



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

TÍTULO:

"EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA PRODUCTIVA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CON LA APLICACIÓN DE UN FERTILIZANTE ORGÁNICO Y UN FERTILIZANTE QUÍMICO"

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA

VAZQUEZ RAMIREZ ESTEFANIA

DIRECTOR DE TESIS

M. en Cs. LUCERO MONTSERRAT CUAUTLE GARCÍA

CODIRECTORA DE TESIS

DRA. DALIA MOLINA ROMERO

La presente tesis titulada: “EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA PRODUCTIVA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CON LA APLICACIÓN FERTILIZANTE ORGÁNICO (BIOSÓLIDO PORCINO) Y FERTILIZANTE QUÍMICO”, realizada por ESTEFANIA VAZQUEZ RAMIREZ ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
Facultad de Ciencias Biológicas

Consejo Particular integrado por:

**Director de Tesis:**

M. en Cs. Lucero Montserrat Cuautle García

**Co-directora de Tesis:**

Dra. Dalia Molina Romero

**Asesora:**

Dra. Vianey Marín Cevada

**Revisor:**

Juan Héctor García Chávez

**Revisor:**

Daniel Sihuanca Mendoza

**Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP**

Heroica Puebla de Zaragoza, Puebla, México. 27 de Junio del 2025



El presente trabajo forma parte del grupo de investigación denominado: **COMUNIDADES SOSTENIBLES, RESILIENTES E INCLUYENTES** (BUAP-GI-22074), de la línea de investigación: **USO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS BIÓTICOS** en la Facultad de Ciencias Biológicas y en colaboración con el Cuerpo Académico **BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR MICROBIANA** (BUAP-CA-244) del Instituto de Ciencias BUAP.

Dicho trabajo fue financiado por la empresa de producción porcina “**Granjas Carroll de México, S. de R.L. de C.V.**” con el número de convenio (CV-2021/OAG-BUAP), bajo el proyecto titulado:

**“Diagnóstico y evaluación de estudios de efectividad biológica, de productos derivados de Granjas Carroll S. de R.L. de C.V.”**

*“México, más que ningún otro país del Nuevo Mundo,  
es la tierra del maíz” (Anderson, 1946).*

*“Just like the seed  
I don't know where to go  
Through dirt and shadow, I grow  
I'm reaching light through the struggle  
Just like the seed  
I'm chasing the wonder  
I unravel myself  
All in slow motion  
You cannot eat money, oh, no  
When the last tree has fallen  
And the rivers are poisoned  
You cannot eat money, oh no  
Suffocate me  
So my tears can be rain  
I will water the ground where I stand  
So the flowers can grow back again  
Everything wants to live  
We are burning our fingers  
But we learn and forgive  
Feed me sunlight, feed me air  
Feed me truth and feed me prayer”  
-(AURORA et al., 2019)*

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a los que ya no están, que en gran medida y manera impactaron en mi vida. A mi abuela, que fue una madre para mí, y mi primera maestra, presente en cada paso. A mi mascota Pug, significó mucho el tiempo que me acompañaste, aprendí mucho más de ti que lo que yo pude enseñarte, gracias por estar en todo momento. También a todos aquellos han dado su vida a la defensa de la madre tierra, su memoria sigue luchando y me inspira todos los días. Y por último a cada versión mía, de no haber aprendido de cada experiencia no estaría aquí, gracias por decidir levantarte cada mañana.

Espero que la experiencia pueda significar el grano de arena que busco dejar en el planeta.

## Agradecimientos

A los integrantes de la comisión revisora y miembros del jurado:

1. M. C. Lucero Montserrat Cuautle García, gracias por adoptarme, como madre académica, me enseñaste mucho más que la escritura, técnicas, y procesos en la elaboración de mi tesis. Cada experiencia académica también lo fue de vida, gracias por ser uno de los pocos lugares seguros que aún quedan en la vida de muchos estudiantes. Gracias, por preocuparse por el mundo real y las personas que habitamos en él, llevando la ciencia al mundo real. Siga transmitiendo el amor a su trabajo, y acompañando a los rebeldes que buscan cambiar el mundo, gracias por ver humanidad en cada uno de nosotros.
2. Dr. Dalia Molina Romero, muchas gracias por recibirme en su laboratorio, por su infinita paciencia, y la excelente persona que conocí, gracias a usted pude conocer la otra parte de la licenciatura que no había explorado, además de los diversos enfoques en que se puede estudiar y amar a la vida. Gracias por todos sus consejos, retroalimentación, y gentileza.
3. D.C. Vianey Marín Cevada, infinitamente gracias por todo su apoyo, en campo, laboratorio, online. Admiro mucho su gran disciplina, determinación, fortaleza y calidez que demuestra en cada aspecto de su vida, y que la ha llevado a materializar cada uno de sus sueños y el mío. Gracias por preocuparse por mí, por dedicar muchísimo tiempo a la resolución de mis dudas. Siga inspirando a las generaciones futuras, compartiendo su gran capacidad para hacer las cosas posibles, y su pasión por el mundo microscópico. Gracias por permitirme conocerla, y recordarme que las metas siempre son alcanzables.
4. Dr. Juan García Chávez, muchas gracias, profesor, por permitir robarle un poco de su tiempo y conocimiento en temas estadísticos, y académicos. Su enfoque (profesional y de vida) es diferente a lo que había conocido. Sin duda posee un espíritu rebelde, y de

mucha experiencia que ha enriquecido mi trabajo, formación y perspectiva. Gracias por abrir las puertas de su laboratorio, lo admiro mucho, siga alzando la voz ante las injusticias del sistema.

5. Dr. Daniel Sihuana Mendoza, gracias, profesor por enseñarnos que el trabajo con los organismos y productos menos convencionales son igual de valiosos que la tecnología “más avanzada”, gracias por su infinita paciencia y tolerancia en cada proceso. Siga siendo ese profesor buena onda, la empatía y calidad humana debe permanecer superior a cualquier título y prestigio académico.

Biólogo Agustín Licon Carrasco, muchas gracias por todo lo que pudo enseñarme en campo, desde manejo agronómico, hasta un poco de supervivencia. Gracias por compartirme su perspectiva del mundo, de un biólogo fuera de la academia, abrirme los ojos a los problemas importantes en lo que se puede intervenir, las diversas maneras en que pueden resolverse, y el desafío a los sistemas.

Ing. Gabriel y David Alcázar, gracias por recibirnos en granjas, el tiempo y la calidez que nos brindó, por aclarar todas mis dudas sobre el sector porcicultor y compartir su propia experiencia con los cultivos. Sin duda, siempre es muy valioso conocer otros puntos de vista, otras formas de ver y concebir el mundo. Químico César, Q.D.P. Muchas gracias por analizar algunas muestras de suelo para este proyecto, no tuve el gusto de conocerlo más, sin embargo, pude percibir una persona muy amable. Y al I.A.Z. Adrián Cuautle, muchas gracias ingeniero por realizar el análisis bromatológico de las semillas, sin duda su trabajo enriqueció en gran medida mi proyecto. A mí tía abuela Bibiana Vázquez Aburto, que puso a disposición el terreno para el experimento. Y al señor Crispín Dionicio, que amablemente compartió semilla de su propia cosecha.

Gracias a toda mi familia, padres, hermanos, primos, y primas. Gracias por apoyarme en innumerables y diversas actividades de este trabajo, muchas veces en contra de su voluntad,

sin duda jamás lo hubiera logrado sin ustedes, sin su paciencia, sin su amor, sin su apoyo. Gracias por estar ahí en cada paso dado, por levantarse temprano conmigo, viajar, el trabajo duro en el campo y los espacios que invadí en casa, mis episodios de estrés que tuvieron que presenciar, el tiempo que han tenido que esperar. Gracias por confiar, los amo mucho.

A mi compañero de vida Alejandro, gracias por apoyarme en muchas de las etapas de mi vida, y estar presente en muchos proyectos. Gracias por ser mi sostén, y mi apoyo, por estar presente en los momentos más difíciles, importantes y felices de mi vida. Gracias por tus palabras de aliento que siempre me ayudaron a seguir, por soportarme en mis crisis y felicitarme en los éxitos. Por ver y confiar en mi potencial, inclusive cuando me era difícil verlo. Gracias por ser tanto, te amo mucho.

Gracias a todos mis amigos de la licenciatura: José, Samu, Paloma, Fer, Mary, Vanessa, Carlos, Emilio. A mis compañeros y amigos de tesis: Cintia y Rubén. Mis amigos de cubículo: Lupita, Dani “El Manco”, y Cipactli. Cada uno ha impactado y contribuido en mi formación profesional, con su apoyo, su visión, expectativas de la carrera y el futuro me han sostenido e impulsado para continuar, y alimentar la creatividad. Inmensamente gracias por haber coincidido, me llevo mucho de ustedes, los admiro y aprecio mucho a todos, se qué serán los grandes biólogos que están destinados a ser, sigamos defendiendo la vida.

Gracias a mi artista favorita Aurora Aksnes, tus letras, melodías, discursos, y energía, fueron claves para salir de muchos bloqueos que experimenté. Desde tu posición como creadora en arte, inspiras a continuar con los cambios que necesita este planeta, gracias por darle voz a muchas problemáticas y sensibilizar a quienes te escuchamos. Abrazo tu lucha, y tu intención, amor a la madre tierra y a quienes la habitamos. Firma Warrior & Weirdo.

## Índice General

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	12
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	13
<b>RESUMEN</b>	14
<b>I            Introducción</b>	15
<b>II           Objetivos</b>	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
<b>III          Hipótesis</b>	18
<b>IV          Marco teórico</b>	19
4.1        Maíz	19
4.1.1.   Morfología	19
4.1.2.   Fenología	20
4.1.3.   Importancia mundial	23
4.1.4.   Importancia nacional	23
4.1.5.   Requerimientos del cultivo	24
4.1.6.   Manejo agronómico	26
4.1.7.   Plagas y enfermedades	27
4.1.8.   Agroecología	33
4.2.       Suelo	35
4.2.1    Importancia	36
4.2.2    Suelo en México	36
4.2.3    Fertilidad	38
4.2.4    Degradación	37
4.3.       Biosólidos	39
4.3.1    Aplicaciones y beneficios	39
4.3.2    Riesgos	40
4.3.3    Tratamiento de lodos y biosólidos	42
4.3.4    Biosólidos porcinos en México	42
4.4.       Agroquímicos	43
4.4.1    Fertilizante químico	43

4.4.2.	Impacto Ambiental	45
<b>V</b>	<b>Materiales y Métodos</b>	<b>46</b>
5.1.	Ubicación y caracterización de la zona de estudio	46
5.2.	Materiales	47
5.2.1.	Material vegetativo	47
5.2.2.	Material de laboratorio	48
5.3.	Tipo de insumo utilizados	48
5.3.1.	Fertilizante orgánico	48
5.3.2.	Fertilizante químico	49
5.4.	Diseño experimental	50
5.4.1.	Delimitación del área de siembra	50
5.4.2.	Método de aplicación	51
5.4.3.	Manejo agronómico	52
5.5.	VARIABLES EVALUADAS	54
5.5.1.	VARIABLES EVALUADAS EN LA FASE VEGETATIVA	54
5.5.2.	VARIABLES EVALUADAS EN FASE REPRODUCTIVA	55
5.5.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
5.6.	Parámetros de estimación del fertilizante orgánico en la efectividad biológica	55
<b>VI</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>57</b>
6.1	Pruebas de semilla	57
6.1.1.	Prueba Verde Rápido	57
6.1.2.	Prueba de Tetrazolio	58
6.1.3.	Protrusión Radicular	59
6.2.	Parámetros de estimación del fertilizante orgánico en la efectividad biológica	60

6.2.1.	Análisis Físicoquímico y Microbiológico del Biosólido	60
6.2.2.	Variables Evaluadas en Fase Vegetativa	64
6.2.2.1	Altura de la Planta	65
6.2.2.2.	Área Foliar	68
6.2.2.3.	Diámetro del Tallo	71
6.2.3.	Variables Evaluadas en Fase Productiva	74
6.2.4.	Análisis de Suelo	76
6.2.5.	Análisis bromatológico	77
<b>VII</b>	<b>Conclusiones</b>	80
<b>VIII</b>	<b>Perspectivas</b>	81
<b>IX</b>	<b>Anexos</b>	82
<b>X</b>	<b>Referencias</b>	85

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b>	Descripción morfológica del maíz	19
<b>Cuadro 2.</b>	Etapas fenológicas	21
<b>Cuadro 3.</b>	Cantidad de nutriente extraído	25
<b>Cuadro 4.</b>	Los diez elementos de la agroecología	33
<b>Cuadro 5.</b>	Componentes del suelo	35
<b>Cuadro 6.</b>	Límites permisibles para metales pesados en biosólidos	41
<b>Cuadro 7.</b>	Límites permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos	42
<b>Cuadro 8.</b>	Composición química de fertilizantes sintéticos	50
<b>Cuadro 9.</b>	Dosis de biosólidos	50
<b>Cuadro 10.</b>	Prueba de verde rápido	58
<b>Cuadro 11.</b>	Prueba de tetrazolio	59
<b>Cuadro 12.</b>	Protrusión radicular	60
<b>Cuadro 13.</b>	Porcentajes de viabilidad, daño mecánico y protrusión radicular	60
<b>Cuadro 14.</b>	Análisis fisicoquímico del biosólido	61
<b>Cuadro 15.</b>	Determinación de metales pesados	63
<b>Cuadro 16.</b>	Determinación de microorganismos patógenos	64
<b>Cuadro 17.</b>	Análisis de suelo	77
<b>Cuadro 19.</b>	Análisis bromatológico	78

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b>	Mapa de distribución del maíz	19
<b>Figura 2.</b>	Morfología del maíz	20
<b>Figura 3.</b>	Etapas fenológicas	22
<b>Figura 4.</b>	Producción de maíz en México	24
<b>Figura 5.</b>	Síntomas de deficiencia por nutriente mineral	26
<b>Figura 6.</b>	Necrosis letal del maíz	28
<b>Figura 7.</b>	Tizón de la hoja	28
<b>Figura 8.</b>	Mancha gris del maíz	29
<b>Figura 9.</b>	Podredumbre de la mazorca	30
<b>Figura 10.</b>	Gallina ciega	31
<b>Figura 11.</b>	Gusano cogollero	32
<b>Figura 12.</b>	Gusano alfilerillo	32
<b>Figura 13.</b>	El sistema milpa	35
<b>Figura 14.</b>	Mapa de unidades de suelo	37
<b>Figura 15.</b>	Degradación de suelos	38
<b>Figura 16.</b>	Ubicación geográfica del sitio de estudio Maíz	47
<b>Figura 17.</b>	Maíz criollo	47
<b>Figura 18.</b>	Cerdaza	49
<b>Figura 19.</b>	Diseño experimental	51
<b>Figura 20.</b>	Plántulas	53
<b>Figura 21.</b>	Manejo agronómico	53
<b>Figura 22.</b>	Cosecha	54
<b>Figura 23.</b>	Pruebas de semilla	57
<b>Figura 24.</b>	Altura de la planta (días 30-75)	66
<b>Figura 25.</b>	Altura de la planta (días 90-135)	67
<b>Figura 26.</b>	Mediciones	68
<b>Figura 27.</b>	Área foliar (días 30-75)	69
<b>Figura 28.</b>	Área foliar (días 90-75)	70
<b>Figura 29.</b>	Tallo (días 30-75)	72
<b>Figura 30.</b>	Tallo (días 90-135)	73
<b>Figura 31.</b>	Gráficas de fase reproductiva	75
<b>Figura 32.</b>	Mazorcas	76

## Resumen

En el contexto actual de búsqueda de prácticas agrícolas más sostenibles, el presente estudio se enfocó en evaluar el potencial de los biosólidos porcinos como fuente de fertilización orgánica en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), comparando su efectividad con la de un fertilizante químico convencional. El trabajo se desarrolló en la localidad de La Roma, municipio de Xiutetelco, Puebla, donde se implementó un diseño experimental que incluyó cinco tratamientos: tres niveles de aplicación de biosólido (alto, medio y bajo), un tratamiento con fertilización química y un control sin fertilización. Durante el ciclo del cultivo se registraron diversas variables agronómicas tanto en la etapa vegetativa (altura de la planta, área foliar y diámetro del tallo) como en la etapa reproductiva (peso y número de granos, tamaño de la mazorca y contenido nutrimental del grano). Asimismo, se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos y microbiológicos del biosólido, con el objetivo de verificar el cumplimiento de la normatividad vigente en relación con patógenos y metales pesados. Además, se evaluaron las propiedades del suelo antes y después del ciclo productivo, con el fin de indentificar posibles cambios atribuibles a los tratamientos aplicados. Los resultados mostraron que las dosis media y alta de biosólido, junto con la fertilización química, promovieron un desarrollo vegetativo superior. En la etapa reproductiva, los tratamientos con biosólido en dosis media y alta demostraron un rendimiento significativamente elevado, alcanzando niveles comparables a los del fertilizante químico, especialmente en términos de producción de grano. Este estudio permite concluir que el uso de biosólidos porcinos representa una alternativa viable, eficaz y ambientalmente segura para la producción del maíz. Su aplicación no solo favorece la productividad del cultivo, si no que también mejora las propiedades del suelo al incrementar su contenido de materia orgánica y estructura. En este sentido, los biosólidos contribuyen a una agricultura más sostenible, al integrar prácticas de reciclaje de residuos orgánicos y cerrar ciclos de nutrientes de manera responsable.

**Palabras clave:** Agricultura sostenible, evaluación agroproductiva, gestión de residuos, mejorador de suelo.

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta el desafío de mantener altos niveles de productividad que cubran la demanda alimenticia mientras se reducen los impactos negativos sobre el medio ambiente (Pimentel *et al.*, 2005). Uno de los aspectos más preocupantes es el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, que si bien han contribuido al incremento de los rendimientos agrícolas, también han generado problemas como la degradación de suelo, contaminación de cuerpos de agua y pérdida de biodiversidad. Ante esta seria problemática, recobra importancia la búsqueda de prácticas agrícolas más sostenibles, destacando el uso de residuos orgánicos tratados como fertilizantes y/o enmiendas (Tilman *et al.*, 2002).

Los biosólidos, resultado del tratamiento de aguas residuales, han sido estudiados por su potencial para mejorar la fertilidad (química, física y biológica) del suelo, además de su aporte nutrimental a los cultivos, especialmente el nitrógeno, fósforo y materia orgánica (Metcalf y Eddy, 2014). Diversas investigaciones han demostrado que su aplicación puede favorecer el crecimiento vegetal, mejorar la estructura de suelo y aumenta la retención de humedad (Palma y Sánchez, 2023). Sin embargo, su uso agrícola está regulado debido a la probable presencia de patógenos y metales pesados, por lo que es necesario realizar análisis que garanticen su inocuidad (NOM-SEMARNAT-2002).

En México el cultivo de maíz representa un componente esencial en la seguridad alimentaria y en la economía rural. No obstante, su producción suele depender del uso de agroquímicos (que a la larga suelen ser costosos), cerrar ciclos de nutrientes y reutilizar de una manera responsable residuos orgánicos generados por la industria porcina, que de otra manera podrían representar un problema ambiental (INIFAP, 2023). A pesar de estas ventajas, su uso en cultivos aún enfrenta resistencias relacionadas con la percepción de riesgo y la necesidad de evidencias científicas locales.

Diversos estudios han comparado el efecto de biosólidos con fertilizantes químicos en diversos cultivos. Por ejemplo, Cuevas *et al.*, 2019; reportaron una mejora en el rendimiento de maíz bajo condiciones controladas con la aplicación de biosólidos, mientras que otros autores han señalado beneficios en términos de estructura de suelo, aumento de biomasa microbiana y reducción de costos de producción (Zalewska *et al.*, 2020; Loret *et al.*, 2016).

Bajo este contexto, el presente estudio se planteó con el objetivo de evaluar el efecto agroproductivo de los biosólidos porcinos aplicados en diferentes dosis sobre el cultivo de maíz y el efecto remediador sobre el suelo, comparándolos con un fertilizante químico convencional. Asimismo, se analizaron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del biosólido para verificar su conformidad con la normatividad vigente, además de evaluar los cambios en el suelo antes y después del ciclo productivo. La generación de conocimiento técnico y normativo sobre esta práctica puede contribuir al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y resilientes, y fomentar políticas de manejo responsable de residuos orgánicos. Además, los resultados obtenidos pueden ser de utilidad para productores, técnicos y tomadores de decisiones interesados en alternativas sustentables para la nutrición vegetal.

## II. OBJETIVOS

### Objetivo General

- Evaluar la respuesta productiva del maíz (*Zea mays* L.) con la aplicación de biosólido porcino y fertilizantes químicos.

### Objetivos Específicos

- Evaluar la respuesta en las distintas fases del desarrollo fenológico del cultivo de maíz con la aplicación de biosólido porcino y fertilizante químico.
- Estimar la dosis efectiva del biosólido porcino como fertilizante orgánico en la producción de cultivos de maíz.
- Proponer la dosis efectiva del biosólido porcino como mejorador de suelo en la producción de cultivos de maíz.

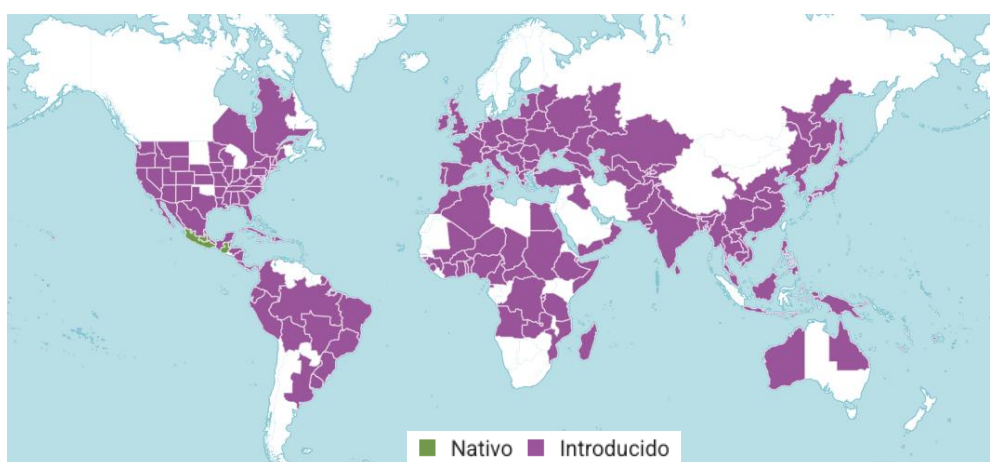
### **III. Hipótesis**

El crecimiento de las plantas se ve afectado por las condiciones del ambiente, especialmente por las propiedades y nutrientes del suelo. La administración de biosólidos porcinos puede cubrir los requerimientos nutricionales de las plantas, incrementar la fertilidad química, física y biológica del suelo; y competir con fertilizantes químicos en un cultivo tradicional de maíz.

## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Maíz

El maíz, *Zea mays* L., es una planta perteneciente a la familia de las Poáceas. El área de distribución nativa de esta especie parte desde México central, y suroeste, hasta el oeste de Guatemala (IPNI, 2024). Diversos autores (Wheatherwax, 1955; MacNeish, 1967; Wilkes, 1989) identifican a México como el centro de origen, diversidad y domesticación del maíz. Es una planta anual que crece principalmente en zonas tropicales estacionalmente secas. Su uso se ha diversificado bastante, abarcando lo ambiental y social, así como alimento para animales, medicina, combustible y alimento para consumo humano. Hoy en día se han introducido en casi todas las regiones del planeta, convirtiéndose en el cereal de mayor importancia. En México, se sugiere la existencia de al menos 62 razas y más de 300 variedades de maíces nativos, a través del proyecto “Huella Genética de Maíz” (Rosado y Villasante, 2021; SNICS, 2016).



**Figura 1.** Mapa representativo de la zona de origen e introducción del maíz (*Zea mays* L.) Tomada de IPNI, 2024.

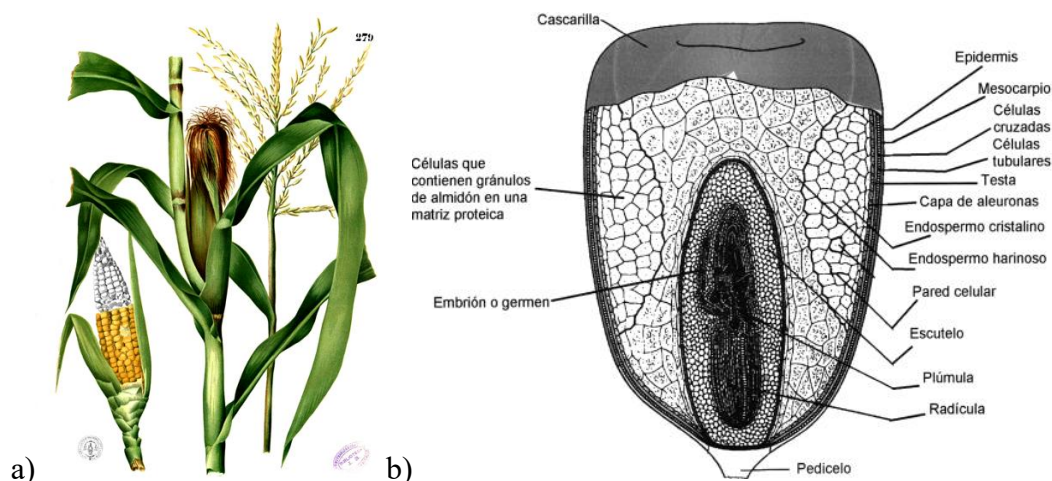
#### 4.1.1. Morfología

**Cuadro 1.** Descripción morfológica del maíz (*Zea mays* L.)

Órgano	Descripción
Tallo	Simple erecto, robusto y sin ramificación, con médula esponjosa. Puede alcanzar los cinco metros de altura. Presenta una inflorescencia masculina (espiga) y femenina separada dentro de la misma planta.

Hojas	Son largas, lanceoladas, alternas, paralelinervias; se encuentran abrazadas al tallo con vellosidades presentes en el haz.
Raíces	Posee dos tipos, las principales o coronarias son fasciculadas, aportan anclaje y soporte. Una vez que el tallo se ha desarrollado pueden aparecer raíces aéreas (adventicias) brindando un anclaje adicional.
Inflorescencia masculina	Panícula color amarilla, con numerosas espigas, se encuentra ubicada en el extremo terminal del tallo. Posee alrededor de 20 a 25 millones de granos de polen.
Inflorescencia femenina	Se origina en la yema axilar de la base de algunas hojas. Se trata de una espiga con un raquis cilíndrico y grueso, donde se insertan flores que poseen un estilo largo y de color amarillo que sobresale de las brácteas.
Fruto	Este corresponde a cada grano de maíz (cariópside), que se encuentra en la mazorca. Posee una gran variación en cuanto a forma, tamaño, consistencia, composición y color.

