mayor tamaño, en comparación a las producidas en suelos más ligeros y arenosos (Serrato, 2014).

Los niveles nutricionales en el suelo deben ser moderados en las etapas iniciales, necesitando 40-80 ppm de nitrógeno, 25-60 ppm de fósforo, 250-400 ppm de potasio, 2,500-3,500 ppm de calcio y 300—350 ppm de magnesio. Después del transplante, se debe de fertilizar durante las primeras seis semanas con una fórmula balanceada basada en nitrato de calcio, para después incrementar la dosificación de potasio. Una baja fertilización da como resultado plantas y flores de menor tamaño, mientras que el exceso de fertilización da como resultado un crecimiento excesivo y la producción de menos flores. El cultivo de *Tagetes erecta* es muy sensible a las deficiencias de calcio y boro, ya que el calcio promueve las células fuertes y reduce la rotura del cáliz, y el boro promueve el tejido fuerte en xilema y floema (Sakata, 2022).

Biofertilizantes

La palabra biofertilizante proviene del prefijo “bio” que significa vida y la palabra fertilizante, que tiene como significado hacer que la tierra sea fértil, por

lo que los biofertilizantes son sustancias orgánicas con origen en organismos vivos que ayudan a dar la fertilidad a los suelos (Guzman, 2018).

Son fertilizantes orgánicos naturales que van a ayudar a las plantas proporcionando los nutrientes necesarios para su desarrollo, además de mejorar la calidad del suelo, creando un ambiente microbiológico natural (FAO, 2018). Actualmente hay voces que dicen que sólo los productos que contienen bacterias u hongos micorrícicos capaces de fijar nitrógeno o solubilizar fósforo se consideran biofertilizantes. SAGARPA los define como “Bioinoculantes, inoculantes microbianos o inoculantes del suelo: productos agro-biotecnológicos que contienen microorganismos vivos o latentes (bacterias u hongos, solos o combinados) que son agregados a los cultivos agrícolas para estimular su crecimiento y productividad”. La FAO extiende la definición a aquellos que se obtienen a partir de organismos vivos, incluyendo también a las plantas y animales (Guzman, 2018). Los biofertilizantes son considerados un grupo de inoculantes microbianos (Bashan y Holguin 1998) y también pueden ser referidos como bioestimulantes (Calvo et al., 2014).

Los microorganismos que intervienen en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, tienen un mecanismo que reducen por vía enzimática el nitrógeno atmosférico (N_2) y lo convierten en amonio (NH_4). Se pueden clasificar en dos grupos, el primero a los microorganismos (bacterias, hongos y algas) que fijan el nitrógeno de forma no asociativa o simbiótica y el segundo a aquellos que forman relaciones simbióticas con plantas. La simbiosis más productiva en la fijación de nitrógeno es aquella formada por bacterias del género *Rhizobium* y leguminosas (Guzmán, 2018).

Entre los microorganismos que solubilizan el fósforo para que las plantas lo aprovechen, los más importantes son los hongos micorrícicos arbusculares, que presentan una asociación simbiótica con las plantas, ya que mientras ellos proporcionan el fósforo para su aprovechamiento, las plantas les suministran fuentes de carbono que el hongo necesita para su desarrollo (Guzman, 2018).

Rizobacterias promotoras del crecimiento Vegetal (PGPR)

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal o PGPR (por sus siglas en inglés de Plant Growth Promotin Rhizobacteria), son bacterias vivas presentes en la rizósfera de las plantas que promueven el crecimiento de las plantas mediante distintos mecanismos (Labra-Cardón, *et al.*, 2012).

Los mecanismos de las PGPR que pueden influir en el metabolismo vegetal incluyen a la fijación del nitrógeno atmosférico, síntesis de fitohormonas como auxinas, giberelinas y citocininas, solubilización de fósforo inorgánico y mineralización de fósforo orgánico, oxidación de sulfuros, reducción de la toxicidad por metales pesados, protección contra fitopatógenos, entre otros (Reyes, 2019).

Las PGPR se pueden clasificar como biofertilizantes ya que actúan como fuente de nutrición vegetal, ya que enriquecen los suelos al reponer o reconstruir el ciclo de nutrientes entre el suelo, raíces y microorganismos presentes en la rizósfera (Vejan, *et al.*, 2016).

Las PGPR han sido utilizadas mundialmente como biofertilizantes y éstas han contribuido al incremento de rendimientos de cultivos agrícolas, así como a coadyuvar a la fertilidad del suelo. El uso de PGPR como fertilizantes comerciales comenzó por la empresa norteamericana basada en Milwaukee, Wisconsin “The Nitragin Company”, utilizando bioformulados a base de *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum* (Khalid, *et al.*, 2009).