Fuentes: Ávila *et al.*, 2014; CONAHCYT, 2019; OECD, 2003; Paliwal *et al.*, 2001.



**Figura 2.** a) Ilustración del maíz de Blanco, 1883. b) Estructura del grano de maíz. Tomada de Hosene y Faubión, 1992.

#### 4.1.2. Fenología

La importancia de conocer los eventos fenológicos (Cuadro 2) que ocurren en determinadas especies radica en la eficiencia de la base de un sistema agrícola: la planificación y programación de las diferentes actividades, además de la optimización de los recursos agroclimáticos, con la finalidad de incrementar la productividad en los cultivos. Esto permite

determinar: los requerimientos de los cultivos, calendarios agrícolas, zonificaciones agroclimáticas y herramientas para la planificación agrícola (Yzarra *et al.*, 2012).

El maíz es una planta anual que está determinada con los eventos: germinación, iniciación floral, floración y madurez fisiológica. Cabe mencionar que la duración de cada uno de estos depende diversos factores, como lo es el genotipo, fenotipo y temperatura, entre otros (Bolaños y Edmeades, 1993). A continuación, se describe de manera general las principales fases de este cultivo.

**Cuadro 2.** Etapas fenológicas del maíz.

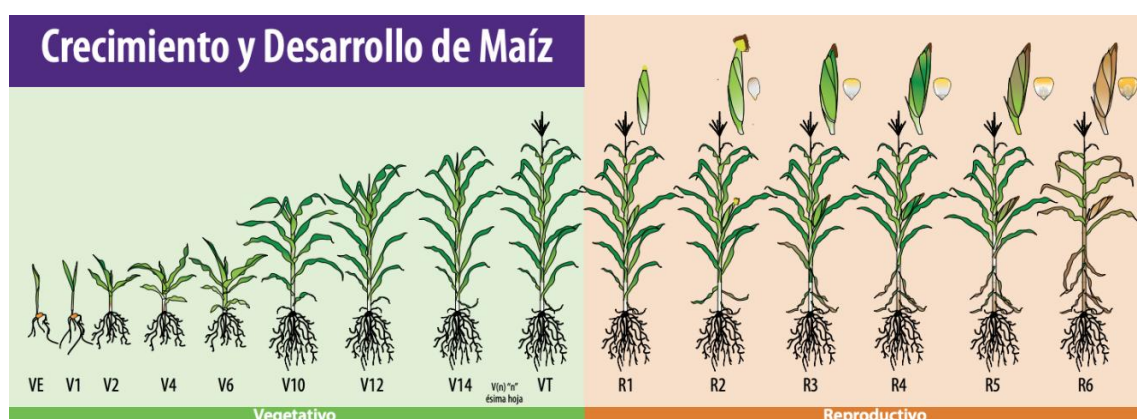
Fase	Etapas	DAS*	Características
V E G E T A T I V A	VE	5	Los coleóptilos aparecen sobre la superficie del suelo. Bajo condiciones de temperatura del suelo (+12°C) y humedad ideal, la emergencia tiene lugar entre cinco a siete días.
	V1	9	Una hoja con lígula visible, cuyo número definirá los estadios vegetativos.
	V2	12	Segunda hoja, las raíces nodales comienzan a emerger.
	V4		Cuarta hoja, raíces nodales dominantes, las hojas continúan en desarrollo.
	V6		Sexta hoja, todas las partes de la planta han iniciado su crecimiento, entre V6 y V10 se determina el número potencial máximo de hilera en la mazorca. Ocurre un incremento de altura, debido a la elongación del tallo, así como la demanda de nutrientes.
	V10		10 hojas, comienza el desarrollo de nudos en la parte inferior del tallo y raíces adventicias. La demanda de nutrientes es alta = K>N>P. Las condiciones ambientales afectarán el número potencial de granos y tamaño de mazorca. El control de maleza y enfermedades es crítico en esta etapa.
	V14		± 14 hojas, generalmente tiene lugar dos semanas antes de la floración. El crecimiento es rápido, y existe una alta sensibilidad al estrés hídrico y térmico.
	VT	55	Espigado, floración masculina, se está definiendo el número final de granos y el tamaño potencial de la mazorca. La planta casi ha alcanzado su altura máxima. La última rama de la espiga es visible y los estigmas en el jilote pueden haber emergido. La demanda de nutrientes es próxima al máximo. La foliación afectará al rendimiento final.

R E P O D U C T I V A	R1	59	Floración femenina, comienza cuando el estigma es visible fuera de las brácteas. La planta alcanza su máxima altura. La demanda de nutrientes es máxima, la acumulación de N y P sigue en progreso.
	R2	71	Ampolla, oscurecimiento de estigmas y secado (12 días después de floración). El color de los granos es blanco y con fluido claro con un alto índice de humedad (85%). Comienza el llenado del grano.
	R3	80	Grano lechoso, los estigmas se secan, los granos alcanzan su color final y el fluido es lechoso, resultado de acumulación de almidón (20 días después de floración).
	R4	90	Grano masoso, la acumulación de almidón y nutrientes es rápida, el interior del grano adquiere una consistencia masosa. Comienzan a dentarse los granos y la humedad es del 70% (26-30 días después de la floración).
	R5	102	Grano dentado, la mayoría de los granos están dentados, la humedad se ha reducido (55%), y el contenido de almidón es mayor (38-42 días después de floración).
	R6	112	Madurez fisiológica, se forma una capa negra en la base del grano (50-60 días después de floración), impidiendo el movimiento de nutrientes y materia seca al grano, la humedad tiene un valor de alrededor de 35% y los granos son fisiológicamente maduros, aunque se recomienda una humedad del 14.5% para su almacén.

Fuente: Abendroth *et al.*, 2011.

\*DAS: número aproximado de días después de la siembra en tierras bajas tropicales, donde las temperaturas máxima y mínima pueden ser de 33°C y 22°C, respectivamente. En los ambientes más fríos se amplían estos tiempos.

VT corresponde a la floración masculina, R1 corresponde a la floración femenina.



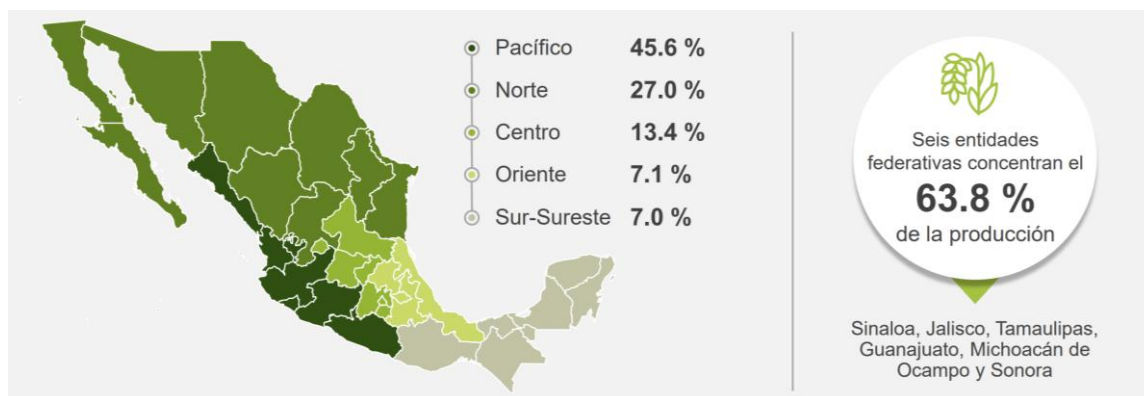
**Figura 3.** Etapas fenológicas del maíz. Tomada de Ciampitti *et al.*, 2016.

### **4.1.3. Importancia Mundial**

El maíz es el cereal más producido y consumido del mundo, además de la alimentación humana, es un componente vital de la alimentación animal. Estados Unidos es el principal productor y exportador de maíz, otros grandes productores son China, Brasil, Argentina, Ucrania e India; aunque su producción está destinada principalmente al consumo interno. Con la población en constante aumento es difícil sustentar la demanda con los medios disponibles de cultivo de alimentos, por lo tanto es necesario realizar esfuerzos para aumentar la producción y el contenido de nutrientes, sin tener que aumentar el área de siembra y la ingesta de alimentos: “Hambre cero”, uno de los objetivos del Desarrollo Sostenible (Arwal *et al.*, 2023). Actualmente, la producción mundial de maíz aumentó un 6.84%, estimando un total de 1.241.557.811 miles de toneladas (Knoema, 2023).

### **4.1.4. Importancia Nacional**

El maíz es el cultivo con mayor importancia económica, política, alimenticia y cultural. Según el censo agropecuario de 2022, la producción anual de este grano es de 21.926.226 toneladas, con una superficie sembrada de 6.077.029 hectáreas, ocupando el 7° lugar de producción a nivel mundial (INEGI, 2023; SADER, 2023). Actualmente se cultiva en los 32 estados, y se destinan 30 millones de toneladas anuales para el consumo directo, siendo Sinaloa la entidad líder productora del grano (Figura 4). Alrededor del 40% del grano proviene de diversos y pequeños cultivos nativos de campesinos, cerca de un tercio de los terrenos extensivos viene del norte del país y otro tercio es importado de Estados Unidos (Rosado y Villasante, 2021).



**Figura 4.** Producción de maíz en México. La mayor parte de los estados del Pacífico producen 34.6 millones de toneladas de los principales granos: arroz, cebada, frijol, maíz amarillo, maíz blanco, sorgo y trigo. Tomada de INEGI, 2023.

El maíz y sus variedades son fuente indispensable de la alimentación mexicana, usados para diversos y numerosos platillos. El desarrollo de las culturas prehispánicas se atribuye a su cultivo y aprovechamiento, que no solo se limita al ámbito gastronómico, o el uso del grano, otras partes de la planta se utilizan de diversas formas. El maíz representa un legado cultural y agrícola, que ha moldeado a comunidades y prácticas a lo largo de la historia, extendiendo su importancia a niveles sociales y culturales, es un cultivo de tradición y desarrollo. Dada su importancia, uno de los principales objetivos del Gobierno de México, es el incremento de la producción nacional de este grano, satisfaciendo las necesidades de la población mexicana por medio de programas como “Producción para el Bienestar y Precios de Garantía”, para alcanzar la autosuficiencia alimentaria (SADER, 2020).

#### 4.1.5. Requerimientos del cultivo

El maíz se siembra en una gran variedad de regiones agroecológicas, con altitudes que van desde los 0 metros hasta cerca de los 4.000 m, es sembrado en zonas de precipitación pluvial desde menos de 400 mm hasta los 3.000 mm, adaptándose a tipos de suelo y climas muy variables. Aunque su desarrollo es notablemente mejor en regiones: con climas cálidos (21-27°C) y con altas precipitaciones (600-1500 mm), fotoperiodos largos, suelos bien estructurados con textura intermedia (franco-arenoso a franco-arcilloso), pH ligeramente ácido

a neutro (pH 5.5-7) y un contenido rico en materia orgánica, con buen drenaje (Australian Government, 2008; Cook et al., 2005; Kato et al., 2009). Cabe mencionar que el maíz es un cultivo exigente en agua, por lo tanto, sensible al estrés por sequía, aunque puede tolerar temporalmente condiciones secas. Sin embargo, las heladas ocupan extrema importancia, pues pueden provocar la pérdida de toda la cosecha (Ortega, 2003; Birch *et al.*, 2008).

En cuanto a la fertilización, el cultivo demanda diferentes cantidades de nutrientes según el rendimiento deseado. Siendo el nitrógeno el nutriente de mayor extracción por parte del cultivo, seguido del potasio, y en menor proporción el fósforo. Cabe resaltar que la dosis de fertilización depende en mayor medida del nivel de nutriente del suelo y la meta del rendimiento (Cuadro 3). Para el cálculo de esta, es indispensable contar con un análisis de suelo (Fertilab, 2015).

**Cuadro 3.** Cantidad de nutriente extraído por el cultivo de maíz.

Nutriente	5 t/ha	10t/ha	15t/ha	20t/ha
Nitrógeno	110 kg/ha	220 kg/ha	330 kg/ha	440 kg/ha
Potasio	60 kg/ha	200 kg/ha	135 kg/ha	200 kg/ha
Fósforo	50 kg/ha	100 kg/ha	250 kg/ha	400 kg/ha

Nutrientes extraídos para rendimientos de 5, 10, 15 y 20 t/ha de maíz, sin considerar el suministro de nutrientes del suelo ni eficiencia de su uso. Tomado de Fertilab, 2015.

Para un correcto desarrollo es necesario cubrir estas cantidades, de lo contrario, las carencias y excesos repercuten y se manifiestan en el crecimiento, desarrollo, y aspecto de las plantas (Figura 5).



**Figura 5.** Síntomas en plantas de maíz por nutriente mineral. a) Deficiencia de N: afecta de manera severa la calidad del cultivo, los síntomas están presentes en hojas que se tornan de color amarillo y mazorcas sin granos en puntas. b) Deficiencia de P: afecta principalmente al proceso de fecundación y a un pobre desarrollo del grano, los contornos de las hojas se tornan color púrpura. c) Deficiencia de K: la planta resulta muy sensible a ataques por hongos, porte débil y mazorcas sin granos en las puntas. Tomado de INIFAP, 2022.

#### 4.1.6. Manejo agronómico

**Preparación del suelo.** El principal objetivo de esta actividad es maximizar el crecimiento de raíces, para lograr un adecuado almacenamiento de agua y un uso eficiente de los nutrientes por parte del cultivo (Acevedo *et al.*, 2011). Para ello se lleva a cabo el “barbecho” técnica de eliminación de maleza, con implemento (azadón) o maquinaria agrícola. Para el maíz, el barbecho debe ser profundo entre 30-40 cm posterior al cultivo anterior (INIFAP, 2017).

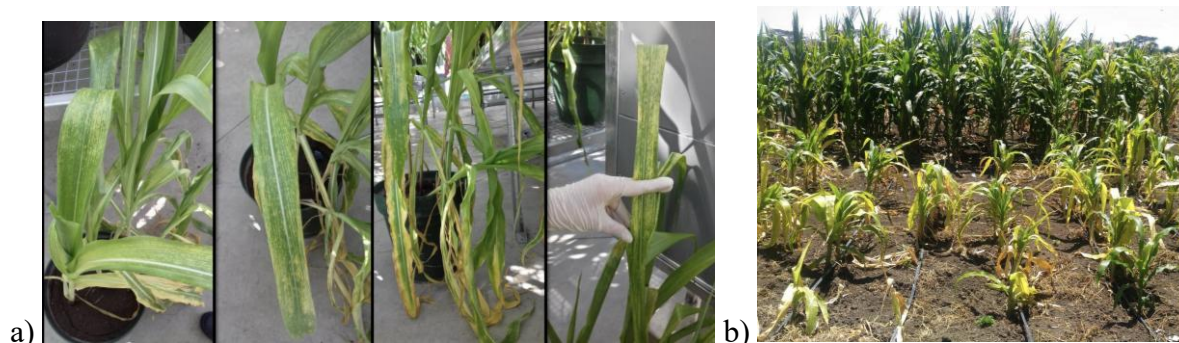
**Siembra.** La fecha de siembra varía según la localidad, sin embargo, se sugiere comenzar cuando la temperatura del suelo sea mayor a 11°C, de otro modo el crecimiento de la radícula y el coleóptilo pueden verse comprometidos, causando pudrición de la semilla, y una menor emergencia del cultivo (Acevedo *et al.*, 2011). Las distancias de siembra y la cantidad de semilla por golpe determinan la densidad y la cantidad de semilla a utilizar, de esta manera la densidad se calcula como la cantidad de plantas por hectárea. El rango más utilizado en siembras comerciales va de 50.000 - 55.000 plantas por hectárea. La cantidad de semilla y la distancia de siembra en la agricultura tradicional de la región corresponde a 3-4 semillas por golpe, a una profundidad de 3-5 cm y una distancia de 75-80 cm entre plantas (INTA, 2019).

**Control de malas hierbas.** Para lograr altos rendimientos de maíz, es necesario la conservación de un sitio libre de maleza, sobre todo durante los primeros 50 días después de la emergencia. El control puede ser químico o manual. Para el primero se recomienda realizarlo a los 24 y 40 días después de la siembra (INIFAP, 2017).

**Cosecha.** Esta se puede realizar de forma manual o mecánica, según la maquinaria accesibilidad, y pendiente del terreno. La cosecha mecánica se debe realizar cuando el grano alcance entre el 14-20% de humedad, y la manual cuando al desprender un grano se observe en su base una capa negra y las hojas de la planta se hayan tornado de color café indicando la madurez fisiológica de la planta (INIFAP, 2017).

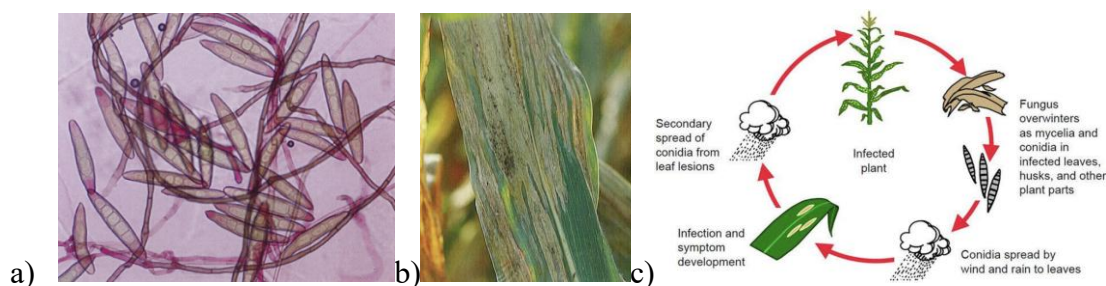
#### **4.1.7. Plagas y enfermedades**

**Necrosis letal del maíz.** Es causada por la infección mixta y sinérgica del virus del moteado clorótico del maíz y cualquiera de los virus que infectan al maíz de la familia Potyviridae. La distribución engloba algunos países del continente africano, Asia, y América; en el caso de México existen reportes que indican su presencia en algunas localidades del estado de Veracruz. De manera individual los virus causan mosaico y retraso del crecimiento de leve a moderado, mientras que la infección mixta resulta en necrosis marginal y apical de las hojas, retraso del crecimiento grave y mosaico. Por lo general estas plantas resultan ser estériles y la producción de las mazorcas es baja o nula (Redinbaugh y Stewart, 2018). Esta enfermedad puede transmitirse por las mosquitas relámpago (trips) (*Frankliniella williamsi* y *F. occidentalis*), escarabajos, pulgones, gusanos de la raíz y semillas infectadas. Se sugiere utilizar semilla libre del virus (de preferencia certificadas), limpiar y desinfectar herramientas de trabajo antes y después de su uso, eliminar malezas que pueden servir como reservorio, recolectar y compostar los residuos de la cosecha, eliminar plantas infectadas, concentrar el periodo de siembras en un rango de tiempo establecido, y monitorear constantemente para detectar plantas infectadas (CABI, 2024; SENASICA, 2024).



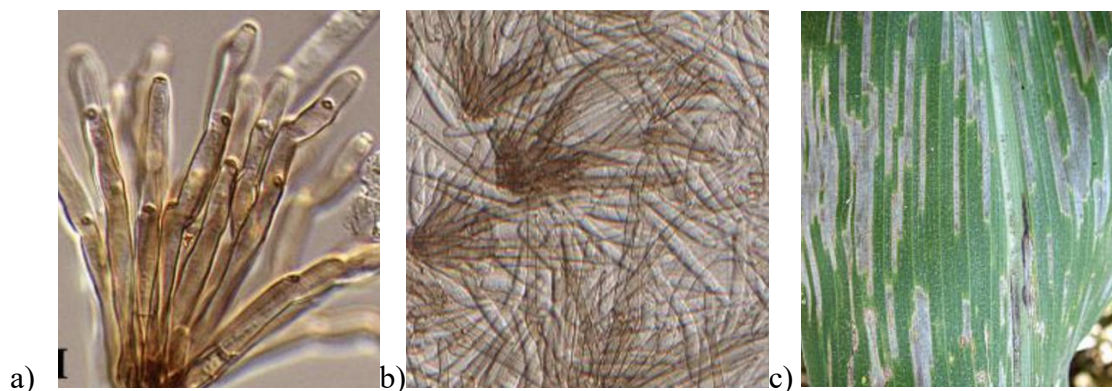
**Figura 6.** a) Síntomas de la necrosis letal del maíz en invernadero. b) Síntomas en campo. Tomado de Carvalho, 2018.

**Tizón de la hoja o Tizón del Norte (*Setosphaeria turcica*).** Es una enfermedad de naturaleza fúngica, cuenta con distribución global. Afecta principalmente a los cultivos de maíz y sorgo. La infección puede ocurrir en cualquier estadio del cultivo, siendo el más susceptible después de la antesis, y su propagación es por vía aérea. Produce lesiones alargadas de color verde grisáceo pálido, con forma elíptica que van desde 3-15 cm de longitud, que posteriormente adquieren una tonalidad negruzca. Los síntomas comienzan en las hojas inferiores progresando a las superiores, desintegrándolas y por lo tanto afectando de manera significativa a la disminución en rendimiento del grano. Se sugiere utilizar semillas certificadas resistentes a plagas, práctica de rotación de cultivos con leguminosas, recolección y descomposición de residuos de cultivos anteriores en un solo lugar, y la aplicación necesaria de fungicidas recomendados en la etapa temprana de enfermedad (Landeras y García 2006; Suresh, 2024).



**Figura 7.** Tizón de la hoja. a) Hifas y conidios oscuros muy tabicados. b) Planta afectada con esporulación negruzca del hongo. Tomado de Landeras y García, 2006. c) Ciclo de transmisión de *Setosphaeria turcica*. Tomado de Suresh, 2024.

**Mancha gris del maíz.** *Cercospora zae-maydis* y *Cercospora zeina*, son los agentes causales más importantes, la distribución de la primera es global, mientras que la segunda presenta una distribución regional: noreste de EE.UU., Brasil, África, China y Nepal. Provoca lesiones rectangulares, con bordes afilados en las hojas, vainas y brácteas (Can-Xing *et al.*, 2022). Las lesiones que se expanden son color canela y se van tornando grises a medida que el patógeno comienza a esporular en el envés de las hojas, pudiendo causar muerte prematura de la planta, o en el mejor de los casos limitando el rendimiento, debido a la pérdida de área foliar sintética. Los periodos prolongados de rocío, niebla y clima nublado son propicios para el desarrollo y propagación de la enfermedad. La sugerencia recae sobre el uso de genotipos de plantas resistentes, rotación de cultivos con leguminosas e implementación de un sistema de tratamiento de residuos de cultivos anteriores (Suresh, 2024). En el Norte de EE. UU. De 2016-2019 esta enfermedad causó las mayores pérdidas en rendimiento estimadas de cualquier enfermedad del maíz (Mueller *et al.*, 2020).

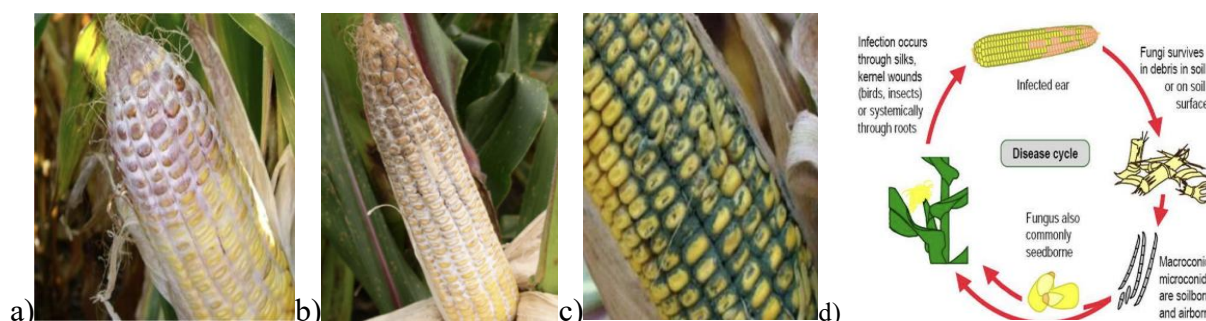


**Figura 8.** Mancha gris del maíz. a) Conidióforos. b) Fascículos de conidióforos en la superficie de la hoja. c) Lesiones en la hoja del maíz. Tomado de Crous *et al.*, 2006.

**Podredumbre de la mazorca.** *Fusarium verticilloides*, *Stenocarpella maydis*, y *Aspergillus flavus*, son los principales agentes causales. La importancia de esta enfermedad radica en el daño severo al rendimiento del grano, riesgo de micotoxinas y la presencia de una alta tasa de variabilidad ambiental (Woloshuk *et al.*, 2014). De manera general la infección es producida por filamentos que se transmiten por suelo y aire, ingresando a heridas en el grano o de manera

sistémica a través de las raíces, infectando a las plántulas de maíz y granos en desarrollo, durante un tiempo la planta puede no presentar síntomas, pero una vez presentes las plantas pueden sufrir pudrición del tallo, hojas, mazorca y grano (Suresh, 2024).

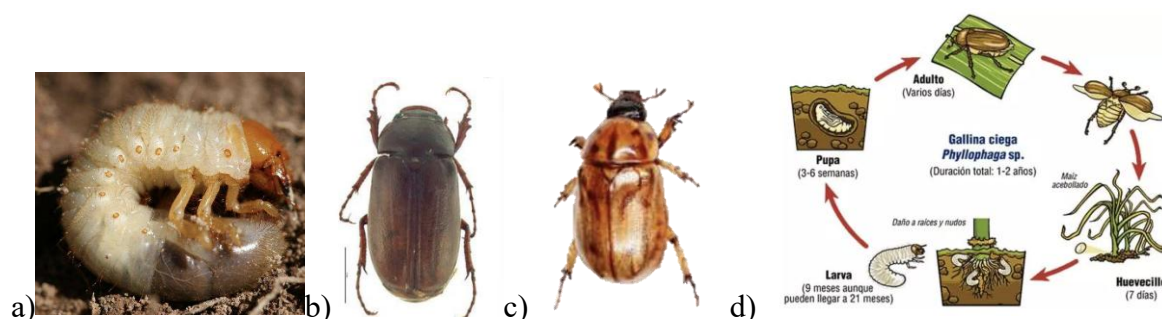
A continuación se describen los diferentes tipos de podredumbre. Podredumbre por *Fusarium*, su distribución es común en todos los cultivos de maíz, favoreciéndole el clima cálido después de la etapa de floración. Se caracteriza por la presencia de un micelio color rosa pálido sobre los granos y producen fumonisinas (Suresh, 2024). Podredumbre por *Diplodia* (*Stenocarpella maydis*), por lo general se distribuye en EE.UU. y Canadá, el síntoma principal es la presencia de un moho blanco que comienza en la base de la mazorca, tornándose después en marrón grisáceo, pudriendo toda la mazorca y la aparición de picnidios en las brácteas o los granos (Crop Protection Network, 2019). Y podredumbre por el género *Aspergillus*, su distribución es más común en el sur de los EE.UU., aparece como un moho verde oliva en los granos de la punta de la mazorca, las micotoxinas producidas son las aflatoxinas (Suresh, 2024).