Los géneros *Azotobacter* y *Bacillus* han sido utilizados a gran escala en Rusia y Europa del este, mejorando la producción de los cultivos. En la antigua Unión Soviética se utilizó masivamente el biofertilizante Fosfobactericina, a base de *Bacillus megaterium* var. *Phosphaticum* impregnado con Kaolinita incrementando hasta en un 70% la producción de cultivos agrícolas (Alfonso, *et al.*, 2009).

El potencial de las PGPR ha contribuido al desarrollo de la agricultura sustentable y sostenible, por lo que su utilización en sistemas de producción emerge como una alternativa para reducir los costos de producción asociados al uso de fertilizantes químicos convencionales, además de tener un impacto ambiental al reducir el uso de estos (Alfonso, *et al.*, 2009).

Rizobacterias Solubilizadoras de Fosforo

El mecanismo de acción de las PGPR solubilizadoras de fósforo se basa en la disolución de éste mineral por la producción y liberación de ácidos orgánicos al suelo, como el malonato, succinato y gluconato, cuando éstos ácidos se liberan en la rizósfera, acidifican el medio y aumentan directamente la solubilidad del fósforo (Hariprasad y Niranjana, 2009).

La mineralización del fósforo inorgánico, por su parte, se lleva a cabo por procesos enzimáticos, ya que al liberar enzimas como las fosfatasas o fitasas, moléculas como fosfoésteres o ácido fítico se desfosforilan, liberando la máxima cantidad de grupos libres de fosfato. También las enzimas fosfonatasa y CP-Liasa se involucran en el rompimiento de los enlaces Carbono-Fósforo presentes en la materia orgánica (Roca, *et al.*, 2009).

Algunas de los géneros estudiados que solubilizan el fósforo en la rizósfera son las *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus* y *Flavobacterium* (Pérez, *et al.*, 2009).

Rizobacterias fijadoras de Nitrógeno

Las rizobacterias fijadoras de nitrógeno utilizan como energía el carbono proporcionado por las plantas, y éstas a su vez convierten el nitrógeno atmosférico en amoníaco mediante el complejo enzimático nitrogenasa, constituido por dos metaloproteínas: hierro-molibdeno-proteína y hierro-proteína,

además se requiere de la colaboración de la ferredoxina y avodoxina, que actúan como donadores de electrones y reductores naturales de la nitrogenasa. Los electrones son transportados a la nitrogenasa por la ferredoxina y llegan a la Fe-proteína, ésta activa a la Fe-Mo-proteína y se produce la reducción de N₂, siendo luego fijado como compuesto aminado, la fijación biológica de N₂ reduce el problema de pérdida de nitrógeno en comparación con los fertilizantes de nitrógeno reactivo, ya que al producirse dentro de organismos vivos el N fijado es asimilado rápidamente en constituyentes celulares (Reyes, 2019).

Se conoce un gran número de bacterias de vida libre o asociativas que fijan el nitrógeno atmosférico, algunas tienen potencial para ser utilizadas como biofertilizantes, los géneros más utilizados son *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia* y *Pseudomonas* (Guzman, 2018).

Las estimaciones de fijación biológica de nitrógeno por éste tipo de bacterias en el suelo y en residuos vegetales oscilan generalmente entre 1 y 10 kg N ha⁻¹ año⁻¹, en sistemas naturales el rango es inferior a estas estimaciones, uno de los géneros más estudiados es el *Rhizobium*, bacterias que en simbiosis con leguminosas llegan a fijar hasta 200 kg N ha⁻¹ al año (Reyes, 2019).

Lixiviados de lombricomposta

El lixiviado de lombricomposta, también llamado humus líquido o té de lombricomposta es un biofertilizante utilizado para mejorar el desarrollo de las plantas, se utiliza de manera foliar así como fertilizante de riego.

Si se aplica en hortalizas y frutales, da como resultado un aumento de la cosecha, si lo aplicamos en plantas ornamentales del jardín, encontraremos en poco tiempo hojas más sanas con un mayor crecimiento y floración. El lixiviado de lombricomposta es un bioestimulante que contiene ácidos húmicos, los cuales se encuentran en estado sólido. El humus líquido de lombriz ayuda a la creación

de micorrizas que protegen olivos, almendros y cultivos frutícolas de patógenos como el *Verticillium* (SAGARPA, 2022).

El lixiviado de lombricomposta aporta microorganismos benéficos para el suelo y las plantas, además aporta ácidos húmicos, ricos en nitrógeno y carbono. Éstos mejoran la estructura del suelo y aumenta la permeabilidad de las membranas. También tienen efecto enraizador, mejora la retención hídrica, y puede ayudar a combatir plagas que ataquen a la planta (Punde & Ganorkar, 2012; Valenzuela, et al., 2020).

Por otra parte, el lixiviado de lombricomposta tiene efectos considerablemente más visibles y rápidos que los efectos de la lombricomposta sólido, ya que los microorganismos penetran con mayor factibilidad en la tierra y el suelo, además provocan que se reproduzcan con rapidez (De la Mora, *et al.*, 2016).

XI. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

La investigación se realizó en los campos del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son 25°27' latitud norte y 101°02' longitud oeste a una altura de 1610 msnm. Se caracteriza por un clima semi-seco, templado durante la mayor parte del año, durante las estaciones de primavera y verano se encuentra su temporada de lluvias, con una precipitación media anual de 400 a 500 mm.

Material vegetativo

Se utilizaron de semillas de flor de cempasúchil proporcionadas por productores de la comunidad de Atlixco, en el estado de Puebla, además de semillas híbridas de la variedad Marigold Big Duck Orange. Se sembraron en charolas de poliestireno con 200 cavidades, se colocó una semilla en cada cavidad, se utilizó como sustrato una mezcla de peat-moss con perlita a una proporción 1:1. Se realizó el transplante el día 15 de agosto en camas de 30 cm de ancho por 40 m de largo a una distancia de 10 cm entre plantas.

Descripción de los tratamientos

Se realizó un experimento bajo un diseño de Bloques completos al azar, evaluando 5 tratamientos (Tabla 1) con 3 repeticiones por tratamiento, con 3 plantas por repetición. Los tratamientos fueron proporcionados por el departamento de horticultura de la UAAAN. El testigo químico se aplicó a la base de la planta y se aporcó, mientras que los biofertilizantes se aplicaron vía drench.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos del experimento en el cultivo de flor de cempasúchil.

Tratamiento	Descripción	Dosis
T1	Testigo químico Compo Expert	250 kg/ha
T2	Consortio de PGPR 1	50 L Ha ⁻¹ [10 ⁷ UFC.ml ⁻¹]
T3	Consortio de PGPR 2	50 L Ha ⁻¹ [10 ⁷ UFC.ml ⁻¹]
T4	Consortio de PGPR 3	50 L Ha ⁻¹ [10 ⁷ UFC.ml ⁻¹]
T5	Lixiviado de lombricomposta	50 L Ha ⁻¹ (Mesías Álava, 2019)

Nutrición

La nutrición será complementaria por medio del sistema de riego, tomando en cuenta la fertilización recomendada por ACEA para el cultivo de crisantemo, sin embargo, esta fertilización fue reducida en Fósforo y Nitrógeno.

Poda

A las plantas criollas se les hizo una poda de formación un mes después del trasplante, y a las plantas híbridas se les quitó el botón principal 5 semanas después del trasplante.

Control de plagas

Se aplicó sulfato de cobre a una concentración de 1 g L⁻¹ cada 15 días, alternando con Macozeb a una concentración de 1.6 g L⁻¹ cada 15 días, para que fuera una aplicación de producto cada 8 días.

Parámetros evaluados

Altura de planta: se utilizó flexómetro marca Toolcraft, midiendo cada 8 días desde la base de la planta.

Diámetro de tallo: se midió con vernier digital marca Atron MOD30401001, cada 8 días en el cuello de la planta.

Clorofila: se realizó con un medidor de clorofila portátil de plantas marca MaquiGra cada 15 días.

Nitrógeno: se realizó con un probador profesional de contenido de nitrógeno para plantas marca MaquiGra cada 15 días.

Diámetro de la flor: se evaluó con ayuda de un vernier digital marca Atron MOD30401001 al momento de la cosecha.

Rendimiento: se evaluó como número de flores por hectárea.

Longitud de raíz: se midió con ayuda de flexómetro marca Toolcraft, al momento de la cosecha.

Biomasa fresca de la planta: la planta se seccionará en las partes principales (raíz, parte foliar y flores) y se tomó el peso de la biomasa fresca con ayuda de una balanza digital en el lugar de la experimentación.

Biomasa seca: para determinar el peso seco, las muestras se secaron en un invernadero durante 15 días hasta eliminar por completo la humedad y posteriormente se volvió a pesar.

Análisis de datos

A las variables de biomasa seca y fresca, así como el diámetro y tamaño de flor se les aplicaron un análisis de varianza; a la variable de rendimiento se aplicó un análisis de covarianza, tomando como co-variable el número de plantas macho por repetición. Todas las anteriores fueron sometidas a una prueba de comparación de medias de LSD de Fisher ($p > 0.05$). Las variables SPAD, contenido de nitrógeno, altura y diámetro de tallo, fueron sometidas a un análisis de varianza multivariado, tomando en cuenta todas las mediciones obtenidas, y se hizo una prueba de comparación de suma de medias de Hotelling ($p > 0.05$), así mismo esta misma prueba se realizó tomando en cuenta todas las variables agronómicas. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat, versión 2016.

XII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los análisis realizados, a continuación, se describen los resultados obtenidos de cada una de las variables estudiadas, con la finalidad de interpretarlos en relación con la problemática planteada con la hipótesis y objetivos planteados en el presente trabajo de investigación.