**Figura 9.** Podredumbre de la mazorca. a) Podredumbre por *Fusarium*. Tomado de Suresh, 2024. Podredumbre por *Diplodia* (*Stenocarpella maydis*). Tomado de Crop Protection Network, 2019. c) Podredumbre por el género *Aspergillus*. Tomado de Suresh, 2024. d) Ciclo de la enfermedad. Tomado de Suresh, 2024.

**Gallina ciega.** *Phyllophaga spp.* y *Cyclocephala spp.* La primera se encuentra ampliamente distribuida en América desde Canadá hasta Panamá; en África: Sudáfrica y Sudán; en el continente asiático: Bangladesh, Corea del Norte, Corea del Sur, China, India, Japón; y en Oceanía en Australia y Nueva Zelanda. Mientras que *Cyclocephala* se encuentra restringido al continente americano (Gúzman *et al.*, 2014). Ambos organismos son polífagos, atacan a una

gran variedad de pastos y cultivos de granos (Morón *et al.*, 2014). Para el caso del maíz, la etapa de interés es el tercer estadio larval: que es la más longeva y voraz, donde se alimenta de las raíces de las plantas, causando marchitez, muerte de plántulas y reducción del vigor (Plantwise, 2020). Es importante mencionar que no todas las larvas de gallina ciega causan daños, la mayoría proporcionan beneficios al suelo de manera similar a las lombrices de tierra (Morón *et al.*, 2016). Las recomendaciones para el control de una posible plaga, incluye: fecha apropiada de siembra, rotación de cultivos, barbecho, cantidad apropiada de materia orgánica, y algunos plaguicidas (Aragón *et al.*, 2005; SENASICA, 2011).



**Figura 10.** Gallina ciega. a) Larva de tipo escarabeiforme, de cuerpo robusto y tres pares de patas bien desarrolladas, se distinguen por presentar gálea y lacinia maxilar completamente fusionadas. Las larvas de ambos generos son difícilmente diferenciables (King, 1994). Tomado de Katovich, 2012. b) Adulto del género *Phyllophaga*. Tomada de Engasser, 2015. c) Adulto del género *Cyclocephala*. Tomado de Vitanza, 2016. d) Ciclo de vida de *Phyllophaga*. Tomada de Generación Verde, 2016.

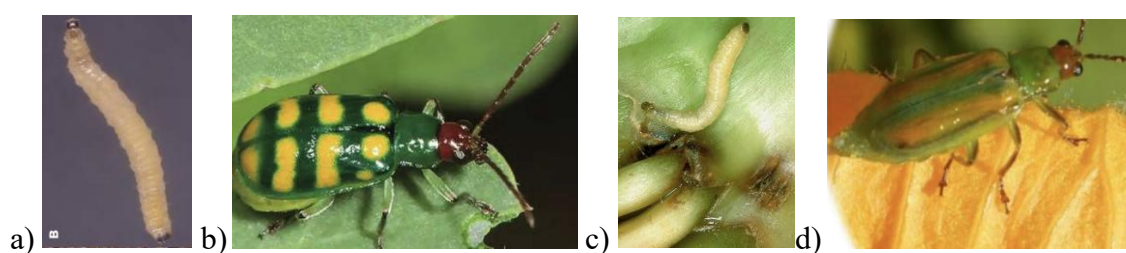
**Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).** Este insecto se distribuye en toda la República Mexicana. Afecta a numerosos cultivos (sorgo, cacahuete, caña de azúcar, frijol, entre otros) siendo el maíz el más importante. La larva recién emergida es de color blanquecino a amarillo con pequeños puntos negros, la cápsula cefálica es de color negra, a medida que avanza el desarrollo su coloración se torna más oscura, puede ir desde el verde claro al café o negro (SENASICA, 2021). En el cultivo de maíz las larvas ocasionan pérdidas en la producción, al consumir un promedio de  $179.7 \text{ cm}^2$  de superficie foliar. Ocasionalmente la larva puede alimentarse del elote. Su presencia se detecta al observar hojas perforadas, excremento húmedo cerca del cogollo y de las hojas superiores de la planta (SENASICA, 2021).

Para controlar esta plaga se sugiere mantener un buen control de maleza, respetar los periodos de siembra, introducción de organismos benéficos como *Telenomus* sp. y *Trichogramma* sp. (ambos parasitoides de huevos), insecticidas como azadiractina y spinosad (SENASICA, 2021).



**Figura 11.** Gusano cogollero. a) Larva de *Spodoptera frugiperda*. Tomado de Wagner, 2019. b) Ciclo de vida. Tomado de Lezaun, 2014.

**Gusano alfilerillo (*Diabrotica* sp.).** *Diabrotica balteata* y *Diabrotica virgifera zea*. Su distribución está confinada dentro del continente americano desde el sur de EE.UU. hasta Colombia para el caso de la primera y el Caribe para la segunda. Ambas inciden en cultivos de importancia económica, causando pérdidas de rendimiento de grano (Purdue University, 2014). Los adultos de *Diabrotica* sp. se alimentan de las hojas e inflorescencias, mientras que los estadios larvarios se alimentan de la raíz, disminuyendo la capacidad de anclaje de la planta al suelo. Las larvas de *Diabrotica b.* son de color blanco, que adquieren una coloración parda con el transcurso del tiempo, antenas color amarillo oscuro, cabeza color café rojizo y cuerpo verde brillante con cuatro manchas amarillas y transversales (SENASICA, 2020). En cuanto a *Diabrotica v.* las larvas son color blanco cremoso con la cabeza y parte final del abdomen de color verde opaco con amarillo (SENASICA, 2020).



**Figura 12.** Gusano alfilerillo. a) Larva de *Diabrotica b.* Tomada de Buss, 2020. b) Adulto de *Diabrotica b.* Tomada de Blanco y Garbanzo, 2015. c) Larva de *Diabrotica v.* causando daños en raíz. Tomada de Purdue University, 2014. d) Adulto de *Diabrotica v.* Tomada de Naturalista, 2019.

#### 4.1.8. Agroecología

La agroecología es una disciplina científica, un conjunto de prácticas y un movimiento social. Como ciencia estudia la forma en que los diferentes componentes de un agrosistema interactúan. Como conjunto de prácticas, busca sistemas agrícolas sostenibles que optimicen y establezcan la producción. Y como movimiento social, persigue papeles multifuncionales para la agricultura, promoviendo la justicia social, contribuyendo a la identidad y cultura, además de reforzar la economía rural (FAO, 2018).

**Cuadro 4.** Los diez elementos de la agroecología.

Elemento	Descripción
Diversidad	La diversificación es fundamental en transiciones agroecológicas, garantizando seguridad alimentaria y nutrición. Conserva, protege y mejora los recursos naturales.
Creación conjunta e intercambio de conocimientos	Las innovaciones agrícolas responden mejor a los desafíos locales cuando se crean conjuntamente mediante procesos participativos.
Sinergias	Su creación potencia las principales funciones de los sistemas alimentarios, favoreciendo la producción y múltiples servicios ecosistémicos.
Eficiencia	Las prácticas agroecológicas innovadoras producen más utilizando menos recursos externos.
Reciclaje	Reciclar significa una producción agrícola con menos costos económicos y ambientales.
Resiliencia	Mejorar la capacidad de recuperación de las personas, las comunidades y ecosistemas es fundamental para lograr sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles.
Valores humanos y sociales	Proteger y mejorar los medios de vida, la equidad y el bienestar social es fundamental para lograr sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles.

---

Cultura y tradiciones alimentarias	Mediante el apoyo a dietas saludables, diversificadas y culturalmente apropiadas, la agroecología contribuye a la seguridad alimentaria y la nutrición al tiempo que mantiene la salud en los ecosistemas.
Gobernanza responsable	Para lograr una alimentación y agricultura sostenibles es necesario adoptar mecanismos de gobernanza transparentes, inclusivos y eficaces, basados en la rendición de cuentas a diferentes escalas, de la local a la nacional y la mundial.
Economía circular y sostenible	Las economías circulares y solidarias que reconectan a productores y consumidores ofrecen soluciones innovadoras para vivir dentro de los límites del planeta y a la vez que afianzan las bases sociales para el desarrollo inclusivo y sostenible.

---

Tomado de FAO, 2019 y SADER, 2023.

**Agricultura tradicional.** En México la producción de maíz presenta una estructura bimodal muy contrastante: por un lado, los pequeños productores ocupan el mayor porcentaje de tierras productivas, teniendo como objetivo el autoconsumo; por otro lado, los grandes productores siembran en las pocas zonas de riego del país y su objetivo es la venta de la cosecha (Bellón, 2003). Actualmente algunos pequeños productores aún recurren al sistema tradicional agrícola “milpa”. La producción sostenible de cultivos tradicionales es esencial para mantener el equilibrio entre la agricultura, la economía rural y la conservación del medio ambiente (SADER, 2024).

La milpa se conforma por un policultivo, teniendo como especie principal el maíz, que puede ir solo o acompañado de diversas especies de frijol, calabaza, chile, entre otros, dependiendo de la región. Combinado con las características del suelo, clima, tradiciones, y saberes locales, resulta en muchos tipos de milpa con particularidades propias. La interacción entre una gran cantidad de especies convierte a la milpa en un ecosistema, en el que se aprovechan los diferentes recursos, favorecen interacciones biológicas benéficas, y fomenta una dieta equilibrada. Este sistema es un reflejo de los conocimientos, tecnología y prácticas agrícolas que hoy en día representa un patrimonio cultural y biológico de enorme valor (CONABIO, 2016).



**Figura 13.** El sistema milpa mesoamericano: prácticas tradicionales, sostenibilidad, biodiversidad y control de plagas. Tomado de Benrey *et al.*, 2024.

## 4.2. Suelo

El suelo corresponde a la capa más superficial de la corteza terrestre (1 m de profundidad aproximadamente). Está compuesto por minerales, materia orgánica, microorganismos, plantas, animales, aire y agua (Cuadro 5) (NUSSED SPAIN, 2023). Es producto de la desintegración de rocas superficiales a causa del viento, agua y temperatura; además de la descomposición de organismos que perecen y se transforman en materia orgánica. Es decir, en el suelo ocurren cambios físicos y químicos, el tiempo para la formación del suelo lo hace un recurso natural no renovable a escala humana. De ahí la importancia de proteger los suelos (INEGI, 2022; FAO, 1996). Las proporciones de cada componente son variables y le confieren propiedades distintas ya sean físicas (profundidad, textura, color) como químicas (pH, salinidad y contenido de carbono orgánico).

**Cuadro 5.** Componentes del suelo.

Componentes del suelo	Proporción ideal	Descripción
Compuestos inorgánicos	45%	Grava, arcilla, limo y arena.
Nutrientes solubles		Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Materia orgánica	2-5%	Proviene de la descomposición de organismos muertos como lombrices, hongos, bacterias, restos de materia vegetal.
Agua y gases	20-50%	Un claro ejemplo son el hidrógeno y oxígeno, que ocupan los espacios porosos libres.

La proporción e interacción entre estos dan lugar a la estructura del suelo, y esta afecta directamente al movimiento del agua, conducción térmica, crecimiento radicular, resistencia a la erosión, por lo tanto al crecimiento y desarrollo de la planta. Tomado de INEGI, 2022; NUSSED SPAIN, 2023; y modificado para esta investigación.

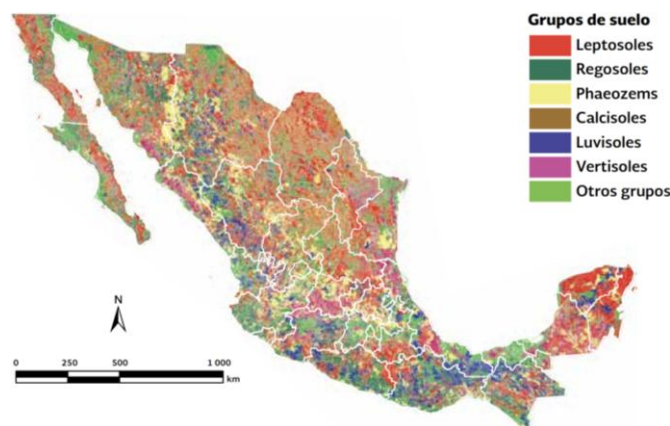
#### 4.2.1. Importancia

Su importancia radica en conformar un sistema natural vivo, dinámico, organizado y complejo que sustenta a los ecosistemas terrestres al permitir el crecimiento de un sin número de organismos, suministrándoles nutrientes, oxígeno, agua, anclaje y hábitat; desarrollando un conjunto de funciones ambientales y servicios ecosistémicos, representando un componente crítico de la biosfera. Además de intervenir en el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos y materia orgánica, provee de alimentos a diversas formas de vida, incluyendo al ser humano, pues es 95% de los alimentos que se consumen en el mundo provienen del suelo (Porta *et al.*, 2019; SADER, 2023).

#### 4.2.2. Suelo en México

En México existen 25 de las 30 unidades de suelo reconocidas por la FAO, UNESCO y la ISRIC. Siendo los leptosoles, regosoles, y calcisoles los suelos de más amplia distribución nacional (60.7%) caracterizados por ser someros y con poco desarrollo, dificultando el aprovechamiento agrícola. Los suelos fértiles y más explotados (phaeozems, luvisoles y vertisoles) ocupan apenas el 29% de la superficie. El resto está constituido por otros grupos edáficos (INEGI, 2013). En México el área rural ocupa 191.7 millones de hectáreas (97% del territorio nacional), de las cuales 29.8 millones están destinadas al uso agrícola. Del área

agrícola, 74% pertenecen a la modalidad hídrica temporal, según el censo agropecuario 2022 (INEGI, 2023).



**Figura 14.** Principales unidades del suelo en México. Tomado de INEGI, 2007.

#### 4.2.3. Fertilidad

Esta cualidad se le otorga a un suelo cuando cuenta con los nutrientes necesarios para que las plantas se desarrollen de manera óptima, su consistencia y profundidad permiten el desarrollo y fijación de raíces, para absorber y retener agua, está suficientemente aireado y no contiene sustancias tóxicas. Por lo tanto, la fertilidad es el resultado de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Si se desea sostener la productividad es necesario proponer, generar y establecer prácticas y estrategias de conservación, protección y manejo responsable del suelo (Sánchez, 2007; FAO, 1996).

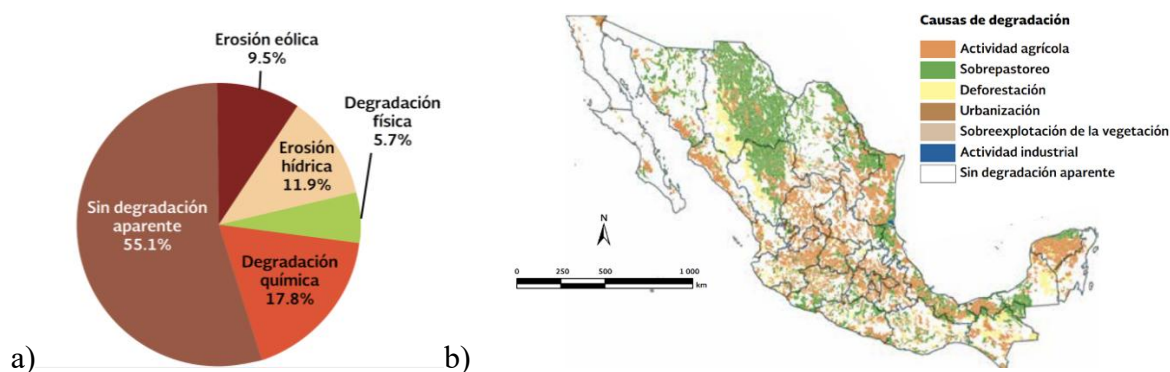
#### 4.2.4. Degradación

La buena salud de los suelos es esencial para preservar los ecosistemas y la biodiversidad, regular el clima, producir alimentos, purificar agua. A medida que el suelo se degrada o se va perdiendo por erosión (hídrica y eólica) y/o actividad antropogénica (cambio de uso de suelo para fines agrícolas, sobrepastoreo, deforestación, urbanización, etcétera) se atenúan las funciones ambientales importantes como su productividad biológica, biodiversidad

y la capacidad actual y futura para sostener la vida de muchos organismos y humana (SEMARNAT, 2013).

Según el Atlas Mundial de la Desertificación, el 75% de los suelos del mundo se encuentra degradado, y con ello alrededor de 3200 millones de personas sufren directamente las consecuencias. De mantenerse la tendencia actual, el porcentaje podría llegar a 90% para el año 2050. Ante esta situación la UNESCO, y ANDZOA (Organismo Nacional de las Zonas Oasianas y del Arganero), pretenden llevar a cabo diversas estrategias: desarrollar un plan de acción con el fin de mejorar la protección y rehabilitación de los suelos, establecer un índice mundial de salud de suelos, iniciar proyecto piloto de evaluación y gestión sostenible de suelos y paisajes, apoyar al desarrollo de proyectos de conservación de suelos (UNESCO, 2024).

Debido a la importancia económica, política y social de la degradación del suelo, en México se han realizado diversos estudios para evaluar la magnitud de la superficie afectada, así como el tipo y el grado de afectación. Se encontró que el 45.2% de la superficie del país (Figura 15) presentó degradación inducida por el hombre y el nivel fue de alto a moderado, como procesos más importantes de degradación fueron la degradación química (involucra procesos que disminuyen la productividad biológica del suelo, frecuentemente asociada a actividades agrícolas) en segundo lugar se encuentra la erosión hídrica, seguido de erosión eólica y por último degradación física (SEMARNAT, 2013).



**Figura 15.** Degradación de los suelos en México. a) Superficie relativa afectada por procesos de degradación del suelo. b) Principales causas de degradación de suelos. Tomado de INEGI, 2002; SEMARNAT, 2013.

La degradación química está presente en todo el territorio nacional. Los tipos de esta, registrados en orden de importancia son la disminución de la fertilidad, contaminación, salinización/alcalinización y eutrofización. La poca atención que se le da al suelo en el desarrollo de actividades productivas (agrícolas, pecuarias, y forestales) se ha acompañado de técnicas que ignoran la conservación y mejora de sus propiedades, provocando que gran parte del territorio presente signos de degradación edáfica (SEMARNAT, 2013).

### **4.3. Biosólidos**

El aumento en la generación de residuos está estrechamente relacionado con el crecimiento demográfico, debido al número de demandas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios, lo cuál ha generado problemas asociados a la disposición adecuada de residuos, trayendo un impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana. Según su origen los residuos pueden clasificarse en residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP), de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003).

Los biosólidos son productos orgánicos inevitables y proporcionales al tamaño de la población, que pueden reciclarse y su aplicación tiene fines benéficos, como fertilizante mejora y mantiene la productividad y fertilidad de los suelos, además de estimular el crecimiento vegetal por el alto contenido en nutrientes. Por su naturaleza pueden contener patógenos, metales pesados, entre otras sustancias nocivas, que pueden controlarse mediante prácticas adecuadas de tratamiento y gestión (WBDG, 2015; Toze y Sidhu, 2011).

#### **4.3.1. Aplicaciones y beneficios**

Las principales aplicaciones han sido orientadas hacia el suelo con diversos propósitos, destacando la recuperación de este a causa de actividades antropogénicas como la minería,

industria, incendios, sobrepastoreo, y agricultura, siendo esta última el motivo de mayor frecuencia de su aplicación al suelo, con el fin de incrementar la fertilidad, recuperar propiedades y/o aumentar el rendimiento de los cultivos (WBDG, 2015).

En tierras agrícolas la aplicación de biosólidos aumenta el rendimiento de los cultivos al aportar materia orgánica y nutrientes de liberación lenta (nitrógeno, fósforo, calcio, hierro, magnesio y zinc), además de mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo (aumento en retención de nutrientes y agua, reducción de la erosión y compactación, mejorar la capacidad de intercambio, amortigua los cambios bruscos de alcalinidad, acidez y salinidad) (Pritchard *et al.*, 2010). El ámbito económico también presenta beneficios al compensar la demanda de fertilizantes químicos y reducir la presión de los precios, resultando en una alternativa rentable de aprovechamiento de carbono, formando un círculo de producción y consumo regenerativo. En el aspecto ambiental los principales beneficios es la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de fertilizantes químicos, contribución a la lucha contra el cambio climático e incremento de la biodiversidad de los suelos, reducción de la dependencia de fuentes no renovables. Todo ello aporta a la propuesta de una agricultura sostenible que protege el medio ambiente (Álvarez *et al.*, 2010).

#### **4.3.2. Riesgos**

El uso de biosólidos tiene potencial de ser una práctica benéfica que puede reducir la eliminación de desechos y facilitar el reciclaje de nutrientes. Sin embargo, el uso de biosólidos no está exento de riesgos, los principales impedimentos para la aceptación pública de aplicación de los biosólidos provienen de la percepción y preocupación por los impactos a la salud y al medio ambiente de diversos contaminantes presentes, riesgos de enfermedades y molestias como el hedor. Es cierto que los biosólidos pueden contener trazas de metales, productos farmacéuticos, compuestos orgánicos, pesticidas y patógenos, que, dependiendo de su origen y tratamiento, el nivel de estos contaminantes es variable (Toze y Sidhu, 2011).

Los microorganismos patógenos que pueden encontrarse en las aguas residuales pueden clasificarse en virus, bacterias, protozoos y helmintos. El riesgo de los patógenos se puede gestionar mediante el tratamiento adecuado de los biosólidos y prácticas de gestión apropiadas (Popoola *et al.*, 2023). Es por ello, por lo que la aplicación de biosólidos crudos está restringida, además de los patógenos la presencia de metales pesados (como el cromo, cobre, níquel, zinc, plomo, cadmio, entre otros) representa un potencial riesgo ambiental que puede contaminar el suelo y agua, sin embargo, estas sustancias no son tóxicas en bajas concentraciones y dosis (AWA, 2012). En México la NOM-004-SEMARNAT-2002 es una norma oficial que establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos (Cuadro 6 y 7), regulando el uso y disposición final de estos para evitar riesgos a la salud humana y ambiental, promoviendo su aprovechamiento agrícola, forestal o recuperación de suelos, siempre y cuando se cumplan con los requisitos establecidos.

**Cuadro 6.** Límites permisibles para metales pesados en biosólidos.

<b>Contaminante</b>	<b>Excelentes mg/kg en base seca</b>	<b>Buenos mg/kg en base seca</b>
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

Continúan surgiendo contaminantes desafiantes en los biosólidos que amenazan la viabilidad a largo plazo del uso agrícola directo de los biosólidos. Los microplásticos y nanoplásticos se han convertido en una preocupación importante para la salud ambiental y humana, en el caso de los biosólidos, su aplicación a la tierra ha convertido a los suelos agrícolas en uno de los mayores reservorios naturales de estas partículas. Esta área necesita más

investigación particular, porque los microplásticos son persistentes en el ambiente y pueden acumularse en el suelo (Pozzebon y Seifert, 2023).

**Cuadro 7.** Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helminto/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

NMP: número más probable, (a) Huevos de helminto viable.

- A. Excelente. Aprovechamiento de uso urbano con contacto público directo durante su aplicación y los establecidos para la clase B y C.
- B. Excelente o Bueno. Aprovechamiento para usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación y los establecidos para la clase C.
- C. Excelente o Bueno. Aprovechamiento para usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas.

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

### 4.3.3. Tratamientos de lodos y biosólidos

Las principales razones para su tratamiento son la reducción drástica de la cantidad de patógenos y contaminantes, así como del volumen, lo que garantiza un mejor manejo y viabilidad, también una reducción en la atracción de vectores (moscas, pulgas, roedores, aves). Las tecnologías de tratamiento incluyen la digestión aeróbica, incineración, compostaje, secado, deshidratación profunda/ hidrólisis térmica y tratamiento de estabilización alcalina (Popoola *et al.*, 2023).

### 4.3.4. Biosólidos porcinos en México

La carne de cerdo es un alimento de alto consumo, se estima un consumo de 18 kg anuales por mexicano. La porcicultura, línea de producción del sector agropecuario es parte de la economía social, en México existen tres sistemas de producción: tecnificado, semitecnificado y traspatio (SADER, 2020). El crecimiento del primer sistema ha incrementado su

participación, representado granjas con alto impacto ambiental, debido a los grandes volúmenes de insumos que demandan y los residuos que generan (Rivera, 2011).

Las aguas residuales generadas en granjas porcinas pueden alcanzar grandes volúmenes. Los registros indican más de 1.860 toneladas por día (Castillo, 2002), una acumulación de desechos sólidos y un mal manejo de ellos, ha tenido impactos severos en el ambiente, contaminando cuerpos de agua, contaminación atmosférica (por emisiones de amoníaco y ácido sulfhídrico), además de considerarse una fuga de energía y nutrientes (Cervantes *et al.*, 2007).

#### **4.4. Agroquímicos**

Los agroquímicos son compuestos químicos o mezclas de diversas sustancias que se emplean para prevenir, eliminar, o controlar enfermedades, insectos, maleza, entre otros organismos que perjudican la producción agrícola, así como la regulación sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. El uso de estos es importante para mantener y aumentar la producción agrícola, mejorar la calidad de los productos y la productividad laboral. Sin embargo, a pesar de sus beneficios su uso tiene efectos adversos sobre el medio ambiente, la seguridad alimentaria y la salud de los productores (Wong y Hagen, 2022).

##### **4.4.1. Fertilizante químico**

Los fertilizantes químicos son productos de origen mineral o de síntesis química que contienen por lo menos un elemento químico necesario para el ciclo de la vida de las plantas. Existe una variabilidad de contenido, presentaciones y aplicaciones. Los fertilizantes deben aplicarse eficazmente, de esta manera se pueden obtener beneficios como rapidez en resultados, mejora del estado vegetativo de las plantas y aumento en la producción de cosechas (AEFA, 2022).