Biomasa fresca

En el cuadro 4 se observa que en la variable biomasa fresca por flor, los biofertilizantes utilizados no muestran una diferencia significativa comparado con el testigo, tanto en la variedad criolla como en la híbrida, sin embargo, en los cultivares criollos, las plantas inoculadas con el consorcio PGPR 3, fue superior a los otros cultivares inoculados con los biofertilizantes restantes, siendo superior en un 31.1% con el PGPR 1, 38.6% con el PGPR 2 y 51.4% con las plantas inoculadas con el lixiviado de lombricomposta. En cuanto a la biomasa fresca de la parte foliar, nuevamente las plantas inoculadas con los biofertilizantes no muestran diferencia significativa con el testigo químico, pero nuevamente, en las flores criollas hay diferencia entre los tratamientos, siendo los tratamientos PGPR 2 y PGPR 3 superiores a las plantas tratadas con el lixiviado de lombricomposta, presentando un valor 55.5% y 32.3% mayor, respectivamente.

La biomasa fresca de raíz y de pétalos se presenta en el cuadro 5. En las plantas criollas, la respuesta de la biomasa fresca de raíz ante la inoculación de biofertilizantes fue negativa, ya que ante la inoculación de PGPR 1, PGPR 3 y lixiviado de lombricomposta, las plantas presentaron menor peso en su raíz (40.8%, 39.1% y 69.9% menos peso, respectivamente), mientras que en las flores híbridas, aquellas inoculadas con las PGPR 3, mostraron diferencia significativa comparadas con las flores testigos, al presentar un 60.8% más contenido de biomasa fresca en sus raíces. La respuesta de las flores en su

biomasa fresca de pétalos, ante la aplicación de biofertilizantes, no muestra diferencias significativas entre los tratamientos comparados con el testigo químico, pero nuevamente, si hay diferencias entre ellos, siendo las plantas inoculadas con PGPR 3 las que presentan mayor biomasa fresca en pétalos frente a PGPR 1 (33.0%), PGPR 2 (45.1%) y al lixiviado de lombricomposta (48.9%) en la variedad criolla y en la variedad híbrida siendo un 18.2% mayor que el tratamiento de lixiviado de lombricomposta.

Castro-Barquero y colaboradores (2015) encontraron que al aplicar biofertilizantes con bacterias fijadoras de nitrógeno, la biomasa fresca se ve incrementada. Los resultados obtenidos no son del todo concordantes, ya que no en todos los órganos se vio incrementada la biomasa fresca.

Cuadro 4. Respuesta a las variables de biomasa fresca de flores por planta y biomasa fresca de parte foliar por planta en el cultivo de dos variedades de Flor de campasúchil con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	BFF (g)		BFFo (g)	
	Criollo	Híbrido	Criollo	Híbrido
Testigo Químico	89.44 ab	112.67 a	165.56 ab	103.11 a
PGPR 1	79.33 b	113.67 a	163.56 ab	101.44 a
PGPR 2	75.33 b	106.67 a	197.11 a	100.44 a
PGPR 3	104.00 a	119.33 a	167.78 a	109.56 a
Lixiviado de lombricomposta	68.67 b	109.67 a	126.78 b	99.22 a

BFF=Biomasa fresca de flores por planta, BFFo=Biomasa fresca de parte foliar por planta. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p>0.05$, prueba de LSD Fisher).

Cuadro 5. Respuesta a las variables de biomasa fresca de raíz por planta y biomasa fresca de pétalos por planta en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	BFR (g)		BFP (g)	
	Criollo	Híbrido	Criollo	Híbrido
Testigo Químico	38.33 a	25.22 b	58.44 ab	77.00 ab
PGPR 1	27.22 b	23.22 b	52.11 b	78.22 ab
PGPR 2	29.33 ab	32.89 ab	47.78 b	69.00 b
PGPR 3	27.56 b	40.56 a	69.33 a	81.56 a
Lixiviado de lombricomposta	22.56 b	32.56 ab	45.55 b	76.44 ab

BFR=Biomasa fresca de raíz por planta, BFP=Biomasa fresca de pétalos por planta. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p>0.05$, prueba de LSD Fisher).

Biomasa seca

En el cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos en las variables de biomasa seca de los diferentes órganos. En la biomasa seca de la parte foliar, las plantas inoculadas con los biofertilizantes no presentaron diferencias estadísticas con el testigo químico, solamente existieron diferencias en las plantas criollas entre el PGPR 2 y PGPR 3 con el Lixiviado de lombricomposta, ya que fueron superiores en un 26.0% y 18.7%, respectivamente. En la biomasa seca de raíz, en las plantas criollas, los tratamientos no tuvieron efecto significativo, mientras que en los híbridos, el tratamiento PGPR 3 presentó un 84.3% más biomasa que el testigo químico. En la biomasa seca de pétalos, en las flores criollas a las que se les aplicó el biofertilizante PGPR 1 fue el único que

presentó diferencias significativas frente al testigo químico, al ser 19.3% menor que éste. Por otra parte los híbridos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Sosa-Pech y colaboradores (2019) encontraron que las bacterias fijadoras de nitrógeno puede aumentar la biomasa seca en distintos cultivos, en la presenta investigación la biomasa seca se vio igualada a la fertilización química con la aplicación de biofertilizantes.

Cuadro 6. Respuesta a las variables de biomasa seca de parte foliar por planta, biomasa seca de raíz por planta y biomasa seca de pétalos por planta en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	BSFo (g)		BSR (g)		BSP (g)	
	Criollo	Híbrido	Criollo	Híbrido	Criollo	Híbrido
Testigo						
Químico	46.44 ab	33.78 a	27.11 a	12.78 b	17.22 ab	20.44 a
PGPR 1	46.89 ab	34.00 a	18.00 a	12.00 b	14.44 c	20.22 a
PGPR 2	51.67 a	37.56 a	18.56 a	19.22 ab	15.89 abc	19.33 a
PGPR 3	48.67 a	34.11 a	17.67 a	23.56 a	17.67 a	20.33 a
Lixiviado de lombricomposta	41.00 b	33.44 a	15.22 a	19.33 ab	15.44 bc	20.56 a

BSFo=Biomasa seca de parte foliar por planta, BSR= Biomasa seca de raíz por planta, BSP=Biomasa seca de pétalos por planta. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p>0.05$, prueba de LSD Fisher).

Longitud de raíz

El cuadro 7 presenta los datos obtenidos en las variables de longitud de raíz y diámetro de tallo, donde en la primera variable, no hubo diferencias significativas entre tratamientos tanto en las plantas criollas, como en las híbridas.

Morais *et al.* (2020) mostraron que los biofertilizantes con bacterias fijadoras de nitrógeno, pueden producir ácido Indol-3-acético, o moléculas similares, lo que promueve la elongación radical.

Diámetro de flor

Mientras que en la variable diámetro de flor, también presentado en el cuadro 7, se observa que en ambas variedades no hubo diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo químico, presentando solamente diferencias en las plantas criollas donde las flores inoculadas con el lixiviado de lombriz tuvieron un tamaño 18.5% inferior a las inoculadas con el tratamiento PGPR 3.

Reddy y Saravanan (2020) muestran que el uso de biofertilizantes no tiene efecto en el diámetro de las flores.

Rendimiento

En el cuadro 8 se presenta un análisis de covarianza en las flores criollas, tomando como co-variable el número de plantas macho que se presentaron, así los datos obtenidos muestran que en éstas las plantas inoculadas con PGPR 3 muestran un 45.2% más flores que las plantas testigo, mientras que el análisis de varianza de las plantas híbridas no mostraron diferencias significativas. En el rendimiento, solamente las plantas criollas, en su análisis de covarianza, no

mostraron diferencias significativas comparadas con el testigo químico, los demás tratamientos resultaron en menor rendimiento. En cuanto a los híbridos, los tratamientos no presentaron diferencia significativa alguna.

Reddy y Saravanan (2020) encontraron que al aplicar biofertilizantes a base de lombricomposta, hongos micorrícicos arbusculares y rizobacterias, además de una fertilización química reducida, podían igualar la producción de flores en comparación de una fertilización química completa.

Cuadro 7. Respuesta a las variables de longitud de raíz y diámetro de flor en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	LR (mm)		DF (mm)	
	Criollo	Híbrido	Criollo	Híbrido
Testigo Químico	21.78 a	20.11 a	81.62 ab	75.32 a
PGPR 1	22.78 a	20.89 a	82.12 ab	84.26 a
PGPR 2	23.78 a	20.11 a	80.86 ab	76.81 a
PGPR 3	23.44 a	22.44 a	86.88 a	76.81 a
Lixiviado de lombricomposta	22.89 a	21.44 a	73.33 b	80.08 a

LR=Longitud de raíz, DF=Diámetro por flor. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p>0.05$, prueba de LSD Fisher).

Cuadro 8. Respuesta a las variables de flores por planta y rendimiento por hectárea en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	FPP		Ren (Ton Ha ⁻¹)	
	Criollo	Híbrido	Criollo	Híbrido
Testigo Químico	7.85 b	8.67 a	11.51 a	30.98 a
PGPR 1	9.51 ab	9.33 a	10.50 b	31.26 a
PGPR 2	9.73 ab	9.22 a	10.60 b	29.33 a
PGPR 3	11.40 a	9.89 a	13.61 a	32.82 a
Lixiviado de lombricomposta	9.62 ab	10.11 a	11.09 b	30.19 a

FPP=Flores por planta, Ren=Rendimiento por hectárea. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p>0.05$, prueba de LSD Fisher).