Es importante recalcar al nitrógeno ( $N_2$ ) como el nutriente más importante en los agrosistemas, debido a su participación en múltiples reacciones bioquímicas implicadas en el

crecimiento, desarrollo y producción de cultivos (Álvarez *et al.*, 2003). De esta manera el suministro de  $N_2$  de síntesis química ha sido justificado por la adopción de tecnologías que basan su máxima capacidad productiva en el uso de agroquímicos. En el cultivo de maíz se ha demostrado un efecto proporcional de los rendimientos al aumentar los niveles de fertilización. Sin embargo, en la búsqueda de la productividad, se sobre estima la eficiencia del uso de los nutrientes (Gourley *et al.*, 1994).

**Beneficios.** Su aplicación es precisa y sencilla, resultando muy versátil al cubrir las necesidades específicas de diferentes cultivos. Proporcionan nutrientes de forma rápida, lo que se traduce en una mejora evidente en el crecimiento y rendimiento de las plantas (IFA, 2002).

**Desventajas.** La principal desventaja de estos insumos es la pérdida de 60% o más de la cantidad aplicada, y puede verse aumentada por procesos de lixiviación, volatilización y escorrentía, contaminado al ambiente con óxido nitroso y dióxido de  $N_2$ , además de que no contribuye a mejorar la estructura o materia orgánica del suelo (Pires *et al.*, 2023). Aunado a ellos, su mala aplicación es un problema muy común, los agricultores siguen fertilizando con cantidades fijas o excesivas de NPK, por temor a la reducción en la producción, ocasionando una fertilización innecesaria con baja eficiencia y pérdidas económicas a largo plazo. A pesar de los efectos benéficos que otorgan a los cultivos, los efectos residuales pueden causar diversas enfermedades en el hombre, además los nutrientes administrados al suelo son recursos limitados por lo cual, su uso indiscriminado genera riesgos para la seguridad alimentaria (Lacerda *et al.*, 2015).

#### 4.4.2. Impacto ambiental

El uso excesivo a gran escala y durante periodos largos de tiempo, han perjudicado al ambiente, suelo, animales acuáticos, insectos y microbioma del suelo. Los suelos de todo el mundo han reducido su fertilidad, así como la materia orgánica. Estos insumos también contribuyen al

calentamiento global, al emitir óxido nitroso a la atmosfera los fertilizantes químicos afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Sarker *et al.*, 2020).

## V. Materiales y Métodos

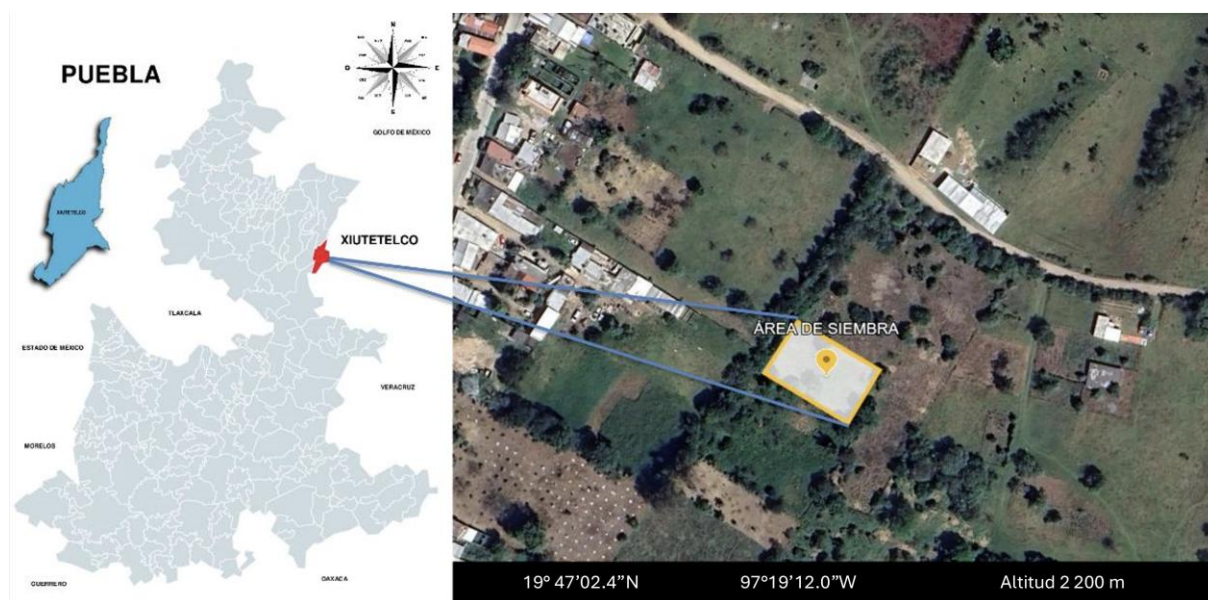
### 5.1. Ubicación y caracterización de la zona de estudio

La fase experimental tuvo lugar en el municipio de Xiutetelco, ubicado en la parte Noreste del estado de Puebla. Bajo las coordenadas Latitud 19°37' y 19°53'; y Longitud 97°18 y 97°26'. Altitud entre 1300 y 3100 m. Ocupa el 0.42% de la superficie del estado. Cuenta con 40 localidades y una población total de 42. 943 habitantes según el censo de 2020 (INEGI, 2010; INEGI, 2020).

La fisiología de este municipio tiene como provincia el Eje Neovolcánico, como subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac (91.90%) y Chiconquiaco (8.10%). En cuanto a sistemas de topomorfias: lomerío de aluvión antiguo con llanuras y Sierra volcánica de laderas escarpadas. Dando lugar a un relieve generalmente montañoso, con depresiones en la región sur y cerros bastante amplios como “La Viola”, el cuál señala la altura maxima del territorio. En la parte norte el relieve cambia de forma gradual, confirmando una topografía abrupta e irregular, con continuos ascensos y descensos. Los tipos de suelo presentes es regosol (63.93%) y andosol (32.15%). Se encuentran los tipos de rocas, ígnea extrusiva: basalto-brecha volcánica básica (70.08%), brecha volcánica básica (14.55%), toba ácida (5.09%), toba básica (4.23%) y basalto (0.49%); sedimentaria: limolita-arenisca (1.64%) (INEGI, 2010).

Xiutetelco cuenta con una variedad de climas, presentandose en granjas latitudinales, marcando una transición de los climas templados de la Sierra Norte. El rango de temperatura presente es de 12-20°C y el de precipitación corresponde a 500-2100 mm. En cuanto al uso de suelo y vegetación el 34.52% corresponde a la agricultura, 3.92% zona urbana, 48.94% pastizal y 12.62% bosque. Dentro del uso potencial de la tierra para el sector agrícola y pecuario, destacan la agricultura mecanizada estacional 42.52% y el establecimiento de praderas cultivadas con maquinaria agrícola con 47.05% (INEGI, 2010).

La localidad de “La Roma”, ubicada en este municipio, presenta una altitud de 2.200 m, un relieve tipo lomerío, clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano. El suelo y roca dominante es andosol y roca ígnea extrusiva. En cuanto al uso de suelo y vegetación predomina la agricultura (INEGI, 2010).



**Figura 16.** Ubicación geográfica del área de experimentación La Roma, Xiutetelco. Mapa realizado por M. Guadalupe Tecayehuatl Conde.

## 5.2. Materiales

### 5.2.1. Material vegetativo

La variedad de maíz que se utilizó para el experimento fue maíz criollo de la región. Se realizaron tres pruebas con el fin de evaluar la calidad de la semilla. Dichas evaluaciones cubren aspectos físicos y fisiológicos (Gutiérrez *et al.*, 2007).



**Figura 17.** Maíz criollo perteneciente al municipio de Xiutetelco, Puebla, México.

1. Daño mecánico: correspondiente a la evaluación física con la técnica verde rápido. Con el propósito de determinar el daño mecánico que las semillas presentaron en el pericarpio.
2. Viabilidad: correspondiente a la evaluación fisiológica, se determinó mediante la prueba de tetrazolio, con el objetivo de detectar zonas sin actividad metabólica en las estructuras del embrión.
3. Protrusión radicular: correspondiente a la evaluación fisiológica, propiedad aunada a la viabilidad de la semilla.

### **5.2.2. Material de laboratorio**

El material de laboratorio y reactivos utilizados fueron proporcionados por la Doctora en Ciencias Microbiológicas Vianey Marín Cevada, del departamento de Biotecnología Molecular Microbiana en el Instituto de Ciencias de la BUAP, y el almacén de la Facultad de Ciencias Biológicas de la BUAP. Dicho material fue empleado en las pruebas de semilla: Estereomicroscopio STEMI 305 Binocular Carl Zeiss®, reactivo VERDE RAPIDO Labessa, indicador rojo tetrazolio.

## **5.3. Tipos de insumos utilizados**

### **5.3.1. Fertilizante orgánico**

El biosólido porcino que se utilizó fue proporcionado por Granjas Carroll de México, S. de R. L. De C.V. (bajo las coordenadas Latitud N 19°37'24.5'' y Longitud O 97°18'23.19'', a una altitud de 2380), que se obtuvo del método de *Producción en Cama Profunda de Paja*, utilizado en la etapa de destete y engorda de los cerdos. El método de cama profunda consiste en mantener a los cerdos durante las etapas ya mencionadas, sobre una cama de paja de cebada.



**Figura 18.** Manipulación y fermentación de la cerdaza en el sitio de estudio.

**Composteo de la cerdaza.** La cerdaza se transforma a través del proceso de composteo ocurrido en las granjas durante las 26 semanas que los cerdos permanecen en el edificio. Durante su estancia, los cerdos pisan y remueven las capas de paja con las excretas, saturándolas de humedad y compactándolas con su propio cuerpo, provocando el intercambio de gases, favoreciendo el proceso de degradación de la materia orgánica. De esta manera, es posible obtener un subproducto estabilizado por este proceso de descomposición (Granjas Carroll de México, s.f.; FAO, 2013). Previo a la siembra, en campo se realizó un proceso de fermentación del biosólido (Figura 18), adicionándole una mezcla de melaza y agua, esto con el fin de favorecer la actividad microbiológica, que además adiciona, calcio, magnesio y potasio provenientes de la melaza (Restrepo, 1998). Dicho proceso tuvo duración de dos semanas, posteriormente se incorporó al suelo de forma manual, con ayuda de un azadón. Se reservó durante 10 meses.

### 5.3.2. Fertilizante químico

Los fertilizantes químicos utilizados fueron YaraBela™ NITROMAG, fertilizante granular de nitrato de amonio, de fácil manejo que permite una distribución homogénea en campo, y YaraVita® MAIZEBOOST, producto de fosfato foliar, diseñado para proporcionar una acción rápida, que fortalece a los cultivos y los ayuda a superar las condiciones climáticas adversas (Yara, 2022).

**Cuadro 8.** Composición química de fertilizantes sintéticos.

Agroquímico	Nutriente		
	Nitrógeno Total	N	27%
YaraBela™	N- Nítrico	$NO_3^-$	13.7%
NITROMAG	N- Amoniacal	$NH_4^+$	13.3%
	Magnesio	MgO	6%
	Calcio	CaO	4%
	Fósforo	$P_2O_5$	29.5%
YaraVita®	Potasio	$K_2O$	5%
MAIZE BOOST	Magnesio	MgO	4.5%
	Zinc	Zn	3.1

Tomado de Yara, 2022.

#### 5.4. Diseño Experimental

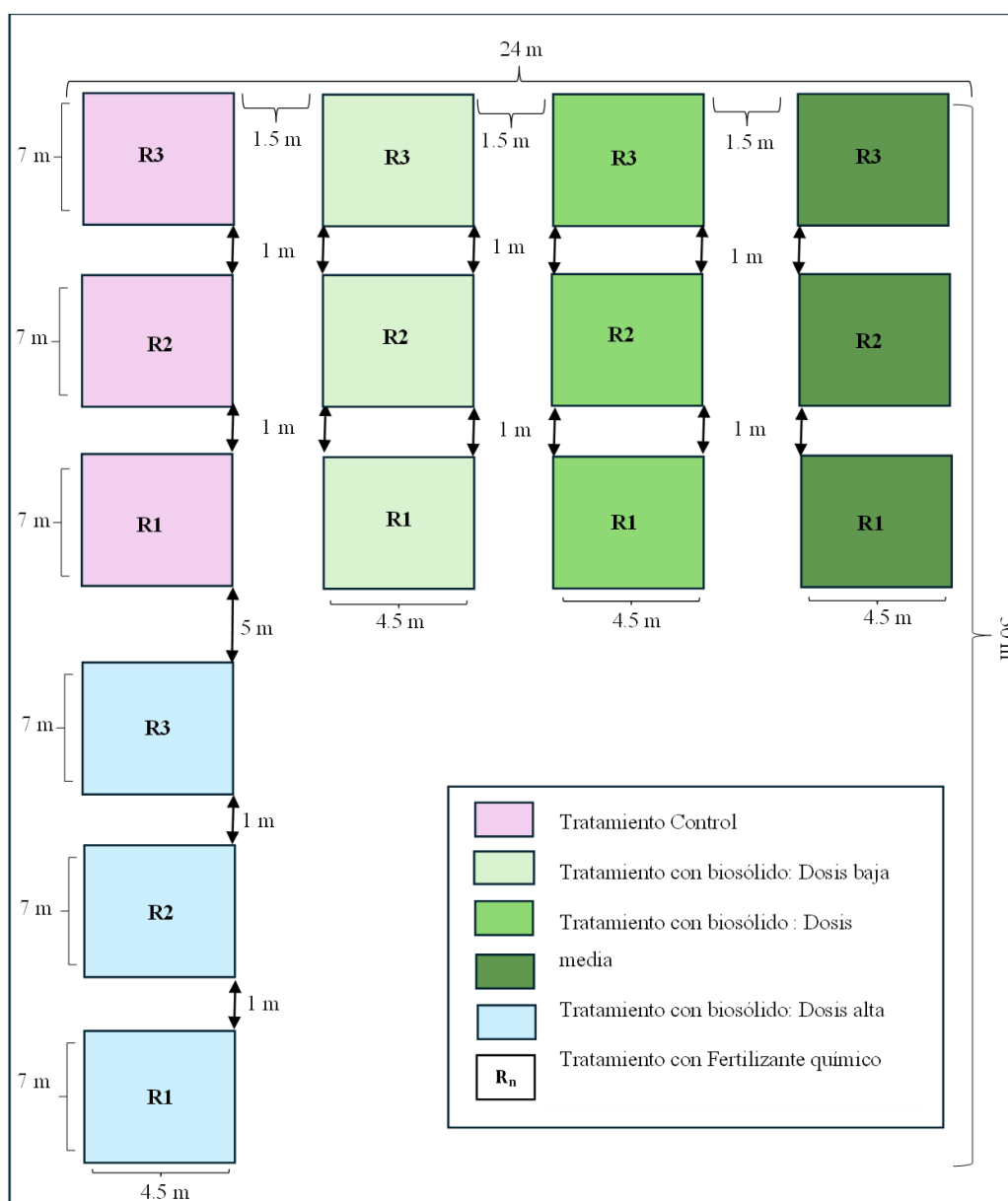
Para el experimento, en el caso del biosólido porcino, se aplicó el diseño experimental por bloques, con cuatro tratamientos y tres repeticiones para cada uno. Los tratamientos en estudio y dosis del biosólido porcino se presentan en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Tratamientos evaluados en los cultivos de maíz con la aplicación del biosólido porcino.

Tratamiento	Descripción	Dosis por hectárea
1	Dosis mínima $4 \text{ kg}/\text{m}^2$	40 ton/ha
2	Dosis media $8 \text{ kg}/\text{m}^2$	80 ton/ha
3	Dosis alta $12 \text{ kg}/\text{m}^2$	120 ton/ha
4	Control libre de aplicación	Control libre de aplicación

##### 5.4.1. Delimitación del área de siembra

El área total asignada para el sitio de estudio corresponde a  $1.200 \text{ m}^2$  con dimensiones de 50 metros de largo por 24 metros de ancho. El área de siembra fue dividida en tres secciones en base al fertilizante utilizado: I) biosólido porcino, II) control y III) fertilizante químico. La sección I fue dividida en tres subsecciones según la dosis utilizada: dosis baja, dosis media y dosis alta. De esta manera resultan cinco tratamientos, con tres repeticiones (parcelas) para cada uno (Figura 19). El área designada para cada repetición son  $31.5 \text{ m}^2$  (7 metros de largo con 4.5 m de ancho).



**Figura 19.** Diseño experimental y ubicación espacial de los tratamientos en el cultivo de maíz. Cada parcela presenta un área de siembra de  $31.5 \text{ m}^2$ : seis surcos y 27 semillas por surco, con un total de 162 semillas.

#### 5.4.2. Método de aplicación

**Biosólido porcino.** Para la aplicación de la dosis de biosólido se utilizaron contenedores de plástico con volúmenes de 20 L y una báscula digital para determinar la cantidad de biosólido que corresponde administrar a cada tratamiento. Posteriormente se incorporó el biosólido al suelo con ayuda de un azadón.

**Fertilizante químico.** Para el tratamiento de fertilizante químico la dosis aplicada fue de 7 g de YaraBela™ NITROMAG. Se administró al día 30 después de la emergencia, la aplicación fue manual y directa al suelo (al rededor de la planta con un radio aproximado de 6 cm). La aplicación de YaraVita® MAIZE BOOST se llevó a cabo al día 50 después de la emergencia, empleando un pulverizador, la dosis empleada corresponde a una dilución al 1.5% del producto.

#### 5.4.3. Manejo agronómico

**Preparación de suelo.** El principal objetivo de preparar el suelo es que este permita maximizar el crecimiento y desarrollo de raíces, un adecuado almacenamiento de agua, y uso eficiente de los nutrientes por parte de los cultivos. Debido a las condiciones del terreno, y su accesibilidad se recurrió al empleo de azadón para desbaratar y pulverizar los terrones grandes que se encontraban en el suelo, además del retiro de maleza. De esta manera se obtuvo una buena cama de siembra que permitiera aireación y absorción de agua.

**Siembra de maíz.** La siembra se llevó a cabo el 19 de marzo 2023. Se realizó de manera manual, depositando tres semillas por punto a una distancia de 75 cm entre plantas y surcos, a una profundidad de 5 cm, presentándose la emergencia 11 días después. Obteniendo así un total de 2.430 semillas sembradas y una densidad de siembra de cinco semillas por metro cuadrado, es decir, 50.000 semillas por hectárea.



**Figura 20.** Fotografía de plántulas en el sitio de estudio.

**Control de plagas y maleza.** Es importante controlar la maleza de manera oportuna y adecuada, disminuyendo la competencia con el cultivo por recursos como la humedad, luz y nutrientes (Acosta *et al.*, 2004). Se optó por un control de maleza de métodos físicos, propios de la agroecología. Este método consiste en el deshierbe manual durante los primeros dos meses, cuidando a la plántula de posibles accidentes (desprendimiento de hojas, daños al tallo). Más tarde se utilizó el azadón para retirar las hierbas de mayor tamaño, y tijeras para retirar los tallos de la enredadera *Ipomea purpurea* L. (Figura 21), cuya presencia fue abundante durante el experimento y tuvo afectaciones en el desarrollo de hojas.



**Figura 21.** a) y b) Limpieza del terreno experimental. c) “Quebra platos” *Ipomea purpurea* L., principal maleza observada en el cultivo (Tomada de CONABIO, 2004).

**Cosecha.** La cosecha o pizca debe realizarse cuando las mazorcas están bien maduras y el grano tiene un porcentaje bajo de humedad. Esto ocurre generalmente a los 140 días en zonas cálidas y de altitudes bajas. En cambio, en zonas frías y altas tiene lugar a los 170 días o puede extenderse aún más (INIFAP, 2009). La cosecha se llevó a cabo el día 28 de octubre 2023.



**Figura 22.** Cosecha de maíz en campo a los 223 días.

## **5.5. Variables evaluadas**

Las variables de interés sobre las cuales se midió el efecto de los tratamientos fueron evaluadas en dos fases inspiradas en el desarrollo fenológico del cultivo de maíz: fase vegetativa y reproductiva. Para las evaluaciones realizadas en todas las fases, fueron seleccionadas al azar 30 plantas de maíz por cada repetición de tratamiento, mismas que fueron marcadas con una etiqueta de madera con la información correspondiente a la unidad experimental. De esta manera se contaba con 90 plantas por cada tratamiento, es decir un total de 450 individuos evaluados durante todo el ciclo fenológico del cultivo.

### **5.5.1. Variables evaluadas en la fase vegetativa**

Para la obtención de datos de esta fase se utilizó un calibrador vernier marca TRUPER® de 6” y en el caso particular de la altura de la planta y largo de la hoja (en semanas de desarrollo avanzadas), se utilizó un flexómetro TRUPER ® de 5 m.

Los datos registrados corresponden a altura de la planta, área foliar y diámetro del tallo. El área foliar se obtuvo bajo la siguiente fórmula:

$$A = \pi ab$$

Donde A, es el área foliar, a es la mitad del largo de la hoja, y b es la mitad del ancho de la hoja (variables que se encuentran ilustradas en el apartado anexo).

### **5.5.2. Variables evaluadas en la fase reproductiva**

Las siguientes variables fueron evaluadas después de haberse realizado la cosecha y el grano contaba con un porcentaje de humedad bajo. Las variables registradas fueron número de mazorca por planta, diámetro de la mazorca, longitud de la mazorca, peso de la mazorca con bráctea, peso de la mazorca sin bráctea, número total de granos y peso de granos.

Los datos para el volumen de la mazorca se obtuvieron a través de la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde V es el volumen de la mazorca, r es la mitad del diámetro de la mazorca y h es la longitud de la mazorca.

### **5.5.3. Análisis estadístico**

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para todas las variables presentó diferencias significativas en al menos un tratamiento en todas las mediciones efectuadas, la significancia estadística se estableció en el nivel  $p < 0.05$ . La prueba de Tukey HSD para comparaciones de medias, permitió encontrar las diferencias significativas entre los tratamientos. Todos los cálculos se realizaron utilizando el paquete de software R Studio ®.

## **5.6. Parámetros de estimación del fertilizante orgánico en la efectividad biológica**

Para establecer los parámetros de estimación del fertilizante orgánico a nivel del suelo, y planta que cumplan ampliamente los requisitos normativos, y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles, se pueden considerar las siguientes fuentes.

- NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000: esta norma establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Fundamentalmente en la evacuación de la calidad y determinación de las propiedades de suelo luego de la aplicación de un fertilizante orgánico.
- Los fertilizantes y su uso de la FAO: este manual proporciona información detallada sobre la determinación de necesidades de fertilizantes, incluyendo síntomas de deficiencia, análisis de suelo y tejidos vegetales. Además, ofrece una guía práctica para evaluar la efectividad de los fertilizantes orgánicos en el contexto de las normativas vigentes.
- Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del USDA: esta guía ofrece instrumentos e instrucciones para llevar a cabo evaluaciones in situ de la calidad de suelo. Permitiendo la comparación de sistemas de manejo y calidad de suelo a lo largo del tiempo.

Para esta investigación se establecieron los siguientes apartados para la comprensión conjunta de los resultados.

- Análisis fisicoquímico del fertilizante orgánico
- Altura de la planta
- Área foliar
- Diámetro del tallo
- Fase reproductiva
- Análisis fisicoquímico del suelo previo a la siembra y posterior a la cosecha

- Contenido nutrimental de la semilla

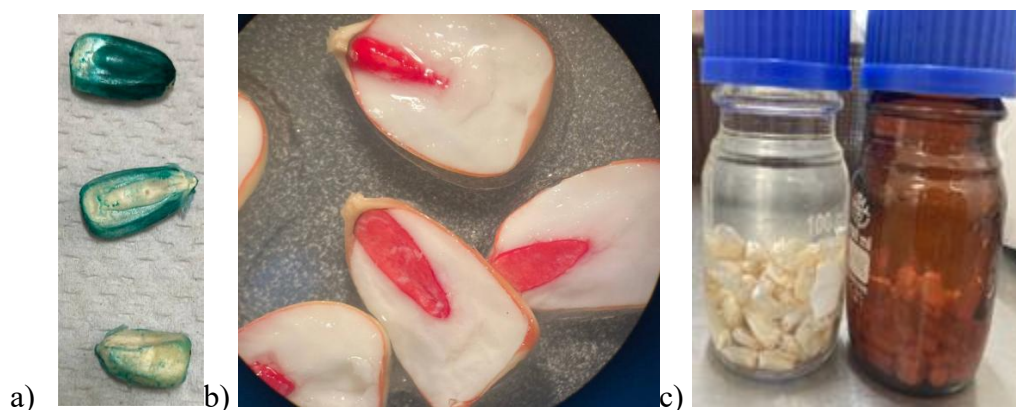
## VI. Resultados y Discusión

### 6.1. Pruebas de semilla

Las pruebas de daño, viabilidad y germinación son fundamentales para evaluar la calidad de las semillas del maíz, permitiendo determinar su capacidad de germinar y desarrollarse en condiciones óptimas, asegurando el potencial necesario para establecerse como cultivos exitosos. Los componentes de calidad de semilla incluyen los aspectos genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios (Velázquez, 2014).

#### 6.1.1. Prueba verde rápido

La prueba verde rápido es usada para revelar daños al pericarpio de las semillas de maíz, se usa principalmente para identificar daño mecánico durante el acondicionamiento (Gutiérrez *et al.*, 2007; Arango, 2018).



**Figura 23.** a) Semillas sometidas a prueba verde rápido, se revela el daño mecánico en color verde oscuro; semilla con daño severo en la parte superior, próxima a semilla con daño mecánico moderado y por último semilla sin daños significativos. b) Semillas sometidas a prueba de tetrazolio, observadas en estereoscopio (aumento 4x), el color rojo indica actividad metabólica, propio de los tejidos vivos (embrión). c) Semillas en periodo de imbibición.

Los criterios para el establecimiento de las tres categorías según el grado de daño revelado por el método de tinción de las semillas “FAST GREEN”, fueron tomados del trabajo de Craviotto y Arango (2006).

**Cuadro 10.** Prueba de Verde rápido

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>
Daño bajo nulo	Semillas con daños ligeros. Estas usualmente producen plántulas normales a menos que presenten un deterioro fisiológico.	41	18
Daño medio	Semillas con daños moderados, muestran un daño más severo que daño bajo e incluyen semillas con daños por insectos no asociados con el eje embrionario, estas semillas liberan más electrolitos y son susceptibles al ataque por microorganismos del suelo.	8	29
Daño severo	Semillas con daños severos, incluye daños asociados con el eje embrionario, áreas del pericarpio perdidas o extensivamente dañadas.	3	12
TOTAL DE SEMILLAS		52	59

Número de semillas según el daño del pericarpio, revelado con el proceso de tinción verde rápido (fast green).

En la prueba de verde rápido, las semillas fueron observadas (Figura 23) utilizando un estereoscopio y se clasificaron según el daño revelado por la prueba en el Cuadro 10. En total el 53% de las semillas de la muestra presentó un daño bajo, 33% daño medio y 14% daño severo. De presentarse un alto porcentaje de daño severo (40% o más) se aconseja el reemplazo de las semillas, ya que esta categoría este conduce a una excesiva permeabilidad y por lo tanto una pérdida masiva de azúcares, iones inorgánicos, aminoácidos y componentes celulares, quedando en concentraciones inferiores a la óptimas para procesos importantes como la respiración, actividad enzimática síntesis de macromoléculas, traduciéndose en plantas con crecimiento anormal, pobre comportamiento en campo o semillas que no germinan (Bewley y Black, 1994). En este estudio se obtuvo que el 86% pueden clasificarse como semillas viables (que germinen y cuenten con las características apropiadas para su crecimiento y desarrollo en campo). El porcentaje de la tercera categoría “daño severo” es de menor preocupación.

### **6.1.2. Prueba de tetrazolio**

La prueba de tetrazolio permite estimar la condición biológica en cuanto a viabilidad. Esta prueba se basa en la reacción química de ciertas enzimas de las células vivas con la sal de

tetrazolio, donde este último se reduce formando un compuesto rojizo llamado *formazan*. Esto permite distinguir las partes vivas de la semilla teñidas de color rojo. Por lo tanto, las semillas viables son las que se tiñen total o parcialmente de un color intenso y las semillas no viables carecen de tinción (Tadeo, 2018; Mancera *et al.*, 2007). En la prueba de tetrazolio el establecimiento del criterio para definir las categorías viable y no viable se basó en la observación de la semilla. Para el caso de la primera la región del embrión se tornó rojo intenso (Figura 2), presentando actividad metabólica, mientras que aquellas semillas sin ninguna coloración se describieron como no viables.

Los resultados se muestran en el Cuadro 11. En general se obtuvo un porcentaje total de 90% de semillas que fueron consideradas viables, es decir, aquellas que potencialmente producirán plántulas normales, mientras que solo el 10% no cumplen con estas características.

**Cuadro 11.** Prueba de tetrazolio

<b>Actividad metabólica</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>
Presente	36	44
Nula	5	3
<b>TOTAL DE SEMILLAS</b>	<b>41</b>	<b>47</b>

Número de semillas de cada repetición que presenta actividad metabólica en zona embrionaria.

### **6.1.3. Protrusión radicular**

La germinación de las semillas es una de las etapas más importantes del desarrollo de las plantas, ya que pasan de su estado de reposo a un estado activo. La determinación de la germinación tiene gran importancia para la producción agropecuaria. Esta prueba se utiliza para comprobar los resultados de viabilidad obtenidos con la prueba de tetrazolio (Mancera *et al.*, 2007; Salazar *et al.*, 2020).

Para esta prueba se consideró que la radícula había protruido de la semilla cuando alcanzó los 3 mm. Los resultados de la prueba de protrusión radicular corroboran que la viabilidad de la semilla es confiable.

**Cuadro 12.** Protrusión radicular.

<b>Protrusión radicular</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>
Sí	52	46
No	3	5
<b>TOTAL DE SEMILLAS</b>	<b>55</b>	<b>51</b>

En resumen, el análisis de viabilidad de las semillas es un aspecto clave en la evaluación del rendimiento de cultivos. La calidad de la semilla influye directamente en la germinación, establecimiento y desarrollo del cultivo, afectando la interpretación de los resultados experimentales. Por lo que el empleo de una semilla de calidad es fundamental para garantizar que cualquier efecto observado en el crecimiento y desarrollo del maíz se debe a la aplicación de los tratamientos y no a deficiencias de la semilla. Por consiguiente, a los resultados obtenidos (Cuadro 13) en las tres pruebas, se validó la calidad de la semilla de maíz criollo calificándola como buena. En resumen, se procedió a utilizar este lote en campo, garantizando un buen desarrollo del cultivo y respuesta a los tratamientos.

**Cuadro 13.** Porcentajes de viabilidad, daño mecánico y protrusión radicular.

	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>
Viabilidad (prueba de tetrazolio)	87.8%	93.6%
Daño mecánico bajo	78.8%	30.5%
Germinación (protrusión radicular)	94.5%	90.1%

## **6.2. Parámetros de Estimación del Fertilizante Orgánico en la Efectividad Biológica**

### **6.2.1. Análisis fisicoquímico y microbiológico del biosólido**

Los biosólidos son una valiosa fuente de macro y micronutrientes, así como de materia orgánica, por este motivo son aplicados a suelos agrícolas para mejorar su fertilidad y

propiedades fisicoquímicas, además de favorecer el incremento en el rendimiento de los cultivos. Los biosólidos porcinos representan un alto contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) que son útiles en la producción agrícola. Cabe resaltar que la aplicación de biosólidos al suelo es de las formas más económicas y sustentables para su eliminación, siendo poco probable que sea una causa de degradación ambiental, y contribuye a cerrar ciclos de estos elementos (Cogger *et al.*, 2006; Fitzmorris y Qi, 2015).

**Análisis fisicoquímico.** Este análisis es fundamental para evaluar su calidad e impacto en el suelo y cultivos. Los parámetros evaluados son las propiedades físicas, químicas y los contaminantes potenciales (metales pesados). Realizar este análisis es clave para determinar las dosis a aplicar en los cultivos, así como asegurar que el biosólido cumple con las normativas ambientales para su aplicación (Urina, 2022).

En el Cuadro 14 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico del biosólido porcino, comparado contra la composta de vaca que es ampliamente utilizada en la agricultura por su aporte nutricional y estructural al suelo (Ortega, 2006). El biosólido porcino presentó al menos un 14% más contenido de materia orgánica, la cantidad de nitrógeno inorgánico es baja, y se encuentra en alta cantidad de manera orgánica, el contenido de fósforo y potasio presentan valores más altos. En cuanto al contenido de micronutrientes de interés para el cultivo, la aportación del cobre es mayor y se encuentra dentro de los límites permisibles por la NOM-004. Por último, la diferencia de aporte del zinc es notablemente mayor, con límite permisible.

**Cuadro 14.** Análisis fisicoquímico del biosólido.

Propiedades Físicas	Rango Típico en Composta de Vaca	Resultados
Materia orgánica (g/kg)	180 – 700 (g/kg)	801.80 g/kg
Ceniza (g/kg)	SD	198.20 g/kg
Carbono Total (g/kg)	SD	465.08 g/kg
Relación Carbono/Nitrógeno	11/19	17.65 g/kg
Nitrógeno Total (g/kg)	10-30 (g/kg)	26.35 g/kg
Fosforo (g/kg)	2-10 (g/kg)	11.83 g/kg

Potasio (g/kg)	2-20 (g/kg)	24.65 g/kg
Sodio (g/kg)	SD	10.53 g/kg
Calcio (g/kg)	10-60 (g/kg)	14.04 g/kg
Magnesio (g/kg)	4-10 (g/kg)	11.36 g/kg
N – NO <sub>3</sub> (mg/kg)	0-878 (mg/kg)	7.00 mg/kg
Cloruros (mg/kg)	137 – 6650 (mg/kg)	1.98 mg/kg
Sulfatos (g/kg)	0 – 8.98 (g/kg)	17.82 g/kg
Cobre (mg/kg)	26 – 572 (mg/kg)	693.84 mg/kg
Hierro (mg/kg)	1106 -13886 (mg/kg)	1523.93 mg/kg
Zinc (mg/kg)	99 – 349 (mg/kg)	2929.10 mg/kg
Manganeso (mg/kg)	SD	<LOQ
Boro (mg/kg)	SD	117.15 mg/kg
pH	7.14 -8.4	9.89
Carbonatos (meq/kg)	2 – 3 (meq/kg)	66.50 meq/kg
Conductividad (mS/cm)	1 – 8 (mS/cm)	23.57 mS/cm

Análisis realizado en AgroLab, uno de los laboratorios más grandes de Latinoamérica el área de Inocuidad y Food Safety. Acreditado por la EMA (Asociación Mexicana de Acreditación, COFEPRIS, SENASICA Y CONAGUA.

\*LOQ: Límite de cuantificación

\*SD: Sin dato

\*mg/kg: ppm

En conjunto, el análisis fisicoquímico del biosólido revela en primer lugar que este producto cumple con los límites permisibles de metales pesados, en segundo lugar, su aportación de nutrientes y materia orgánica es mayor que el estiércol bovino. A pesar de apenas contribuir 28 mg/kg de N en su forma inorgánica (forma de aprovechamiento inmediato), contiene un mayor aporte de N orgánico que contribuye al aporte de N total, mismo que puede mineralizarse mediante la actividad microbiana, cuyo producto (NH<sub>4</sub>) no se infiltra al suelo, ya que es retenido por la materia orgánica del suelo (Fernández y Kaiser, 2021). Por último, a pesar de presentar un pH básico y una conductividad alta, esta característica puede ser valiosa al buscar remediar suelos ácidos, que se originan a partir de la descomposición de materia orgánica, y sobre todo la actividad humana como la agricultura intensiva con uso de fertilizantes químicos nitrogenados (Méndez *et al.*, 2016).

**Cuadro 15.** Determinación de metales pesados.

Elemento	Concentración (ppm)	Elemento	Concentración (ppm)
Hg	<LCL	Cr	<LCL
Cu	233.95	Fe	409.72
Al	209.35	Mn	<LCL
As	<LCL	Ni	<LCL
Be	<LCL	Pb	<LCL
Cd	<LCL	Zn	800.87
Co	<LCL		

Análisis realizado en AgroLab. Acreditado por la EMA (Asociación Mexicana de Acreditación, COFEPRIS, SENASICA Y CONAGUA).

\*<LCL: Por debajo del nivel más bajo de calibración

**Análisis microbiológico.** Los análisis microbiológicos son esenciales por varias razones, especialmente cuando se aplican biosólidos y compostas. Su objetivo principal es evaluar la seguridad sanitaria antes de su uso o disposición final, ya que los biosólidos pueden ser reservorios de patógenos infecciosos, por ello la NOM-004- SEMARNAT-2002, regula el uso y tratamiento de biosólidos en México, estableciendo los límites microbiológicos para su clasificación y uso.

Es por ello, por lo que se efectuó un análisis microbiológico al biosólido (Cuadro 16), evaluando los patógenos de interés como los huevos de helminto, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, coliformes fecales y *E. coli*. Los resultados no son de mayor preocupación, los límites establecidos por la norma no han sido trasgredidos para ningún organismo. En resumen, el biosólido cuenta con la seguridad sanitaria para su uso, garantizando un uso seguro y sostenible, evitando riesgos sanitarios, cumpliendo con las normas sanitarias. Ahora bien, es importante recalcar la importancia de implementar procesos de tratamiento para estos productos con el fin de reducir la cantidad de patógenos y contaminantes, así como el volumen, garantizando un mejor manejo, viabilidad económica, y una reducción en la atracción de vectores (Popoola *et al.*, 2023).

**Cuadro 16.** Determinación de microorganismos patógenos.

Determinación	Método utilizado	Unidad/ Incertidumbre	Resultado
Huevos de Helminto	NOM-004-SEMARNAT-2002 Anexo V.	H/2 g de ST	0
<i>Salmonella</i>	Método basado en NOM-114-SSA1-1994	-	Ausencia en 25 g de muestra
<i>Listeria monocytogenes</i>	Método interno AE-PCRL mediante técnicas moleculares, Método certificado AOAC	-	Ausente en 25 g de muestra
Coliformes Totales	Método interno basado en AOAC 991.14 1998	±8.45% factor de cobertura k=2	2400 UFC/g
Coliformes Fecales	Método AFNOR Método validado 3M01/2-09/89C	±7.77% factor de cobertura k=2	2900 UFC/g
<i>E. coli</i>	Método interno basado en AOAC 991.14 1998	± 6.62% factor de cobertura k=2	<10 UFC/g

Análisis realizado en AgroLab. Acreditado por la EMA (Asociación Mexicana de Acreditación, COFEPRIS, SENASICA Y CONAGUA).

\*De coliformes Totales en Placa Petrifilm, incubadas 24 h a  $35 \pm 1^\circ\text{C}$

\*De coliformes Fecales en Placa Petrifilm, incubadas 24 h a  $44 \pm 1^\circ\text{C}$

\*De *E. coli* en Placa Petrifilm, incubadas 48 h a  $35 \pm 1^\circ\text{C}$

## 6.2.2. Variables evaluadas en fase vegetativa

Los biosólidos contienen materia orgánica y varios nutrientes que contribuyen a mejorar las características del suelo y a la nutrición de las plantas, incrementando así el rendimiento de la materia seca de muchos cultivos. En numerosos estudios, se han reportado características notables tras la aplicación de biosólidos en cultivos de maíz: plantas más altas y verdes, tallos gruesos, y hojas con mayor superficie foliar (González *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2016).

A continuación, se presentan y discuten los resultados para las variables vegetativas que fueron medidas a lo largo de todo el experimento, comenzando por altura de la planta, seguido por el área foliar de la hoja (valores obtenidos a partir de las variables longitud y ancho de la hoja) y por último diámetro del tallo. Para esta fase se utilizaron los datos de las plantas de la *repetición 1* de los tratamientos *control*, *dosis media*, *dosis baja* y *dosis alta*, mientras que para el tratamiento con fertilizante *químico* se utilizó la *repetición 3*, debido a un incidente en campo, donde las demás *repeticiones (2 y 3)* de todos los tratamientos se vieron beneficiadas por el

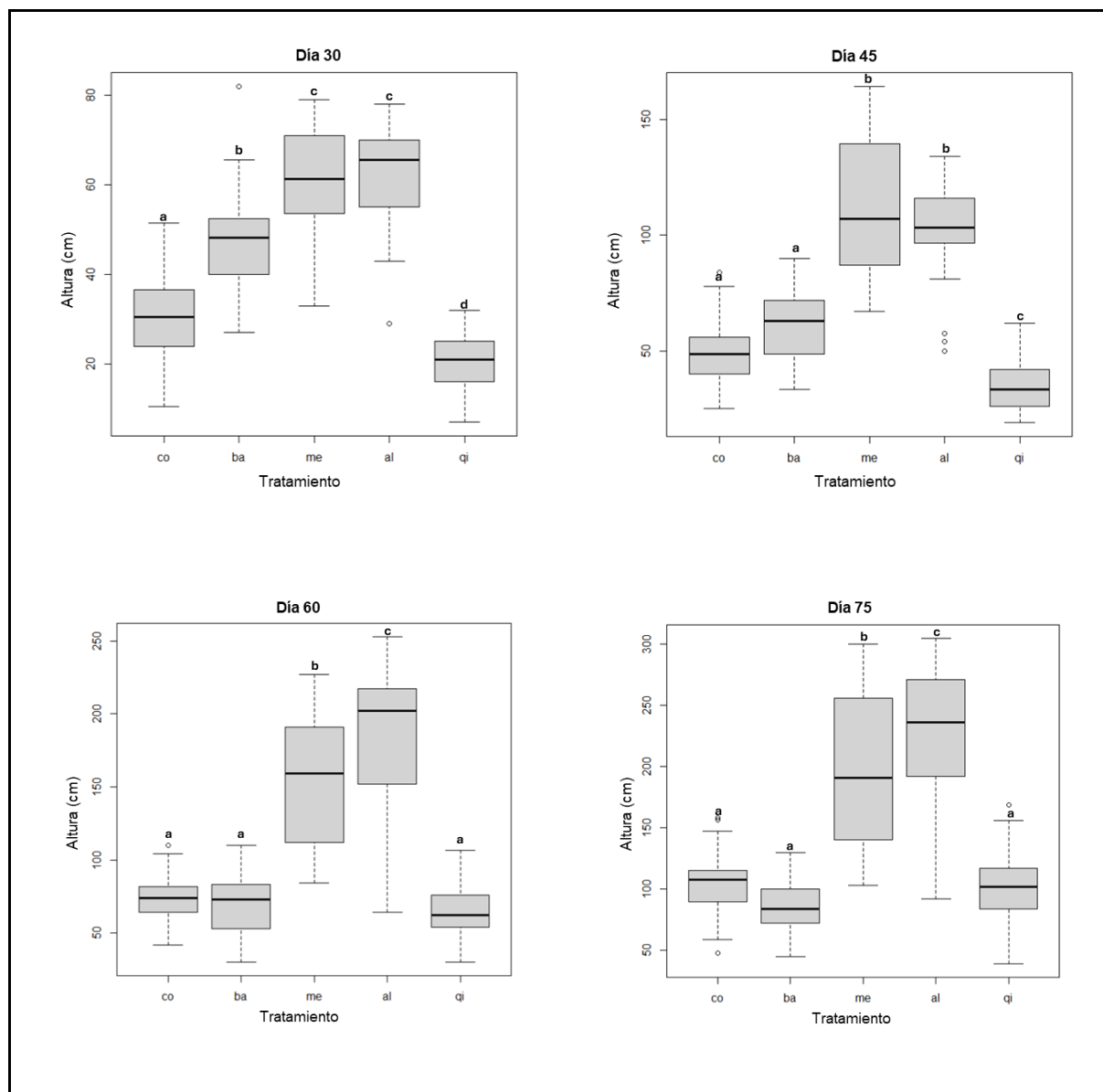
escurrimiento de un drenaje roto, generando diferencias significativas entre repeticiones de los mismos tratamientos. El análisis de varianza (ANOVA) realizado para todas las variables presentó diferencias significativas en al menos un tratamiento en todas las mediciones efectuadas, la significancia estadística se estableció en el nivel  $p < 0.05$ . La prueba de Tukey HSD para comparaciones de medias, permitió encontrar las diferencias significativas entre los tratamientos. Todos los cálculos se realizaron utilizando el paquete de software R Studio®. A cada variable le corresponden ocho gráficas, que representan el número de mediciones que se realizaron cada 15 días a partir del día 30 de emergencia de la semilla hasta la floración masculina (día 135).

#### **6.2.2.1. Altura de la planta**

La importancia de este parámetro está relacionada con el rendimiento y fisiología del cultivo. Las plantas con alturas superiores tienen la ventaja de captar más luz e incrementar el área foliar, favoreciendo la fotosíntesis, lo que repercute en una mayor cantidad de biomasa, indicador del desarrollo vegetativo. Sin embargo, la altura de las plantas debe ser equilibrada, ya que, plantas excesivamente altas corren riesgo de acame, tallos débiles y frágiles con poca estructura, o la inversión de energía se prioriza en el desarrollo del tallo sacrificando el rendimiento del grano. Por el contrario, plantas muy bajas reciben menos luz, afectando el proceso de fotosíntesis, y por lo tanto la producción (Godina *et al.*, 2020; Quevedo *et al.*, 2018; Paliwal *et al.*, 2001).

En la Figura 24 y 25 se muestra el crecimiento de la altura de las plantas para cada tratamiento. Las primeras dos mediciones que corresponden a los días 30 y 45, los tratamientos beneficiados fueron *dosis media* y *dosis alta* (sin diferencias significativas), el crecimiento del tratamiento *control*, *dosis baja* y *químico* es menor, sin diferencias significativas entre sí. Para la tercera y cuarta medición comprendida entre los días 60 y 75, se mantiene la tendencia sobre los tratamientos beneficiados, con la diferencia de presentar diferencias significativas (para *dosis*

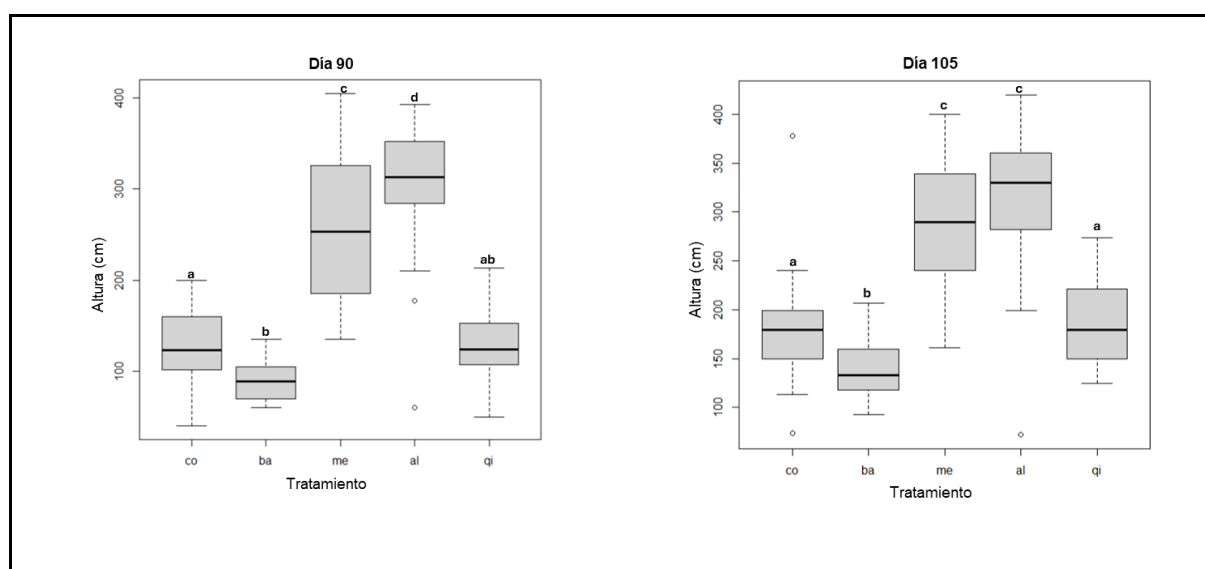
*media y dosis alta*). Sin embargo, comienza a registrarse una similitud entre los tratamientos restantes *dosis baja, control y químico*, que puede ser explicada debido al notable efecto del fertilizante químico en el cultivo influyendo en un aumento de crecimiento, y a un percance ocurrido antes de la siembra donde existió un suministro accidental de agua, y nutrientes al área del tratamiento *control*, por lo tanto, beneficiando el crecimiento de este último.

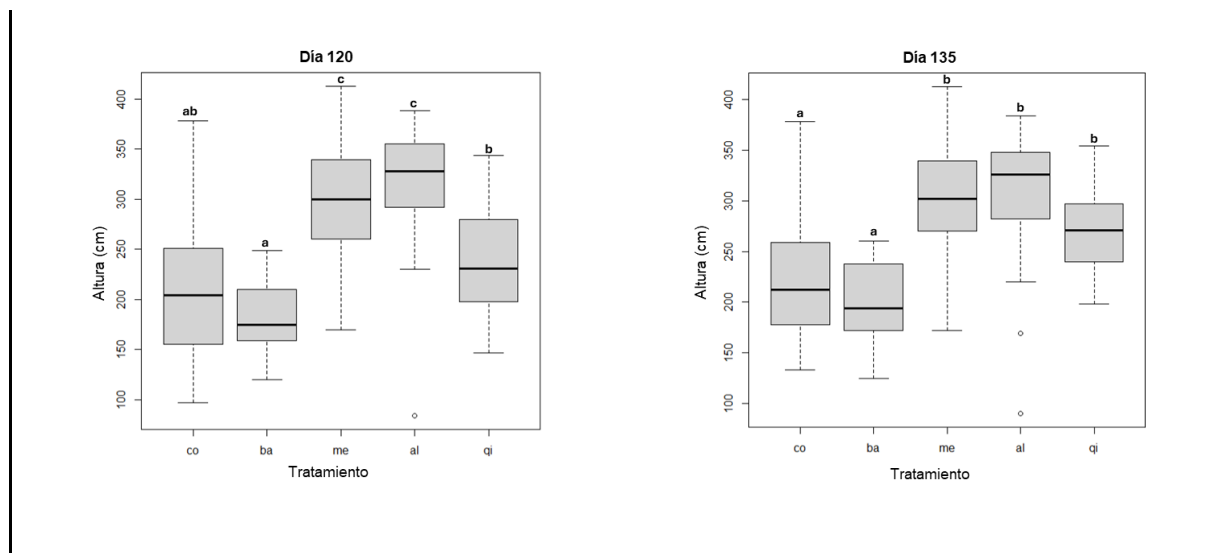


**Figura 24.** Crecimiento de la altura de la planta comprendido entre el día 30 después de la siembra y el día 75. Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos. Letras diferentes diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

A medida que transcurrieron los días, en la quinta y sexta medida (90-105 días), sigue manteniéndose la dinámica de crecimiento para *dosis media y dosis alta* (Figura 25). Mientras

que los tratamientos *químico*, *control* y *dosis baja*, tienen un comportamiento fluctuante, siendo el tratamiento químico el que presenta un aumento en el crecimiento. Para las últimas mediciones de altura (120-135 días) registradas y que dieron fin con la aparición de la inflorescencia masculina en todo el cultivo, la tendencia se mantuvo para los tratamientos beneficiados (*dosis media* y *dosis alta*). Esto indica, que esta variable se vio influenciada por la aplicación del biosólido, ya que este actúa como un fertilizante de liberación lenta, que además de contribuir con los principales nutrientes NPK, favorece al cultivo debido a la presencia de otros nutrientes como el calcio, hierro, magnesio y zinc que contiene, además de una mejora en la composición física del suelo, al retener mayor cantidad de agua, sobre todo en la temporada de altas temperaturas registradas en el periodo del crecimiento de cultivo (Potisek, 2010; Pinto *et al.*, 2013).





**Figura 25.** Crecimiento de la altura de la planta comprendido entre el día 90 después de la siembra y el día 135. Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos. Letras diferentes diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Concerniente al tratamiento químico, es notable el efecto que el fertilizante ejerce sobre la altura de la planta, siendo, su altura final similar a la de las *dosis media* y *alta*, sin presentar diferencias significativas entre estas tres. Las variables restantes *dosis baja* y *control*, presentaron los menores valores de crecimiento en altura en el experimento, y guardando similitud entre sí. Esto sugiere que, para las condiciones experimentales en la variable “Altura de la planta”, es indistinto aplicar el biosólido porcino (en *dosis media* o *alta*) o un *fertilizante químico*.