Altura de planta y diámetro de tallo

Las variables de altura y diámetro de tallo se presentan en el cuadro 9 en un análisis multivariado de la suma de medias de las distintas mediciones realizadas. Los datos arrojados en la variable Altura, muestran que en las plantas criollas no existieron diferencias significativas con el testigo químico, aun así, las plantas a las que se les aplicó el tratamiento PGPR 3 fue superior a las plantas tratadas con el PGPR 2 y Lixiviado de lombricomposta en un 5.3% y 6.0% respectivamente en la suma de sus medias. En las plantas híbridas, las plantas tratadas con el PGPR 3 y el lixiviado de composta, mostraron valores estadísticamente mayores que el testigo químico, ya que en su suma de medias mostraron un valor 5.6% y 6.7% superior. En cuanto al diámetro de tallo, en el cultivo criollo la aplicación de biofertilizantes no mostró diferencias significativas

cuando se compararon con el testigo químico, sin embargo al aplicar el tratamiento PGPR 1, la suma de sus medias fue un 2.3% superior al lixiviado de lombricomposta. En las plantas híbridas, la aplicación de los biofertilizantes PGPR 3 y Lixiviado de lombricomposta, presentaron mayores valores en la suma de sus medias en comparación con el testigo químico, ya que fueron mayores en un 6.5% y 9.0% respectivamente.

Reddy y Saravanan (2020) no encontraron diferencias entre las plantas a las que se les aplicó biofertilizantes, comparadas con las plantas fertilizadas convencionalmente.

Cuadro 9. Respuesta multivariada de las medidas repetidas en el tiempo en las variables de altura y diámetro de tallo en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	A		DT	
	Criollo	Híbrido	Criollo	Híbrido
Testigo Químico	429.23 ab	165.96 b	64.12 ab	62.36 c
PGPR 1	441.01 ab	166.63 b	66.74 a	65.00 bc
PGPR 2	423.62 b	169.40 b	65.74 ab	64.29 bc
PGPR 3	446.39 a	175.21 a	65.43 ab	66.44 ab
Lixiviado de lombricomposta	421.68 b	177.13 a	62.66 b	68.00 a

A=Altura, DT=Diámetro de tallo. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$, prueba de Hotelling).

SPAD y contenido de N

En el cuadro 10 se muestra el análisis multivariado de la suma de medias de las medidas repetidas en el tiempo de las variables SPAD y N. Las plantas criollas no mostraron diferencias significativas en los valores de SPAD, al contrario de las plantas híbridas, que aunque no se encontró diferencia significativa de los tratamientos con el testigo químico, las plantas PGPR 1 y PGPR 3 presentaron valores 5.0% y 3.8% superiores en la suma de sus medias al compararlos con el tratamiento PGPR 2. En cuanto al contenido de nitrógeno, en el cultivo criollo, al aplicar Lixiviado de lombricomposta, las plantas presentaron un 3.0% mayor contenido de N en su suma de medias que las plantas que fueron tratadas sólo con el testigo químico. Por su parte, en las plantas híbridas, aquellas que fueron tratadas con PGPR 1, en la suma de sus medias mostraron valores 9.7% superiores que los encontrados en las plantas testigo.

Al aplicar biofertilizantes que contengan rizobacterias fijadoras de nitrógeno, las plantas pueden incrementar su contenido de nitrógeno en comparación de las plantas que sólo se fertilizan convencionalmente (Ramos *et al.* 2022).

Cuadro 10. Respuesta multivariada de las medidas repetidas en el tiempo en las variables de SPAD y contenido de nitrógeno en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	SPAD		N	
	Criollo	Híbrido	Criollo	Híbrido
Testigo Químico	180.44 a	248.86 ab	57.33 b	79.27 b
PGPR 1	180.21 a	254.83 a	57.64 ab	86.97 a

PGPR 2	182.61 a	242.72 b	58.11 ab	76.87 b
PGPR 3	179.53 a	250.68 a	56.90 b	79.79 ab
Lixiviado de lombricomposta	184.26 a	248.17 ab	59.06 a	79.03 b

N=Contenido de nitrógeno. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p>0.05$, prueba de Hotelling).

En el cuadro 11 se presenta la respuesta multivariada de las distintas variables agronómicas frente a la inoculación de los distintos biofertilizantes. Se observa que en las plantas híbridas no tienen diferencia significativa entre tratamientos, mientras que en las plantas criollas, la inoculación de los biofertilizantes a base de PGPR se comportan estadísticamente igual que el testigo químico, solamente las plantas inoculadas con el lixiviado de lombricomposta se comportó de inferior manera.