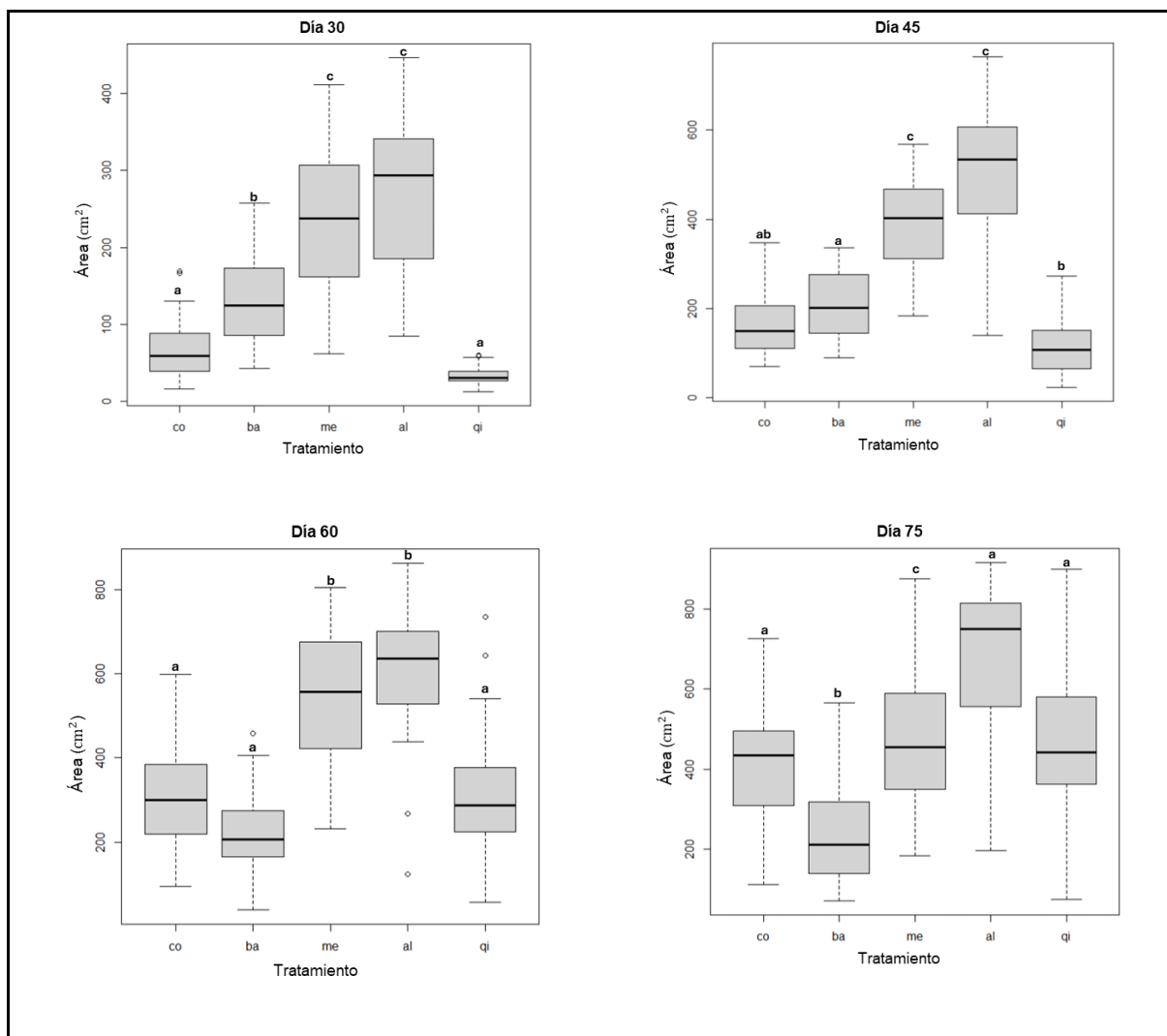


**Figura 26.** Mediciones realizadas en campo correspondientes a la fase vegetativa.

#### **6.2.2.2. Área Foliar**

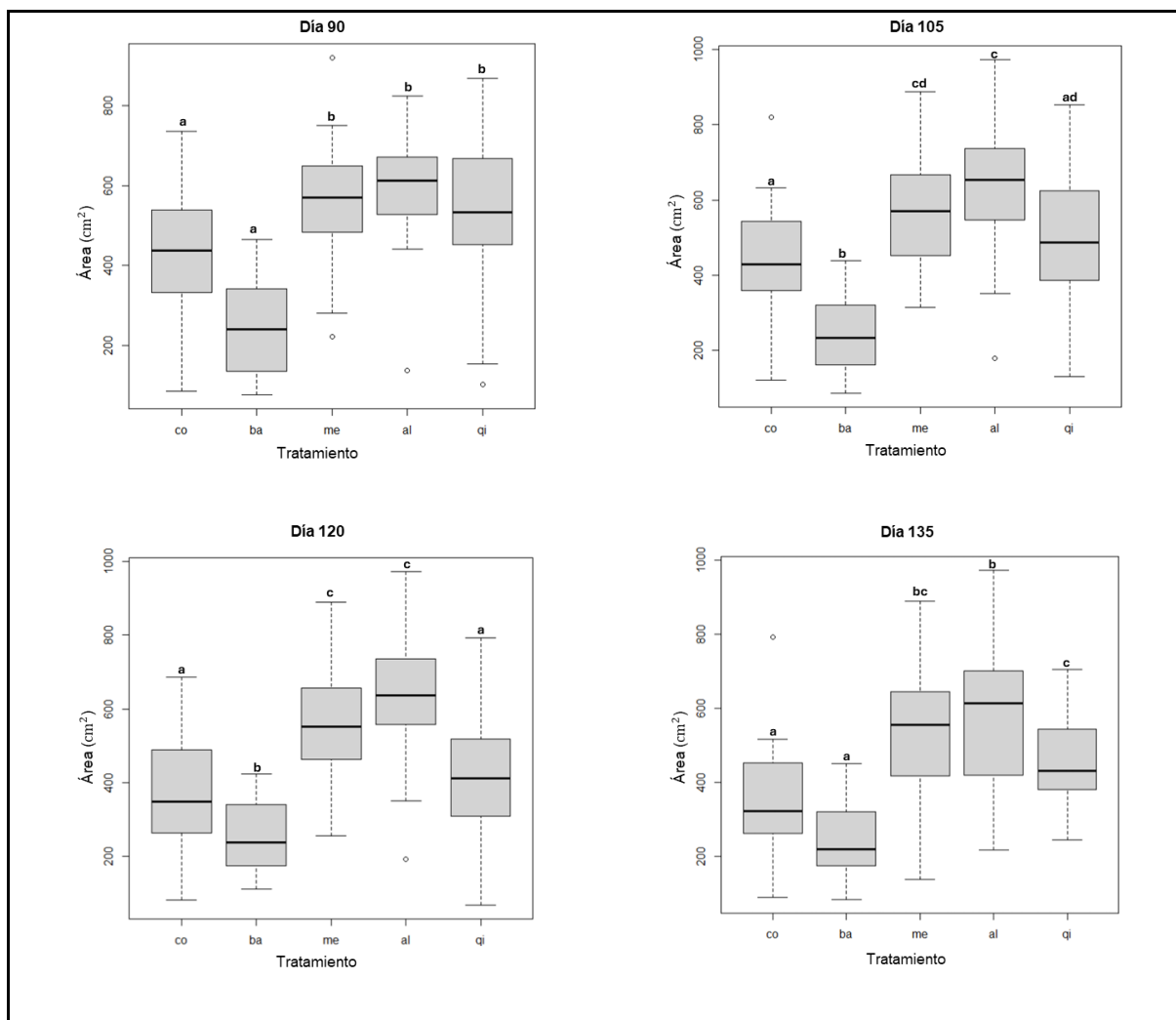
La fotosíntesis es importante para el crecimiento de las plantas y la formación de rendimientos. El área foliar en las plantas de maíz es un factor crucial que influye en la fotosíntesis, una mayor superficie foliar aumenta la capacidad de capturar energía solar necesaria para su proceso. Una fotosíntesis eficiente implica una mayor producción de carbohidratos, esenciales para el crecimiento vegetativo y desarrollo productivo del maíz, especialmente la formación y llenado de los granos (Cheng *et al.*, 2025). Cabe mencionar que al igual que la altura de la planta, el área foliar debe estar bien proporcionada, pues una superficie demasiado grande conllevaría a un uso ineficiente de los recursos, o las hojas estarían propensas a caídas o daños. Los factores que comprometen el crecimiento de la hoja son la cantidad de agua y la disponibilidad de nutrientes, especialmente el nitrógeno. (Cheng *et al.*, 2025; Paliwal *et al.*, 2001).

El crecimiento en área de la hoja muestra una tendencia muy similar a la altura de la planta en las dos primeras mediciones (30-45 días). A medida que pasa el tiempo (60-75 días), las medias de dosis media y *dosis alta* se mantienen como las mayores beneficiadas; sin embargo, el tratamiento *químico* y *control* muestran un aumento, por lo que al día 75 los tratamientos con mayor beneficio son *dosis alta*, *químico* y *control*, sin diferencias estadísticamente significativas (Figura 27).



**Figura 27.** Crecimiento del área foliar comprendido entre el día 30 después de la siembra y el día 75. Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos. Letras diferentes diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

En el siguiente intervalo de tiempo ilustrado en la Figura 28 (90-105 días) las *dosis alta* y *químico* siguen presentando el mayor crecimiento, sin embargo, puede observarse un notable incremento en el crecimiento del tratamiento *dosis media* que pasa a ser de los tratamientos con mayor beneficio. A diferencia de *dosis baja* y *control* que mantienen el menor valor en crecimiento. Esta tendencia se mantiene al final del experimento (135 días), con la diferencia del *tratamiento químico* cuyo beneficio se mantiene un poco menor que el de *dosis media* y *alta*.



**Figura 28.** Crecimiento del área foliar comprendido entre el día 90 después de la siembra y el día 135. Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos. Letras diferentes diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

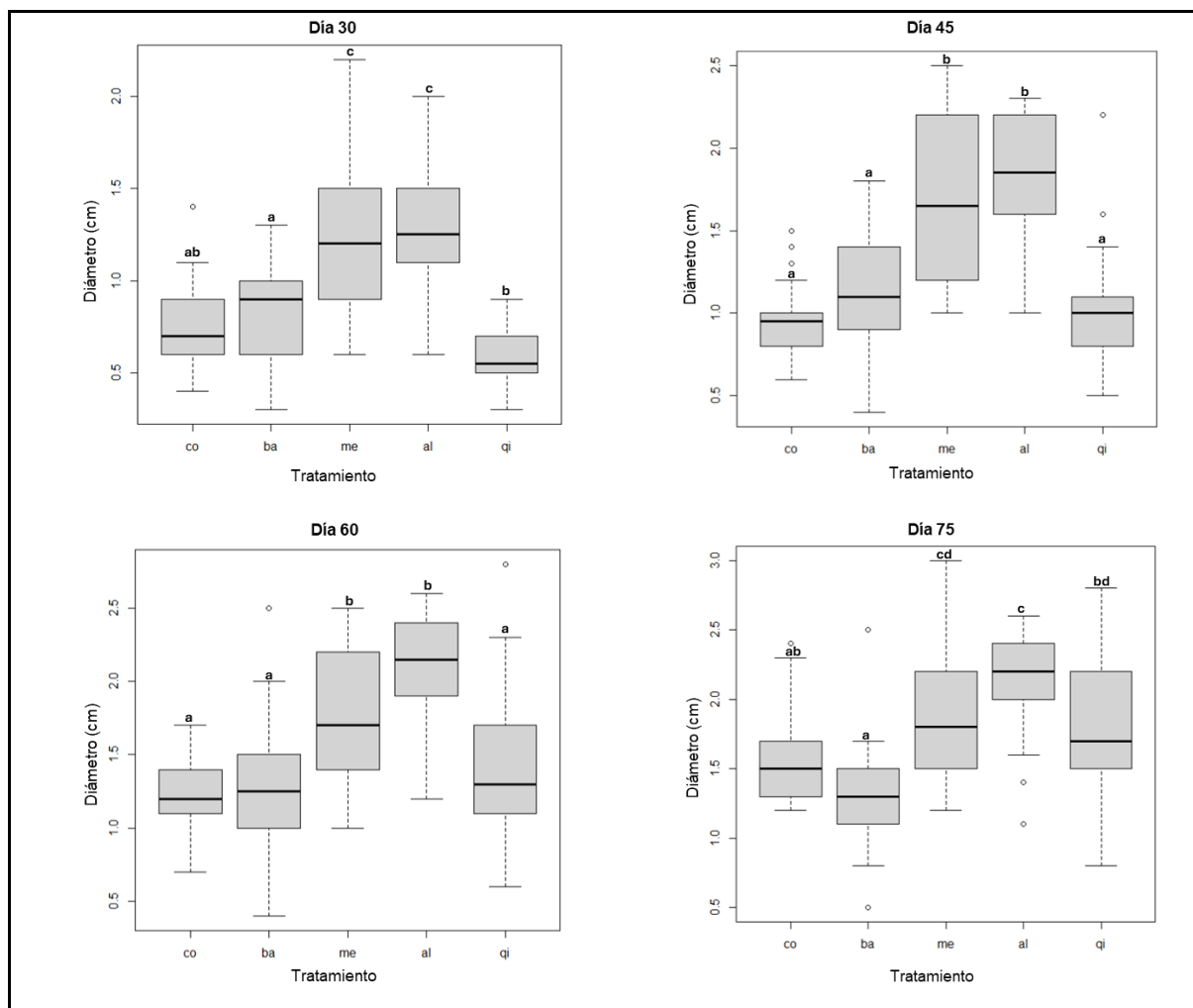
Para esta variable se deduce que el biosólido mostró un mayor beneficio a la planta. Esto puede explicarse por los nutrientes proporcionados, especialmente el nitrógeno, que incide directamente en el desarrollo de las hojas, no sólo en tamaño (área foliar), también en la calidad de cloroplastos, los cuales deben presentar una configuración y formación normal. Las cualidades de estos dos componentes pueden hacer eficiente el proceso de fotosíntesis, conduciendo a un aumento de biomasa y por lo tanto el rendimiento del grano (Cheng et al., 2025). Las hojas al ser los sumideros de nitrógeno más grandes de las plantas demandan una absorción adecuada de este nutriente, para garantizar el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Optimizar el manejo de fertilización con N es esencial para mantener altos rendimientos de maíz. Y con mayor importancia debe recordarse el aporte estructural al suelo por parte del biosólido, al aumentar la retención de agua, disminuyendo el déficit de este, el cual es el más importante en el desarrollo del cultivo (Paliwal *et al.*, 2001).

### 6.2.2.3. Diámetro del tallo

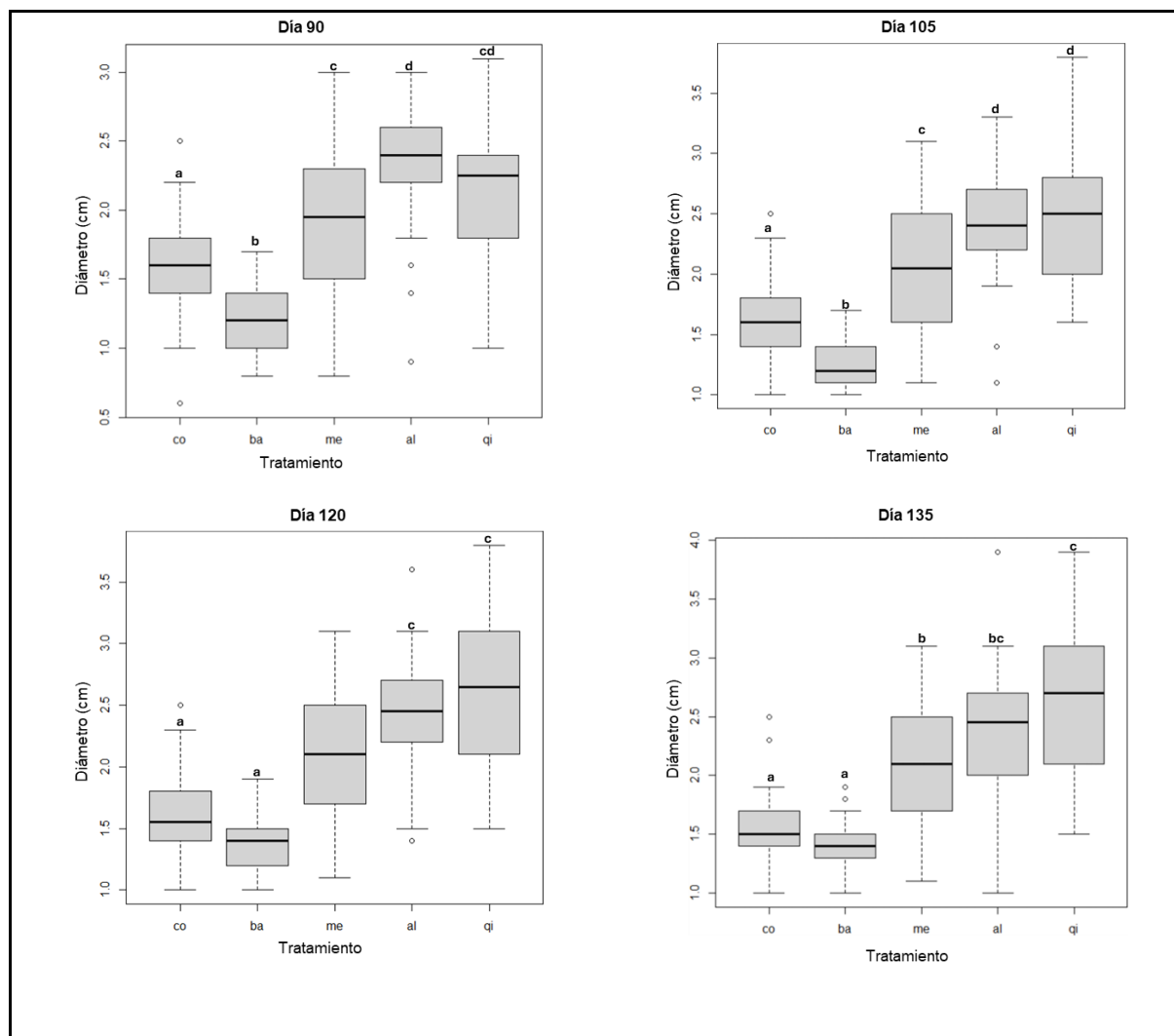
El tallo es una estructura fundamental para el desarrollo y rendimiento del cultivo, su función no se limita al soporte, también contribuye al almacenamiento de carbohidratos, traslocación de nutrientes, y resistencia a factores ambientales (Paliwal *et al.*, 2003). De modo que, asegurar un desarrollo óptimo del tallo es vital para el rendimiento y estabilidad de la planta. Los nutrientes más relevantes en el desarrollo del tallo son NPK, involucrados estrechamente en su crecimiento (grosor), resistencia, estructura y transporte de agua y nutrientes. Mientras que los micronutrientes Ca, Mg, y Si, son más importantes en la estructura (Aguado, 2017). No sorprende que se hayan documentado cambios bioquímicos en los tallos de maíz, ante la aplicación de fertilizantes, incluyendo una correlación entre el aumento del rendimiento del grano y la masa del tallo (Krysa *et al.*, 2024).

El crecimiento del tallo cuya variable se expresa como diámetro, muestra un mayor desarrollo para los tratamientos *dosis media* y *dosis alta* que se mantiene desde el día 30 hasta el día 75. El comportamiento de los demás tratamientos fluctúa a lo largo del mismo periodo de tiempo (Figura 29), puntualmente el tratamiento químico, que comienza presentando el menor valor en su media respecto a los demás tratamientos, y a final del día 75 es visible el beneficio del fertilizante en el incremento del diámetro del tallo. Respecto a los tratamientos *dosis baja* y *control* se mantienen con los valores mínimos en sus medias, el cambio observable es un mayor crecimiento en el tratamiento *control*, pero que al final de este periodo presenta una diferencia significativa con la media de la *dosis baja*.



**Figura 29.** Crecimiento del diámetro del tallo comprendido entre el día 30 después de la siembra y el día 75. Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos. Letras diferentes diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

El comportamiento de los tratamientos *dosis baja* y *control* se mantiene hasta el final de las mediciones sin diferencias significativas entre sus medias. El crecimiento del tallo sigue siendo evidente en esta etapa (90-135 días, Figura 30) para el tratamiento *químico*, siendo el mayor beneficiado en esta variable. La *dosis media* y *dosis alta* muestran siguen presentando un comportamiento similar. Al final de las mediciones, la media de la *dosis alta* y *químico* fueron las que presentaron valores mayores en diámetro de tallo.



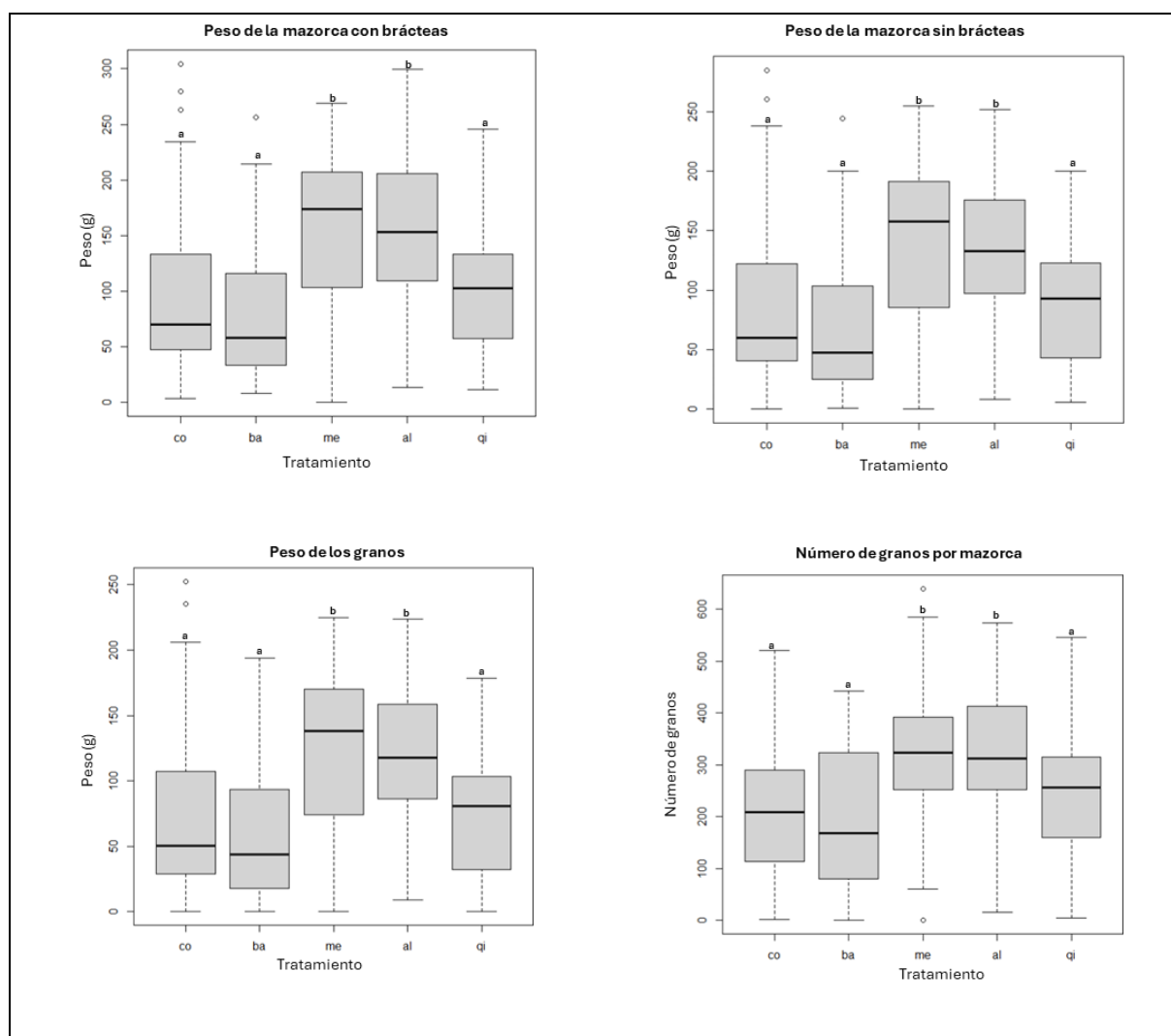
**Figura 30.** Crecimiento del diámetro del tallo comprendido entre el día 90 después de la siembra y el día 135. Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos. Letras diferentes diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

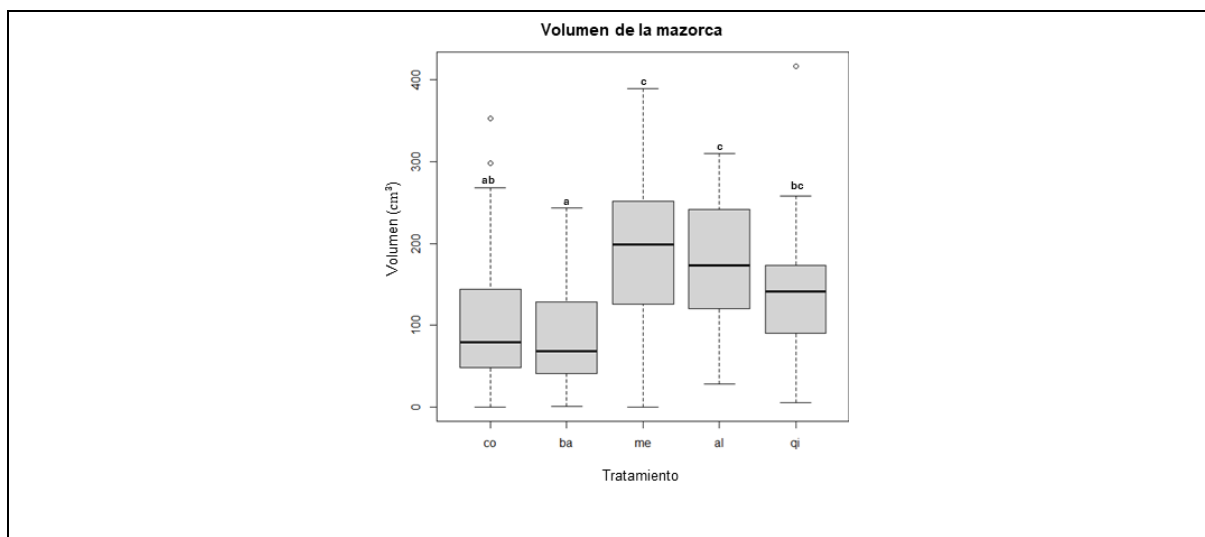
### 6.2.3. Variables evaluadas en fase productiva

Las variables que darán respuesta son el peso de la mazorca (con y sin brácteas), peso de los granos, número de granos por mazorca y tamaño de la mazorca (volumen), mismas que se encuentran ilustradas en la Figura 31. El beneficio puede explicarse por los nutrientes aportados por la cerdaza y el aporte a la estructura al suelo, lo que le permite un mayor almacenamiento de agua, recurso vital para los cultivos.

El nitrógeno juega un papel muy importante que contribuye al tamaño y llenado del grano, al igual que el potasio, encargado del cuajado y maduración del grano. El zinc y el boro son vitales para la formación del tubo polínico, el magnesio aporta a la formación de proteínas y aminoácidos. Esta etapa también es muy sensible al estrés hídrico por lo que es vital cubrir las necesidades de agua.

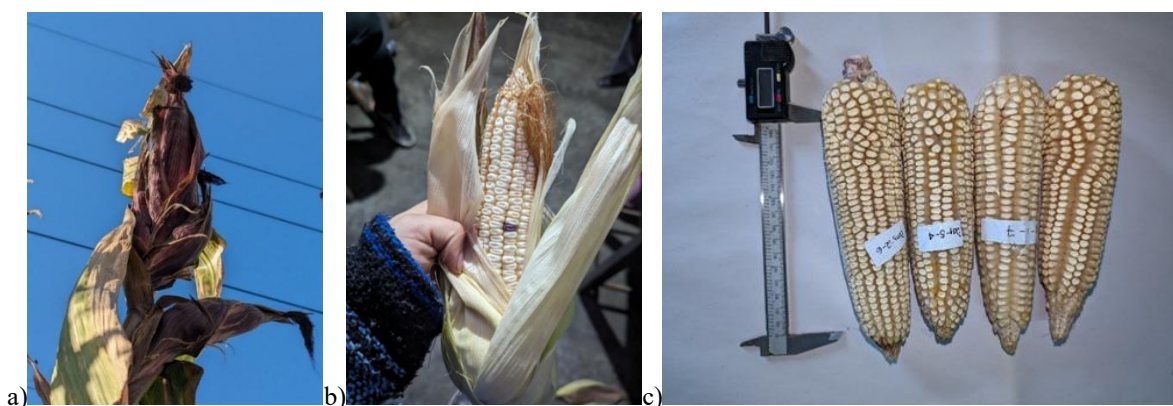
**Número de mazorcas por planta.** Para el tratamiento *control* se obtuvo 0.55, *dosis baja* 0.65, *químico* 0.78, *dosis media* 1.0, y *dosis alta* 1.18. El comportamiento de los tratamientos para todas variables es casi idéntico. Donde los tratamientos que recibieron un mayor beneficio fueron dosis media y dosis alta. El resto de los tratamientos con menor beneficio no presentaron diferencias significativas entre sí.





**Figura 31.** Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos. Letras diferentes diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

En general el comportamiento de los tratamientos fue bastante similar en todas las variables, siendo los tratamientos dosis media y alta los que mayor beneficio obtuvieron en la parte productiva de la planta. Presentando mazorcas más grandes, con mayor número de granos, y peso. Características que son sumamente deseadas, indicador de una buena producción.



**Figura 32.** a) Mazorca en planta de maíz in situ. b) Mazorca con granos húmedos. c) Mazorcas maduras con longitud de más de 15 cm del tratamiento “dosis media”.

#### 6.2.4. Análisis de suelo

El análisis de suelos es fundamental, debido a que proporciona información clave sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, permitiendo la toma de decisiones informadas con el objetivo de mejorar la producción agrícola y la sostenibilidad del suelo.

**Análisis fisicoquímico de suelo previo a tratamiento de fertilización.** El día 20 de junio de 2022, se tomaron cuatro submuestras de suelo en el sitio de estudio, en base en el manual “MUESTREO DE SUELO” del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Puebla (CESAVEP, s.f.) y fueron procesadas en el mismo lugar. Se obtuvo un pH moderadamente alcalino, 7.62, indicando un ligero desfase, ya que el pH óptimo para los cultivos de maíz comprende un intervalo de 5.5 a 6.5, para un óptimo desarrollo del cultivo (FAO, 2020). El nivel de materia orgánica es moderado-alto, a diferencia del nivel de nitratos, cuyo valor es moderadamente bajo. El tipo de suelo se caracterizó como color café arenoso, con excelente drenaje, buena aireación y baja retención de humedad (Tabla 17).

**Análisis fisicoquímico de suelo post cosecha.** Las muestras para este análisis se recolectaron el día 28 de octubre 2023 una vez terminada la cosecha, siguiendo los pasos del manual previamente mencionado. Se tomaron muestras compuestas de las diferentes repeticiones para el tratamientos *dosis media*. La decisión recae en que este tratamiento presentó el mejor resultado en la fase vegetativa y fase reproductiva.

El biosólido mejoró la disponibilidad de nutrientes al disminuir el pH ligeramente. La materia orgánica disminuyó, sin embargo, su valor sigue siendo alto, esto puede deberse a la mineralización y consumo por microorganismo y la planta. Situación similar a la del nitrógeno, indicando absorción por el cultivo. Respecto al fósforo, potasio, calcio y magnesio inicialmente bajos, presentan una mejora considerable después de la aplicación del biosólido. Aunque se observa un incremento de sodio, este se mantiene dentro de niveles aceptables, se recomienda monitorear su acumulación a largo plazo.

**Cuadro 17.** Análisis de suelo antes de la siembra y después de la cosecha.

Código	pH	Clase Text	M. O. (%)	NO3 (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)
Previo a siembra	7.62	4/6 YR	12.05	81.5	0.8	33.8	129.47	6.5	6.75
Descripción	Mod. Alcalino	Marrón oscuro limoso	Mod. Alto	Mod. Bajo	Muy bajo	Bajo	Mod. Alto	Muy bajo	Muy bajo
Dosis Media	6.8		6.92	35	2.5	37.5	326.67	10	140
Descripción	Neutro								

### 6.2.5. Análisis bromatológico de la semilla

El análisis bromatológico en granos de maíz es clave para conocer su calidad nutricional, especialmente cuando se evalúan tratamientos como la aplicación de biosólidos, que podrían modificar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y, por tanto, la composición del grano (Altamirano, 2024). Es por ello, por lo que se realizó este análisis a la semilla obtenida durante la cosecha, para los todos los tratamientos. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de “Nutrición Animal, del posgrado de Productividad y Recursos Genéticos-Ganadería”, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la BUAP.

Respecto al análisis de los resultados, se obtiene que los tratamientos *dosis media* y *dosis alta* presentaron los mayores valores en los parámetros de mayor interés como materia seca, proteína cruda y extracto etéreo, mismos que indican la calidad nutricional del grano (Cuadro 18). Realizando una comparación de contenido nutricional en maíz con la literatura (FAO, 2012), los granos de los tratamientos que presentaron mayor beneficio cumplen con el contenido de nutrientes.

**Cuadro 18.** Análisis bromatológico.

Tratamiento	% Materia seca	% Cenizas	% M.O.	% Proteína cruda	Peso	% EE
Dosis Alta	<b>90.755</b>	<b>1.798</b>	<b>9.245</b>	<b>7.163</b>	<b>2.0052</b>	<b>5.4515</b>
Dosis Media	<b>91.225</b>	<b>1.453</b>	<b>8.775</b>	<b>7.966</b>	<b>2.00775</b>	<b>5.8916</b>
Dosis Baja	89.285	1.942	10.715	8.057	2.0063	4.8129
Control	94.650	1.335	5.350	7.277	2.0058	4.1019
Químico	88.115	1.413	11.885	7.825	2.00635	4.9522

\*M.O. Materia orgánica

\*Extracto etéreo

El análisis bromatológico mostró que los tratamientos con biosólidos, especialmente *dosis media* y *baja*, mejoraron la composición nutricional del grano de maíz en comparación con el *control*. El contenido de proteína cruda alcanzó su mayor valor con la *dosis baja*, mientras que el extracto etéreo fue superior en *dosis media*. Estos resultados sugieren que los biosólidos solo aportan nutrientes al suelo, sino que también influyen positivamente en la calidad nutricional del grano. haciéndolos una alternativa viable y sustentable frente al uso de fertilizantes químicos.

## VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir que el uso de biosólidos porcinos como fertilizante orgánico representa una alternativa viable, eficiente y ambientalmente segura para el cultivo de maíz. Las dosis media y alta del biosólido mostraron un comportamiento agronómico comparable al del fertilizante químico convencional, tanto en la etapa vegetativa como en la reproductiva del cultivo, con un impacto positivo en variables clave como altura de planta, diámetro del tallo, producción de grano y tamaño de mazorca.

Además de su efecto positivo sobre el desarrollo del cultivo, la aplicación de biosólidos contribuyó a la mejora de las propiedades del suelo, principalmente mediante el aumento del contenido de materia orgánica y la mejora de su estructura. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados confirmaron que el biosólido utilizado cumple con la normatividad vigente (NOM-004-SEMARNAT-2002), garantizando su uso seguro en la agricultura. Sin embargo, se sugiere evitar su uso en suelos salinos o alcalinos, y realizar monitoreo tras su aplicación.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de promover prácticas agrícolas sostenibles mediante la valorización de residuos orgánicos, como los biosólidos, en sistemas productivos de alta demanda como el maíz. Su aplicación no solo permite reducir la dependencia de fertilizantes químicos, sino que también representa una estrategia de manejo responsable de residuos y de cierre de ciclos de nutrientes. En este sentido, el uso de biosólidos porcinos puede considerarse una herramienta útil para avanzar hacia una agricultura más resiliente, economía circular y ecológicamente sustentable.

## VIII. PERSPECTIVAS

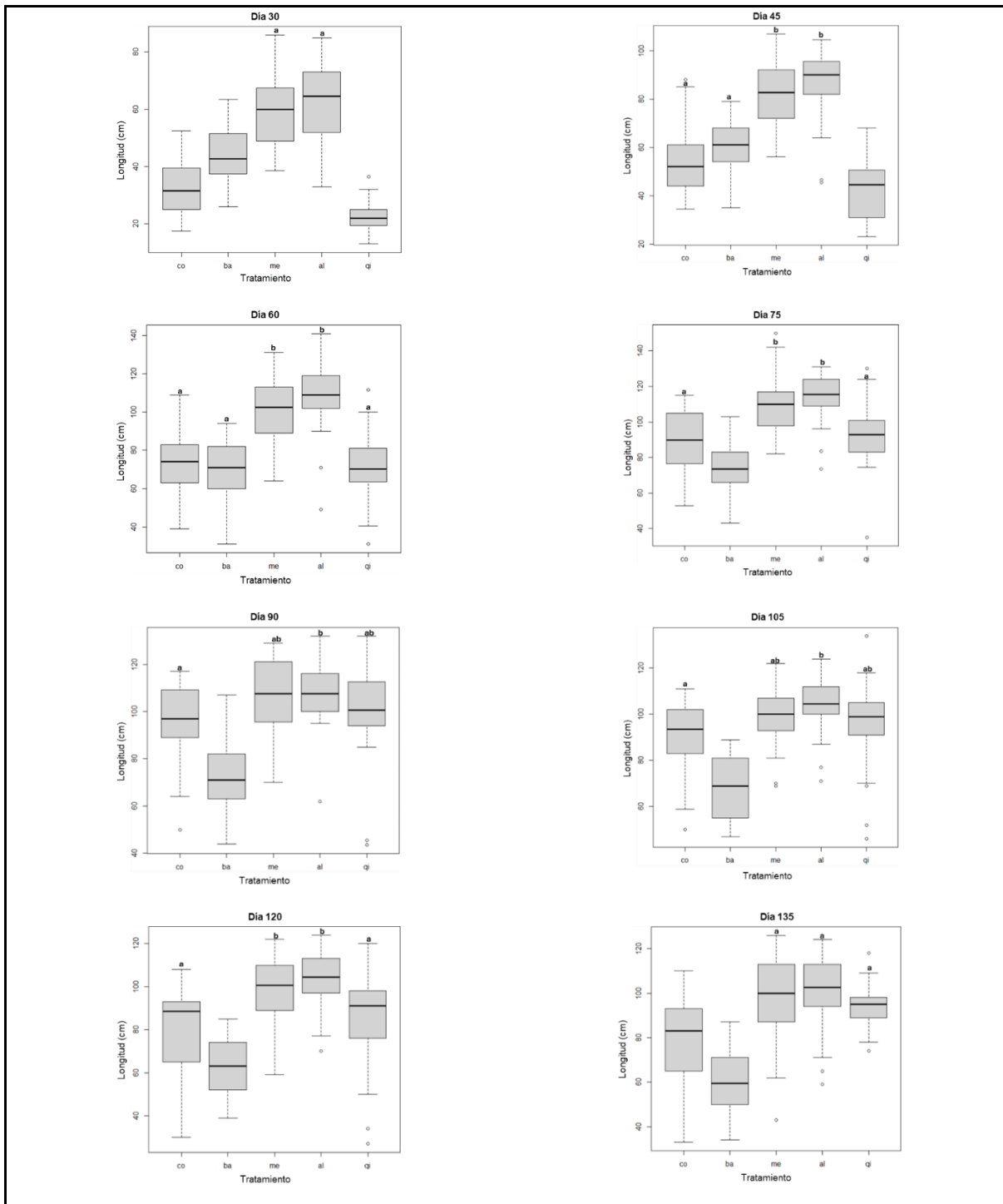
Los resultados de este estudio confirman el potencial del uso de biosólidos porcinos como enmienda orgánica en el cultivo de maíz, especialmente por su aporte de nutrientes y mejora de las propiedades del suelo. No obstante, se abre la posibilidad de profundizar en diversas líneas de investigación complementarias.

Se recomienda realizar estudios a largo plazo que permitan evaluar el efecto acumulativo del biosólido sobre la fertilidad del suelo, la dinámica de nutrientes, impacto en la microbiota edáfica y la biodiversidad; con el fin de promover estrategias que efficienten su uso y reduzcan riesgos de contaminantes, y otros agentes, especialmente el sodio. Así mismo, sería importante ampliar la investigación a otras condiciones edafoclimáticas, y tipos de cultivo para valorar la generalización de los resultados. Otras de las ampliaciones de investigación pueden enfocarse en la evaluación de aplicación de biosólidos sometidos a tratamientos y tecnologías más complejas de descomposición, así como asociación con demás prácticas agroecológicas.

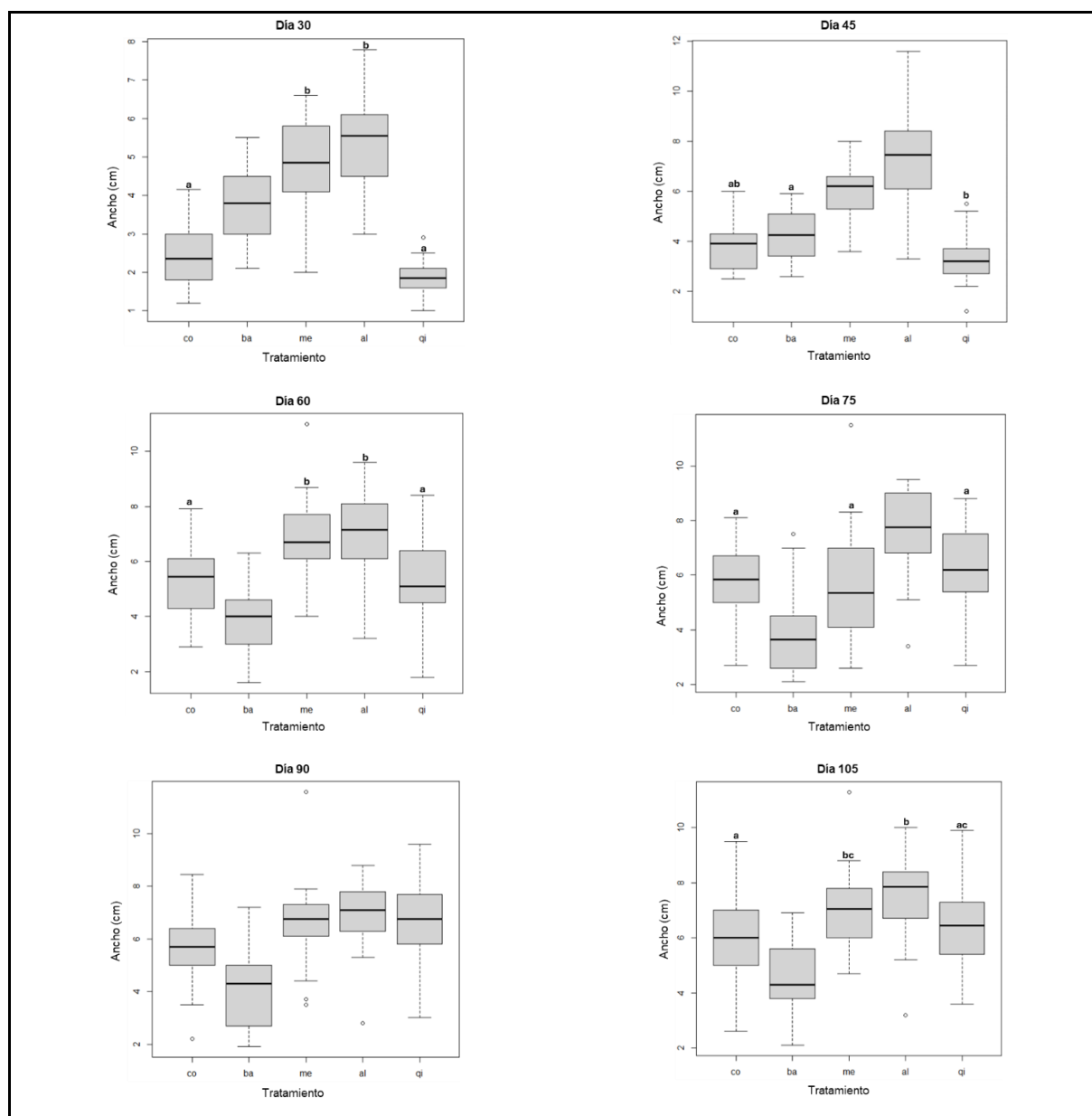
Por otro lado, se sugiere sumar análisis bromatológicos más detallados de los granos cosechados, con el fin de garantizar su calidad e inocuidad. La incorporación de evaluaciones económicas que comparen el uso de biosólidos con fertilizantes químicos tradicionales, que consideren la productividad, costos y beneficios ambientales, significaría un aporte muy valioso.

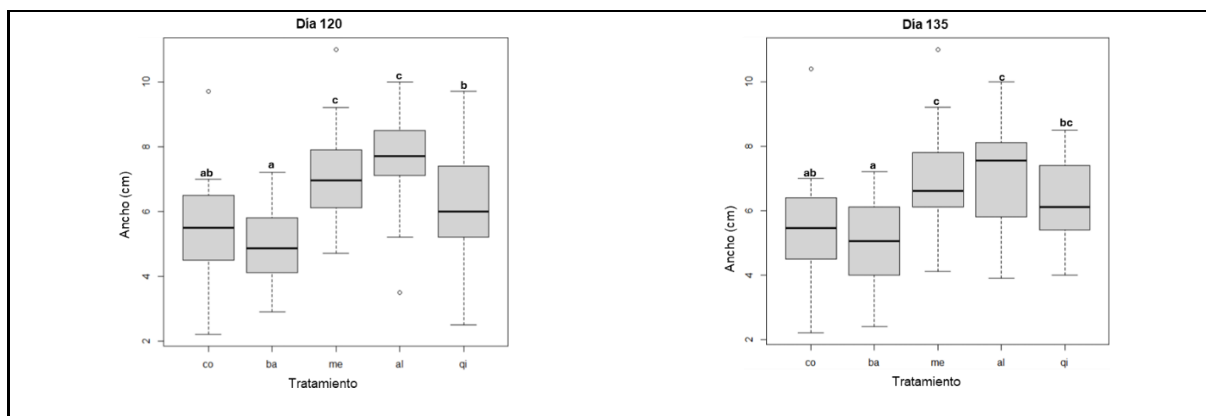
Finalmente, se plantea la necesidad de generar estrategias de divulgación y educación destinada a productores agrícolas, con el fin de fomentar el uso seguro y regulado de biosólidos, alineado con la normativa vigente y prácticas agrícolas sostenibles.

IX. ANEXOS



**Figura 33.** Crecimiento de la longitud de la hoja comprendido entre el día 30 después de la siembra y el día 135. Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos, en cambio letras diferentes o ausencia de ellas indican diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).





**Figura 33.** Crecimiento del ancho de la hoja comprendido entre el día 30 después de la siembra y el día 135. Letras iguales representan diferencias no significativas entre las medias de los tratamientos, en cambio letras diferentes o ausencia de ellas indican diferencias significativas según el Test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## X. REFERENCIAS

- Abendroth, L., Elmore, R., Boyer, M. y Marlay, S. (2011). *Corn Growth and Development*. PMR 1009. Iowa State University Extension
- Acevedo, V., Jaramillo, E., Cabello, H., Larenas, D. González, N., Leyton, B., Toro, T., Cortés, P. y Urbina, R. (2011). *Manual de recomendaciones de cultivo de maíz en grano*. Programa: “Convenio Subsecretaría de Agricultura-Fundación Chile. Implementación de la metodología CropCheck, para los equipos técnicos en maíz, arroz y trigo integrantes de las unidades operativas SAT de INDAP”. 48p.
- Acosta, G., López, B., Tapia, N., García, N. y Ventura, R. E. (2004). *Guía para producir frijol de temporal en Querétaro*. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Publicación Técnica Núm. 2. 28 p.
- AEFA (Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes). (2022). *Fertilizante químico*. Glosario de Agricultura <https://aefa-agronutrientes.org/fertilizante-quimico>
- Aggarwal, B., Vats, S., Kaushal, L., Singh, A., Padalkar, G., Yaday, H., Kumar, V., Sinha, S. y Umate, S. (2023). *Biofortification of Maize (Zea mays)*. In: Deshmukh, R., Nadaf, A., Ansari, W.A., Singh, K., Sonah, H. (eds) *Biofortification in Cereals*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-4308-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-19-4308-9_8)
- Aguado, F. (2017). *El nitrógeno como nutriente esencial en el cultivo del maíz: Efectos en el crecimiento y desarrollo*. Red Universitaria de Evaluación de Nutrición Agrícola. <https://www.ruena.org/wp-content/uploads/2017/07/ruena-2017-aguado.pdf>
- Altamirano, J. (2024). *Análisis bromatológico proximal*. Laboratorio de química. SANFER Salud Animal  
[https://sanfersaludanimal.com/biblioteca/laboratorio\\_de\\_quimica/analisis-bromatologico](https://sanfersaludanimal.com/biblioteca/laboratorio_de_quimica/analisis-bromatologico)

- Álvarez, J., Díaz, E., León, N. y Guillen, J. (2010). *Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento del maíz*. Terra Latina. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792010000300006](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000300006)
- Álvarez, R., Steinbach, H., Alvarez, C. y Grigera, S. (2003). *Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada*. *Informaciones Agronómicas* 18:14-19.
- Anderson, E. (1946). *Maize in Mexico. A preliminary survey*. *Annals of Missouri Botanical Garden*.
- Aragón, G., Morón, M., López, J. y Cervantes, L. (2005). *Ciclos de vida y conducta de adultos de cinco especies de Phyllophaga Harris, 1827 (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae)*. *Acta Zoo. Mex.* 21(2): 87-99.
- Arango, M. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LOTES DE MAÍZ (Zea mays L.) PARA SU USO COMO SIMIENTE A TRAVÉS DE ENSAYOS FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad del Rosario. [https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/5333/INTA\\_CRSantaFe\\_EEAOliveros\\_Arango\\_MR\\_Caracterizac%C3%B3n\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_lotes\\_de\\_ma%C3%ADz.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/5333/INTA_CRSantaFe_EEAOliveros_Arango_MR_Caracterizac%C3%B3n_de_la_calidad_de_lotes_de_ma%C3%ADz.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ávila, J., Ávila, J., Martínez, D., y Rivas, F. (2014). *El Cultivo del Maíz, Generalidades y Sistemas de Producción*. Universidad de Sonora. <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/EL%20CULTIVO%20DEL%20MAIZ.pdf>

- Australian Government. (2008). *The biology of Zea mays spp mays (maize or corn)*.  
<https://www.ogtr.gov.au/resources/publications/biology-zea-mays-l-ssp-mays-maize-or-corn>
- AWA (Australian Water Association). (2012). *Biosolids Risks and Risk Management*. Australian & New Zealand Biosolids Partnership <https://www.biosolids.com.au/wp-content/uploads/Biosolids-risk-and-risk-management.pdf>
- Benrey, B., Bustos, C. y Tisza, P. (2024). *The mesoamerican milpa system: Traditional practices, sustainability, biodiversity, and pest control*. Biological Control. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105637>
- Bewley, J. y Black, A. (1994). *Seeds: Physiology of development and germination*. 2 ed. Plenum Press. N. Y. Usa. 445 p.
- Birch, J., Stephen, K., McLean, G., Doherty, A., Hammer, G., y Robertson, M.J. (2008). *Reliability of production of quick to medium maturity maize in areas of variable rainfall in north-east Australia*. Australian Journal of Experimental Agriculture 48:326-334.
- Blanco, F. (1883). *ZEA MAYS*. Flora de Filipinas, Gran edición, Atlas II. [https://es.wikipedia.org/wiki/Zea\\_mays#/media/Archivo:Zea\\_mays\\_Blanco2.279.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays#/media/Archivo:Zea_mays_Blanco2.279.png)
- Blanco, H. y Garbanzo, G. (2015). *Plagas insectiles asociadas al cultivo de frijol*. In. R. Araya, y MV. Gutiérrez (eds). 2015. Producción de semilla de alta calidad de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno. Alajuela, CRC
- Bolaños, J. y Edmeades, G. (1993). *La fenología del maíz*. International System for Agricultural Science and Technology. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/647361e008fd68d546046710>

- Buss, L. (2020) *Larva of banded cucumber beetle, Diabrotica balteata*. Featured Creatures. University of Florida. [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/bean/banded\\_cucumber\\_beetle.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/bean/banded_cucumber_beetle.htm)
- CABI. (2024). *Cucumber mosaic virus*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium>
- Craviotto, R. y Arango, M. (2006). *Calidad. Prueba de Verde Rápido (FAST GREEN) para maíz*. Engormix. [https://www.engormix.com/agricultura/miscellaneous/calidad-prueba-verde-rapido\\_a26312/](https://www.engormix.com/agricultura/miscellaneous/calidad-prueba-verde-rapido_a26312/)
- Can-xing, D., La-ping, Z., Jie, W., Qing-kui, L., Zhi-huan, Y. y Xiao, W. (2022). *Dispersal routes of Cercospora zeina causing maize gray leaf spot in China*. Journal of Integrative Agriculture. Volume 21, Issue 10, 2022, Pages 2943-2956. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.07.042>
- Carvalho, M. (2018). *Necrosis Letal del Maíz (MLN)*. Programa de Recursos Genéticos, CIMMYT [https://seedsofdiscovery.org/wp-content/uploads/sites/52/2018/04/CARVALHO\\_-MLN-reunion-MAB-13-03-2018.pdf](https://seedsofdiscovery.org/wp-content/uploads/sites/52/2018/04/CARVALHO_-MLN-reunion-MAB-13-03-2018.pdf)
- Cervantes, F., Saldívar, J. y Yescas, J. (2007). *Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura*. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistalatinoamericanaderecursosnaturales/2007/vol3/no1/1.pdf>
- Castillo-Acosta, L.G. (2002). *Estimación de la contaminación por nitrógeno derivada de la actividad humana en las aguas superficiales y subterráneas del Valle del Yaqui, Sonora*. Tesis de Maestría en Ingeniería en Administración de Recursos Hidráulicos. Instituto Tecnológico de Sonora. México.