Cuadro 11. Respuesta multivariada en el cultivo de dos variedades de Flor de cempasúchil con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	MANOVA	
	Criollo	Híbrido
Testigo Químico	554.73 a	489.10 a
PGPR 1	516.46 ab	497.26 a
PGPR 2	549.74 a	491.26 a
PGPR 3	574.66 a	541.41 a
Lixiviado de lombricomposta	440.56 b	501.91 a

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$, prueba de Hotelling).

XIII. CONCLUSIONES

La aplicación de biofertilizantes, promueven el crecimiento en el cultivo de flor de cempasúchil, igualando al testigo químico establecido en este trabajo de investigación, el cual constó de fertilización de base sin ninguna clase de inoculación biológica.

El uso de los biofertilizantes basados en PGPR a una concentración de 10^7 UFC mL⁻¹ en el cultivo de flor de cempasúchil criolla igualó al tratamiento químico, mientras que todos los biofertilizantes utilizados igualaron al testigo en el cultivo de flor de cempasúchil híbrido.

La aplicación de biofertilizantes puede sustituir parcialmente el uso de fertilizantes químicos de base y aun así obtener rendimientos similares, bajo condiciones de campo abierto.

XIV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amereshwar-Reddy, K. & Saravanan, S.S. (2020). Effect of Bio Fertilizers on Plant Growth and Flower Yield of African Marigold *Tagetes erecta*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 9(5), 1334-1338.
- Anaya-Gutiérrez, E. J., Gutiérrez, J., Serrato-Cruz, M. A., Vázquez-Sánchez, M., Anaya-Gutiérrez, E. J., Gutiérrez, J., Serrato-Cruz, M. A., & Vázquez-Sánchez, M. (2022). Anatomía foliar de nueve especies de *Tagetes* L. (*Tageteae*: *Asteraceae*). *Botanical Sciences*, 100(3), 667–684. <https://doi.org/10.17129/botsci.2985>
- Angadi et al. (2020). Effect of macronutrients, microbial consortium and biostimulants on growth and yield of African marigold (*Tagetes erecta* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. Vol. 9, No. 5.
- Barajas-Rodríguez, M., Soto-Nuñez, N. I., Escudero-Barrenechea, A., Sánchez-Galván, F., Hernández-Santiago, Q., & Bautista-Santos, H. (2021a). Análisis de la cadena de suministro de la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta* L.); caso de estudio. *Agro Productividad*, 13(3), 65–71. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i3.1847>
- Barajas-Rodríguez, M., Soto-Nuñez, N. I., Escudero-Barrenechea, A., Sánchez-Galván, F., Hernández-Santiago, Q., & Bautista-Santos, H. (2021b). Análisis de la cadena de suministro de la flor de cempasúchil (*Tagetes erecta* L.); caso de estudio. *Agro Productividad*, 13(3). <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i3.1847>
- Castro-Barquero, L., Murillo-Roos, M., Lorío, L., & Mata-Chinchilla, R. (2015). Inoculación al suelo con *pseudomonas fluorescens*, *azospirillum oryzae*, *bacillus subtilis* y microorganismos de montaña (mm) y su

efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 21-36.

De la Mora-Covarrubias, A., Vázquez-González, F. J., & Valero-Galván, J. (2016). Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. *Tecnociencia Chihuahua*, 10(1), 23-31.

Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 41(2), 51-57.

Gonzalez, P. U. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. <http://bcn.cl/28ziq>

Gopi, G. et al. (2012). A concise review on *Tagetes erecta*. *International Journal of Phytopharmacy Research*. Vol 3, No. 1.

Guzman, J. F. (2018). Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México. <file:///C:/Users/olver/Downloads/64%20Fertilizantes%20qu%C3%ADMICOS%20Y%20BIOFERTILIZANTES%20EN%20M%C3%A9XICO..pdf>

Jaulis C., J. C., & Pacheco, A. (2015). Producción de Marigold (*Tagetes patula* cv. Durango orange) en diferentes medios de crecimiento, bajo condiciones de vivero de la Universidad Nacional Agraria la Molina. *Anales Científicos*, 76(1), 38. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.762>

Labra-Cardón D., Guerrero-Zúñiga L.A., Rodríguez T.A.V., Montes-Villafán S., Pérez-Jiménez S. & Rodríguez-Dorantes A. (2012). Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de *Cyperus elegans* y *Echinochloa polystachya* inoculadas con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28(1): 7-16.

Ministerio de Educación Superior de Cuba., C., Sociedad Cubana de Química., Y., Valdivia-Ávila, A., Ramírez-Pérez, H. L., Gómez-Brisuela, L.,

Camacho-Campos, C., Pérez-Hernández, Y., Valdivia-Ávila, A., Ramírez-Pérez, H. L., & Gómez-Brisuela, L. (2019). Revista cubana de química. In Revista Cubana de Química (Vol. 31, Issue 1). Dirección de Información Científico-Técnica, Universidad de Oriente. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100053&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Morais, S., Abreu, C., Andrade, D.L. Gomes, C., Palhares, V., Pastina, M., Marriel, I, Gomes, U. & Gomes, E. (2020) Tropical Bacillus Strains Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight, Nutrient Uptake and Grain Yield. *Journal of Plant Growth Regulation* 40, 867–877. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>

Navarro, G. G., & Navarro, S. G. (2014). Fertilizantes, química y acción. In Mundi-prensa (Mundi-Prensa). Ediciones Digitales. <https://books.google.es/books?id=3McUBQAAQBAJ&lpg=PA1&ots=4lxT3brq6q&dq=fertilizantes%20quimicos&lr&hl=es&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>

Nikkon, F. et al. (2011). *Tagetes erecta* Linn. and its mosquitocidal potency against *Culex quinquefasciatus*. *Asian Pacific J. Trop. Biom.*

Pastor, M. J., Martínez, A., & Rivas, W. (2022). Degradación química de suelos agrícolas en la península de Paraguana, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 44(1), 22–28. Retrieved December 3, 2022, from <file:///C:/Users/olver/Downloads/Dialnet-DEGRADACIONQUIMICADESUELOSAGRICOLASENLAPENINSULADE-7831468.pdf>

Punde, B. D., & Ganorkar, R. A. (2012). Vermicomposting-recycling waste into valuable organic fertilizer. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(3), 2342-2347.

- Quintanilla Carvajal, M. X., Arenas Ocampo, M. L., Campos Mendiola, R., Camacho Diaz, B. H., & Jimenez Aparicio, A. R. (2015). Caracterización morfométrica de estructuras florales de *Tagetes erecta* L. y *Tagetes patula* L. (Asteraceae) utilizando análisis digital de imágenes y dimensión fractal. *Gayana. Botánica*, 72(1), 137–144. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432015000100016>
- Ramos-Salazar, R., Mendoza-Villarreal, R., Torres, V. R., & Pérez, A. H. (2022). Efecto de rizobacterias solubilizadoras de calcio en caracteres agronómicos y minerales de *Tagetes erecta*. *Biotecnia*, 24(2), 149-154.
- Ravi, C.H. et al. (2017). Response of Marigold (*Tagetes erecta* L.) cv. double orange to liquid formulations of em consortia with graded levels of NPK on flower yield, quality and xanthophylls yield. *Journal of Plant Deveopment Sciences*. Vol. 9, No. 5. A.
- Ravi, C.H., et al. (2017) Influenced by effective microbial consortia on growth and flowering of Marigold (*Tagetes erecta* L.) with graded levels of NPK. *Journal of Plant Development Sciences*. Vol. 9, No 7. B.
- Reddy, K. A., & Saravanan, S. S. (2020). Effect of bio fertilizers on plant growth and flower yield of African marigold *Tagetes erecta*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 1334-1338.
- Reyes, A. C. (2019). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y su aporte en la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon sculentum* L.) [Doctorado, Universidad de Concepcion]. <http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/935/1/Tesis%20Rizobacterias%20promotoras.pdf>
- Roca, L. B., Guzmán, B. H., Botta Gómez, A. M., Sosa, E. H., González Pérez, M., & Navarro, B. A. (2009). Caracterización física y tamizaje fitoquímico de la especie *Tagetes erecta* Lin.: Vol. XXI.

file:///C:/Users/olver/Downloads/contenido%20bioquimicoy%20mial
.pdf

Rodríguez-Elizalde, et al. (2010) Emergencia y crecimiento de plantas ornamentales en suelos contaminados por residuos de mina. *Interciencia*, Vol. 35, No 1.

SAGARPA. (2022). Humus y lixiviado de lombriz. file:///C:/Users/olver/Downloads/1-paquete-tecnologico-de-produccion-de-lombricomposta.pdf

Sakata. (2022). Cempasuchil coco marigold. COCO Marigold .
www.sakataornamentals.com

Santiago, A. O. (2022). Documentacion del uso gastronomico de la flor de Cempasuchil (*Tagetes Erecta*) [Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. file:///C:/Users/olver/Downloads/Licenciatura-%20Alicia%20Santiago.pdf

Serrato, C. M. A. (2022). Cempasuchil: flor de la sabiduria del hombre. file:///C:/Users/olver/Downloads/Fasc_culo_Cempas_chil.pdf

Serrato, M. A. C. (2014). El recurso genético cempoalxóchitl (*Tagetes spp.*) de México (diagnóstico) (Vol. 1). file:///C:/Users/olver/Downloads/El_recurso_gen_tico_del_cempoalxochitl__tagetes_spp__de_mexico__diagnostico_.pdf

Sharma, S.B., et al. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. SpringerPlus. Vol. 2, No. 587.

Valenzuela, A. B. P., Olivas, A. G., Padilla, M. Y. S., & Tavizón, E. F. (2020). Composición mineral de lixiviados (biofertilizante) de lombriz roja californiana. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 14(3), 166-182.