- Cheng, Y., Chen, X.-Y., Ren, H., Zhang, J.-W., Zhao, B., Ren, B.-Z., & Liu, P. (2025). *Deep nitrogen fertilizer placement improves the yield of summer maize (Zea mays L.) by enhancing its photosynthetic performance after silking*. BMC Plant Biology. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06145-1>
- Ciampitti, I., Elmore, R. y Lauer, J. (2016). *Crecimiento y Desarrollo de Maíz*. International Plant Nutrition Institute. [https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/corn-growth-and-development-spanish-crecimiento-y-desarrollo-de-maiz\\_MF3305S.pdf](https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/corn-growth-and-development-spanish-crecimiento-y-desarrollo-de-maiz_MF3305S.pdf)
- CIMMYT (1999). *Manejo de los ensayos e informa de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT*. <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/9ac06d3f-e4ae-45a3-b6f5-e888cd96d401/content>
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Puebla (CESAVEP) (s.f.) *Muestreo de Suelo. Recomendaciones de Muestreo*. <http://www.cesavep.org/descargas/Lab/RECOMENDACIONES%20DE%20MUESTREO.pdf>
- CONABIO. (2004). *Convolvulaceae. Malezas de México*. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/convolvulaceae/ipomoea-purpurea/fichas/ficha.htm>
- CONABIO. (2016). *La milpa*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/sistemas-productivos/milpa>.
- CONAHCYT. (2019). *Maíz*. <https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- Cook, B., Pengelly, B., Brown, D., Donnelly, L., Eagles, A., Franco, A., Hanson, J., Mullen, F., Partridge, J. y Peters, M. (2005). *Tropical Forages: an interactive selection tool*. <https://tropicalforages.info/text/intro/index.html>

- Crop Protection Network. (2019). *Diplodia Ear Rot of Corn*.  
<https://cropprotectionnetwork.org/encyclopedia/diplodia-ear-rot-of-corn>
- Crous, P., Groenewald, J., Groenewald, M., Caldwell, P., Braun, U. y Harrington, T. (2006). *Species of Cercospora associated with grey leaf spot of maize*. *Studies in Mycology*. 2006; 55:189-197.doi:10.3114/sim.55.1.189
- Cuevas, G., Martínez, F. y Walter, I. (2003). *Maíz (Zea mays L.) cultivado en campo con lodos de depuradora compostados. Efectos en la calidad de suelo y del grano*. Revista española de Investigaciones Agrarias. <https://doi.org/10.5424/sjar/2003013-40>
- Engasser, E. (2015). *May beetle (Phyllophaga ephilida)*. USDA APHIS PPQ  
<https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=5539654>
- FAO. (2018). *Agroecología y Agricultura Familiar*. Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar. <https://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/>
- FAO. (1996). *El suelo. Ecología y enseñanza rural*. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas.  
<https://www.fao.org/4/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage>
- FAO. (2019). *Los 10 elementos de la agroecología*. Centro de conocimientos sobre agroecología <https://www.fao.org/agroecology/home/es/>
- FAO. (2012). *Maize grain*. <https://www.feedipedia.org/node/556>
- FAO. (2013). *Manual del compostaje del agricultor*. Experiencias en América Latina.  
<https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- FAO (2020). *Soil testing methods manual*. Soil Doctors Global Programme. A farmer-to-farmer training programme. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca2796en>

- Fernández, F. y Kaiser, D. (2021). *Understanding nitrogen soils*. University of Minnesota Extension <https://es.extension.umn.edu/nitrogen/understanding-nitrogen-soils>
- Fertilab. (2015). *Manejo de la Fertilización del Maíz en Base al Análisis de Suelo*. [https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas\\_Tecnicas/pdf\\_nota/Manejo\\_de\\_la\\_Fertilizacion\\_del\\_Maiz\\_en\\_Base\\_al\\_Analisis\\_de\\_Suelo.pdf](https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Manejo_de_la_Fertilizacion_del_Maiz_en_Base_al_Analisis_de_Suelo.pdf)
- Generación Verde. (2016). *Gallina ciega*. Plagas <https://generacionverde.com/blog/plagas-es/gallina-ciega/>
- Godina, J., Garay, J., Mendoza, S., Joaquín, S., Rocandio, M. y Lucio, F. (2020). *Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2358>
- González, E., Sandoval, E. y Pérez, A. (2014). *Biosólidos en la producción de maíz: impacto socioeconómico en zonas rurales del municipio de Puebla*. Estudios sociales [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-45572014000100003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572014000100003)
- Gourley, C., Alla, D. y Russelle, M. (1994). *Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement*. Plant Soil doi:101007/BF00007014
- Granjas Carroll de México. (s.f.). *Sistema de Tratamiento y Plan de Manejo de Cerdaza en Cama Profunda de Paja*. Departamento de Ambiente y Energía.
- Gutiérrez, G., Virgen, J., Arellano, J. (2007) *Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural* [https://www.researchgate.net/publication/26544999\\_Germinacion\\_y\\_crecimiento\\_inicial\\_de\\_semillas\\_de\\_maiz\\_con\\_envejecimiento\\_natural](https://www.researchgate.net/publication/26544999_Germinacion_y_crecimiento_inicial_de_semillas_de_maiz_con_envejecimiento_natural)

- Guzmán, H., Sánchez, J. y Hernández, J. (2017). *El Género Cyclocephala Dejean (Coleoptera: Melolonthidae: Dynastinae: Cyclocephalini) en México*. *Entomología mexicana*, 4: 808-812.
- Hoseney, R., Fabion, J., (1992). *Physical properties of cereal grains*. In Sauer DB editor. *Storage of cereal grains and their products*. St. Paul MN, USA: Am. Assoc. Cereal Chem. 1-38 pp.
- IFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes). (2002). *Los fertilizantes y su uso*. [https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d81ae4cf-54e9-421d-8bac-d36719b2eaf0/content?utm\\_source=chatgpt.com](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d81ae4cf-54e9-421d-8bac-d36719b2eaf0/content?utm_source=chatgpt.com)
- INEGI. (2023). *Censo 2022 Agropecuario Resultados Definitivos*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022\\_rdnal.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdnal.pdf)
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010 Xiutetelco* [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/21/21199.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21199.pdf)
- INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Microdatos>
- INEGI. (2007). *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico*, escala 1: 250 000, Serie II (Continuo Nacional). México.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2023). *Alternativas para la fertilización en maíz*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/alternativas-para-la-fertilizacion-en-maiz>
- INIFAP. (2009). *Guía para cultivar maíz bajo condiciones de temporal en el estado de Morelos*. Primera edición. México D.F. 32 p.

- INEGI. (2022). *Suelo*. <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/suelo.aspx?tema=T#>.
- INIAP. (2022). *Deficiencias nutricionales en maíz*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5812/1/Deficiencias%20nutricionales%20en%20el%20ma%C3%ACz.pdf>
- INIFAP. (2017). *AGENDA TÉCNICA AGRÍCOLA DE ESTADO DE MÉXICO*. [https://vun.inifap.gob.mx/VUN\\_MEDIA/BibliotecaWeb/\\_media/\\_agendas/4128\\_4825\\_Agenda\\_T%C3%A9cnica\\_Estado\\_de\\_M%C3%A9xico\\_2017.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_agendas/4128_4825_Agenda_T%C3%A9cnica_Estado_de_M%C3%A9xico_2017.pdf)
- International Plant Names Index and World Checklist of Vascular Plants (IPNI). (2024). *Zea mays* L. [https://powo.science.kew.org/taxon/4268101?\\_gl=1\\*1i06iam\\*\\_ga\\*MTAzMTM1NzE2OC4xNzZmMjQ4MTg1\\*ga\\_ZVV2HHW7P6\\*MTczMzg4NzQ1MS40LjEuMTczMzg4NzQ5My4wLjAuMA..](https://powo.science.kew.org/taxon/4268101?_gl=1*1i06iam*_ga*MTAzMTM1NzE2OC4xNzZmMjQ4MTg1*ga_ZVV2HHW7P6*MTczMzg4NzQ1MS40LjEuMTczMzg4NzQ5My4wLjAuMA..)
- INTA. (2019). BOLETÍN TÉCNICO. *Variedades e híbridos de maíz: Características y recomendaciones para su manejo agronómico*. Campo comercial de maíz, Sardinal, Carrillo, Guacanaste. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1930.pdf>
- Kato, T., Mapes, C., Mera, L., Serratos, J. y Bye, R. (2009). *ORIGEN Y DIVERSIFICACIÓN DEL MAÍZ UNA REVISIÓN ANALÍTICA*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones\\_digitales/Origen\\_deMaiz.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/Origen_deMaiz.pdf)
- Katovich, S. (2012). *May- Jun beetles (Phyllophaga sp.)*. <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5486521>.
- King, A. (1994). *Biología, Identificación y Distribución de Especies Económicas de Phyllophaga en América Central*. En seminario-taller Centroamericano sobre la

Biología y Control de Phyllophaga spp. (Costa Rica).

<https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay/alma991006093119703936/56>

UDC\_INST:56UDC\_INST

Knoema. (2023). *World- Maize production quantity*. World Data Atlas.

<https://knoema.com/atlas/World/topics/Agriculture/Crops-Production-Quantity-tonnes/Maize-production>

Krysa, M., Susniak, K., Song, C., Szymanska, M., Zdunek, A., Pieta, S., Podleśny, J., Sroka, A., y Kazarian, S. (2024). *Multimodal Spectroscopic Studies to Evaluate the Effect of*

*Nod-Factor-Based Fertilizer on the Maize ( Zea mays ) Stem. Applied Spectroscopy.*

<https://doi.org/10.1177/00037028241239358>

Lacerda, J., Resende, A., Furtini E., Hickmann, C. y Conceição, O. (2015). *Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015

Landeras, E. y García, P. (2006). *Setosphaeria turcica (Leonar & Suggs)*. GRUPO DE TRABAJO DE LABORATORIOS DE DIAGNOSTICO. Laboratorio de Sanidad Vegetal, Principado de Asturias.

[https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/plataforma\\_conocimiento/fichas/pdf/fd\\_320.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/plataforma_conocimiento/fichas/pdf/fd_320.pdf)

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, última reforma publicada el 8 de mayo de 2023. Diario Oficial de la Federación, 8 de octubre 2003.

<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>

Lezaun, J. (2014). *Una plaga de alto impacto Oruga militar o Gusano cogollero un problema para los cultivos de maíz y sorgo*. Crop life Latin America.

<https://croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/gusano-cogollero>

- Lloret, E., Pascual, J., Brodie, E., Bouskill, N., Insam, H., Delgado, M y Goberna, M. (2016). *Sewage sludge addition modifies soil microbial communities and plant performance depending on the sludge stabilization process*. Applied Soil Ecology. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.01.002>
- Macera, A., García, G., Carballo, Q., Villaseñor, C. Martínez, A. y Estrada, V. (2007) *Calidad fisiológica y daño físico en semilla de maíz sometida a impacto*. Agricultura Técnica en México. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172007000200002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000200002)
- MacNeish, R., Douglas, S. and others. (1967). The prehistory of the Tehucan Valley. University of Texas Press.
- Martinez, A., Castillo, J. y Orgaz, F. (2016). *Propuesta metodológica para el aprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales en agricultura. Un estudio de caso en República Dominicana*. Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible. <http://www.eumed.net/rev/delos/26/biosolidos.html>
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th edition). McGraw-Hill Education.
- Morón, M., Lugo, G. y Aragón, A. (2014). *Description of the third instar larvae of five species of Cyclocephala (Coleoptera, Melolonthidae, Dysnatinae) from Mexico*. Revista Brasileira de Entomologia. 58(3): 219-228.
- Morón, M., Rojas, C. y Arce, R. (2016). *La función de la “Gallina Ciega” en los pastizales*. Red de Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A.C, Xalapa, Veracruz. 15p.
- Mueller, D., Wise, K., Sisson, A., Allen, T., Bergström, G., Bissonnette, K., Bradley, C., Byamukama, E., Chilvers, M., Collins, A., Esker, P., Faske, T., Friskop, A., Hagan, A., Heiniger, R., Hollier, C., Isakeit, T., Jackson-Ziems, T., Kelly, H.,... Wiebold, W.

- (2020). *Corn Yield Loss Estimates Due to Diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2016 to 2019*. Plant Health Progress. <https://doi.org/10.1094/PHP-05-20-0038-RS>
- Naturalista. (2019). *Diabrotica virgifera ssp. Zeae*. <https://mexico.inaturalist.org/taxa/314087-Diabrotica-virgifera-zeae>
- NUSSED SPAIN. (2023). *Salud del suelo*. <https://nuseed.com/es/salud-del-suelo/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2003). CONSENSUS DOCUMENT ON THE BIOLOGY OF ZEA MAYS SUBSP. MAYS (MAIZE). *Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology*. <https://conahcyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/divulgacion/cultivos/E NVJMMONO-maiz.pdf>
- Ortega, R. (2003). *La diversidad del maíz en México*. Sin Maíz no hay País. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, D. F. pp. 123-154. <https://www.culinaryartschool.edu.mx/cocinasdemexico/Biblioteca/unidad-2/bloque11/la-diversidad-del-maiz-en-mexico.pdf>
- Paliwal, R., Granados, G. y Lafitte, H. (2001). *El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y producción*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s00.htm#toc>
- Palma, D. y Sánchez, R. (Compiladores). 2023. *Uso y manejo del suelo*. Vol 3. En: Hacia un conocimiento global y multidisciplinario del recurso suelo. Bautista F y Ayala F. (Eds). Sociedad mexicana de las ciencias del suelo. Texcoco, Estado de México. 311 pp. [https://www.smcsmx.org/files/2023/LIBRO\\_3\\_2023.pdf](https://www.smcsmx.org/files/2023/LIBRO_3_2023.pdf)

Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Doude, D., y Seidel, R. (2005). *Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems*. BioScience.

[https://www.researchgate.net/publication/271847517\\_Environmental\\_energetic\\_and\\_economic\\_comparisons\\_of\\_organic\\_and\\_conventional\\_farming\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/271847517_Environmental_energetic_and_economic_comparisons_of_organic_and_conventional_farming_systems)

Pires, A., Jacobs, D., Ferreira, J., Monteiro, E., Lise, B. y Tadeu, H. (2023). *Agronomic characteristics of two corn (Zea mays L.) varieties subjected to topdressing fertilization using different levels of nitrogen and potassium in Amazonas, Brazil*. DOI:10.17765/2176-9168.2023v16n1e9593

Plantwise. (2020). *White grubs Phyllophaga* CABI. <https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/10.1079/PWKB.Species.40788#DistributionSection>

Popoola, L., Olawale, T. y Salami, L. (2023). *A review on the fate and effects of contaminants in biosolids applied on land: Hazards and government regulatory policies*. Heliyon CellPress <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19788>

Porta, J., López, A. y Poch, R. (2019). *El suelo como un ente natural: enfoques conceptuales. Edafología, uso y protección de suelos*. [https://www.google.com.mx/books/edition/Edafolog%C3%ADa\\_uso\\_y\\_protecci%C3%B3n\\_de\\_suelos/SZ3BDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&pg=PA3&printsec=frontcover](https://www.google.com.mx/books/edition/Edafolog%C3%ADa_uso_y_protecci%C3%B3n_de_suelos/SZ3BDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&pg=PA3&printsec=frontcover)

Pozzebon, E., Seifert, L. (2023). *Emerging environmental health risks associated with the land application of biosolids: a scoping review*. Environ Health. doi: 10.1186/s12940-023-01008-4

- Pritchard, D., Penney, N., McLaughlin, MJ., Rigby, H. y Schwarz, K. (2010). *Land application of sewage sludge (biosolids) in Australia: risks to the environment and food crops*. Water Sci Technol. DOI: 10.2166/wst.2010.274. PMID: 20595753.
- Purdue University. (2009). *Corn rootworms*. Purdue University. College of Agriculture. Field crops IPM. <https://extension.entm.purdue.edu/fieldcropsipm/insects/corn-rootworms.php>
- Quevedo, Y., Isidro, J. y Barragán, E. (2018). *Effect of sowing density on yield and profitability of a hybrid corn under tropical conditions*. Agronomía Colombiana. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.71268>
- Redinbaugh, M. y Stewart, L. (2018). *Maize Lethal Necrosis: An Emerging, Synergistic Viral Disease*. Annual Review of Virology. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-092917-043413>.
- Restrepo, J. (1998). *Abonos orgánicos fermentados. Experiencias de Agricultores en Centroamérica y Brasil*. <https://bocashi.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/10/abonosorganicosfermentados.pdf>
- Reyes, P. (1990). *El maíz y su cultivo*. AGT-EDITORS.A. México, D.F
- Rivera, H. (2011). *Instrumentos de la política ambiental de importancia para la porcicultura mexicana: Factibilidad y alternativas relevantes para su cumplimiento en el marco de las estrategias en materia de cambio climático*. México, D.F.
- Rosado, A., & Villasante, B. (2021). *Los herederos del maíz*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/658352/Libro-Los-herederos-del-maiz-INPI.pdf>

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Maíz blanco o amarillo es cultivo de tradición y desarrollo*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-blanco-o-amarillo-es-el-cultivo-de-tradicion-y-desarrollo>
- SADER. (2023). *Biodiversidad del suelo, el mundo oculto bajo nuestros pies*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/biodiversidad-del-suelo-el-mundo-oculto-bajo-nuestros-pies?idiom=es>
- SADER. (2022). *Buen uso y manejo responsable de los fertilizantes químicos*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/buen-uso-y-manejo-responsable-de-los-fertilizantes-quimicos>
- SADER. (2023). *Maíz, cultivo de México*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-cultivo-de-mexico>
- SADER. (2020). *El cerdo, base culinaria en México*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-cerdo-base-culinaria-en-mexico>
- SADER. (2024). *Maíz, el corazón de la agricultura*. [https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-corazon-de-la-agricultura#:~:text=Datos%20Curiosos%20\\*%20Producci%C3%B3n:%20M%C3%A9xico%20es%20el,y%20la%20mayor%20diversidad%20gen%C3%A9tica%20del%20grano.](https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-corazon-de-la-agricultura#:~:text=Datos%20Curiosos%20*%20Producci%C3%B3n:%20M%C3%A9xico%20es%20el,y%20la%20mayor%20diversidad%20gen%C3%A9tica%20del%20grano.)
- SADER. (2024). *Producción sostenible de cultivos tradicionales*. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/produccion-sostenible-de-cultivos-tradicionales?idiom=es>
- SADER. (2023). *Razas de maíz, riqueza del campo mexicano*. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/razas-de-maiz-riqueza-del-campo->

mexicano?idiom=es#:~:text=Las%20razas%20de%20ma%C3%ADces%20mexicanos ,Jalisco%2C%20Palomero%20Toluque%C3%B1o%20y%20Uruape%C3%B1o.

SADER. (2023). *¿Sabes qué es la agroecología?*

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/sabes-que-es-la-agroecologia>

Salazar, A., Botello, E. y Quintero, J. (2020). *Optimización de la prueba de tetrazolio para evaluar la viabilidad en semillas de Solanum lycopersicum L. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num3\\_art:1344](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1344)

Sarker, M., Ahmad, M., Islam, M., Abu Syed, M., & Memon, N. (2020). *Potential Food Safety Risk in Fruit Production from the Extensive Use of Fluorine-Containing Agrochemicals*. [www.fluorideresearch.online/epub/files/090](http://www.fluorideresearch.online/epub/files/090)]

SEMARNAT. (2013). *Suelos de México*. Suelos.

[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Cap3\\_suelos.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf)

Sánchez, J. (2007). *Fertilidad en Suelo y Nutrición Mineral de Plantas*. Conceptos Básicos. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>

SENASICA. (2011). *Listado de plaguicidas autorizados de uso agrícola*. Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera. México. 3877 p.

SENASICA. (2020). *Ficha Técnica Diabrotica balteata LeConte 1865 (Coleoptera: Chrysomelidae)*.

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/604500/Ficha\\_tcnica\\_Diabrotica\\_balteata\\_2020.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/604500/Ficha_tcnica_Diabrotica_balteata_2020.pdf)

SENASICA. (2020). *Ficha Técnica de Diabrotica virgifera zea Kryan & Smith (Insecta: Coleoptera: Chrysomelidae) Gusano alfilerillo*.

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633033/Gusano\\_alfilerillo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633033/Gusano_alfilerillo.pdf)

- SENSICA. (2021). *Ficha Técnica Gusano Cogollero Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano\\_cogollero\\_en\\_ma\\_z\\_y\\_arroz.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano_cogollero_en_ma_z_y_arroz.pdf)
- SENASICA. (2024). *Ficha Técnica Maize Lethal Necrosis Disease (MLND) Necrosis Letal del Maíz*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/958607/Ficha\\_Tecnica\\_necrosis\\_letal\\_de\\_ma\\_z\\_2024.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/958607/Ficha_Tecnica_necrosis_letal_de_ma_z_2024.pdf)
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2016). *Razas nativas de maíz en México*.  
<https://www.gob.mx/snics/articulos/razas-nativas-de-maiz-en-mexico?idiom=es/1000>
- Suresh, L. (2024). *Identification and management of major diseases of maize*. The National Agriculture and Forestry Research Institute (NAFRI), Lao PDR, CIMMYT.  
<https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/e0328681-ca70-4c3a-aea2-f211e3291683/content>
- Tadeo, M. (2018). *Producción y tecnología de semillas (Prácticas de laboratorio)*. Departamento de Ciencias Agrícolas. Sección de Producción Agrícola. Universidad Nacional Autónoma de México.  
[https://portal.cuautitlan.unam.mx/manuales/Manual\\_produccion\\_tecnologia\\_semillas.pdf](https://portal.cuautitlan.unam.mx/manuales/Manual_produccion_tecnologia_semillas.pdf)
- Tellez, P., Morán, I., Riverón, A., Espinoza, D., Martínez, A., Isidró, M., Pino, Y., García, L. y Laguna, J. (2023). *Definición del marco óptimo de plantación del híbrido de maíz H-Ame15, en época seca*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.  
<https://www.redalyc.org/journal/1932/193279161005/193279161005.pdf>

- Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R., y Polasky, S. (2002). *Agricultural sustainability and intensive production practices*. Nature. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Tobón, J., Miguel, J. y Sebastián, J. (2024) *Seminario sobre mejoramiento genético vegetal en maíz*. Instituto Universitario de la Paz. Escuela de Ingeniería Agronómica. <https://es.scribd.com/document/720454792/SEMINARIO-SOBRE-MEJORAMIENTO-GENETICO-VEGETAL-EN-MAIZ>
- Toze, S. y Sidhu. (2011). *Biosolids: Human Health Impacts*. *Encyclopedia of Environmental Health*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00372-X>
- UNESCO. (2024). *Alerta mundial de la UNESCO sobre la rápida degradación de los suelos*. <https://www.unesco.org/es/articles/alerta-mundial-de-la-unesco-sobre-la-rapida-degradacion-de-los-suelos>
- Urina, B. (2022). *Evaluación de elementos fisicoquímicos y microbiológicos en los biosólidos de la PTAR El Salitre, Bogotá DC*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Civil y Agrícola.
- Velázquez, H. (2014). *Estudio fisiológico en familias prolíficas de un lote de producción de semilla de la variedad de maíz JAGUAN*. Tesis de Maestría Profesional, especialidad en Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Vitanza, S. (2016). *Cyclocephala lunulata*. Iowa State University. <https://bugguide.net/node/view/1243784Fe>
- Wagner, H. (2019). *Gusano cogollero de maíz, control de plaga con visión holística*. México Ambiental. <https://www.mexicoambiental.com/gusano-cogollero-de-maiz-control-de-plaga-con-vision-holistica/>

Weatherwax, P. 1955. History and origin of corn. I. Early history of corn and theories as to its origin. In G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, 1st ed., p. 1-16. New York, NY, USA, Academic Press.

Whole Building Design Guide. (2015). *Biosolids*. United States Environmental Protection Agency. [https://www.wbdg.org/resources/wastewater-treatment-and-water-resource-recovery-facilities-wrrfs/biosolids#:~:text=Biosolids%20are%20defined%20by%20the%20Environmental%20Protection%20Agency%20\(EPA\)%20as:%20%60%60nutrient%20rich%20organic%20materials&text=that%20can%20be%20recycled%20and%20applied%20as,pathogen%20reduction%20metals%20and%20vector%20attraction%20reduction.](https://www.wbdg.org/resources/wastewater-treatment-and-water-resource-recovery-facilities-wrrfs/biosolids#:~:text=Biosolids%20are%20defined%20by%20the%20Environmental%20Protection%20Agency%20(EPA)%20as:%20%60%60nutrient%20rich%20organic%20materials&text=that%20can%20be%20recycled%20and%20applied%20as,pathogen%20reduction%20metals%20and%20vector%20attraction%20reduction.)

Wilkes, H.G. 1989. *Maize: domestication, racial evolution and spread*. In D.R. Harris & G.C. Hillman, eds. *Forage and farming*, p. 440-454. London, Unwin Hyman.

Woloshuk, C. y Wise, K. (2014). *Diseases of Corn: Fusarium Ear Rot*. Botany Plant Pathology Purdue University. <https://extension.purdue.edu/extmedia/bp/bp-86-w.pdf>

Wong, E. y Hagen, J. (2022). *An Evidence-based Causal Perspective of Agrochemical Pollution and Its Impact on Health*. Department of Public Health, University of Oslo, Problemveien 7, 0315 Oslo, Norway <https://doi.org/10.15354/si.22.re086>

Yara. (2022). *YaraBela NITROMAG* <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/productos/yarabela/yarabela-nitromag/>

Yara. (2022). *YaraVita MAIZE BOOST* <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/productos/yaravita/yaravita-maizeboost/>

Yzarra, W., López, F., Dediós, N., Medina, E., Gómez, H., Rosas, R., Montañez, L. y Mathews, C. (2012). *Manual de Observaciones Fenológicas*. Ministerio de Agricultura,

*Ministerio del Ambiente, y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Perú.*

<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>

Zalewska, M., Stępień, A., y Wierzbowska, J. (2020). *Agronomic evaluation of dried sewage sludge and sewage sludge ash as sources of nutrients for maize*. *Journal of Elementology*. DOI:10.5601/jelem.2019.24.4.1929