



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES
PARA LA AGRICULTURA

RESPUESTA DEL MAÍZ A LA APLICACIÓN DE HIDROGEL Y *Trichoderma spp*
EN EL SUSTRATO EN INVERNADERO

TESIS DE MAESTRÍA
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS
POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA

PRESENTA
HERIBERTO FERMÍN SANTOS

DIRECTOR DE TESIS
MC. FABIEL VAZQUEZ CRUZ

CODIRECTOR:
DR. MARCOS PÉREZ SATO

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México, febrero de 2025.



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES
PARA LA AGRICULTURA
RESPUESTA DEL MAÍZ A LA APLICACIÓN DE HIDROGEL Y *Trichoderma spp*
EN EL SUSTRATO EN INVERNADERO

TESIS DE MAESTRÍA
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS
POTENCIALES PARA LA AGRICULTURA

PRESENTA

HERIBERTO FERMÍN SANTOS

DIRECTOR DE TESIS

MC. FABIEL VAZQUEZ CRUZ

CODIRECTOR:

DR. MARCOS PÉREZ SATO

ASESORES

DRA. CARMELA HERNÁNDEZ DOMÍNGUEZ

DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNÁNDEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México, febrero de 2025.

La presente tesis titulada: **RESPUESTA DEL MAÍZ A LA APLICACIÓN DE HIDROGEL Y *Trichoderma spp* EN EL SUSTRATO EN INVERNADERO** realizada por **Heriberto Fermín Santos**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS FITOGENÉTICOS POTENCIALES PARA
LA AGRICULTURA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Consejo particular integrado por:

Firma

Director: M. C. Fabiel Vázquez Cruz

Co- director: Dr. Marcos Pérez Sato

Asesor: Dra. Carmela Hernández Domínguez

Asesor: Dr. Sigfrido David Morales Fernández

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México, febrero de 2025.

Agradezco Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por haberme otorgado la beca para poder obtener el grado de maestría.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: BUAP-CA-355 Agrobiotecnología y Recursos Naturales y de la Línea De Investigación: Biotecnología y protección vegetal. Dicho trabajo, fue financiado con recursos propios.

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres con mucho cariño, María del Carmen Santos guerrero y Librado Fermín Hernández, quienes con mucho esfuerzo me han brindado todo para poder llegar hasta este punto de mi vida

A mis hermanos a quienes Amo, Brenda Idali, Luis Ángel y Uriel siempre están en mi corazón.

A mis compañeros y amigos de maestría Jorge Bandala, Juan José y Dannia Fernanda.

A mis amigos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP.

A todos quienes de una u otra forma contribuyeron a la culminación de este grado académico.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, al M.C Fabiel Vázquez Cruz por guiarme en este punto de mi formación académica y ayudar en gran medida a la realización de este trabajo.

Del mismo modo al Dr. Marcos Pérez Sato por la atención prestada para la realización de este trabajo, por las clases amenas, las pláticas y recomendaciones.

Así mismo, quiero expresar mi enorme agradecimiento los profesores que de una u otra forma contribuyeron a mi formación académica y a la realización de este trabajo, particularmente a mis asesores la Dra. Carmela Hernández Domínguez por su enorme ayuda en la realización de este trabajo y el Dr. Sigfrido David Morales Fernández por sus acertadas observaciones.

Por último, aunque no menos importante, a todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRAC.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 objetivo general.....	3
2.2 objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. El maíz (<i>Zea mays</i> L.)	5
4.1.1 El cultivo del maíz.....	5
4.1.2 Producción de maíz en el mundo y en México	7
4.1.3. Los maíces nativos en México	7
4.1.4 Maíz para alimentación animal	8
4.2 <i>Trichoderma</i> spp	9
4.2.1 Clasificación taxonómica	9
4.2.2 Características generales	10
4.2.3 <i>Trichoderma</i> en el cultivo de maíz.....	10
4.3 Hidrogeles o polímeros absorbentes	10
4.3.1. Características del hidrogel	10
4.3.2. Hidrogeles en la agricultura	11
4.4.3. Benéficos del hidrogel en las plantas	12

4.5 Sustratos	13
4.6 Investigaciones realizadas en hidrogel y <i>Trichoderma</i>	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS	14
5.1 Lugar del experimento	14
5.2 Material vegetal y establecimiento del cultivo	14
5.3 Obtención de hongos	15
5.4 Preparación del sustrato	15
5.5 Determinación de la concentración de esporas de hongos.....	16
5.6 Aplicación del hidrogel al sustrato	16
5.7 Inoculación de sustrato y semillas	17
5.7 Diseño experimental	17
5.8 Variables evaluadas	18
5.8.1 Supervivencia de esporas en el sustrato	18
5.8.2 Grados día	18
5.8.3 Número de días (DFM) y grados días (GDFM) a floración masculina	19
5.8.4 Número de días (DFF)y grados días (GDFF) a floración femenina	19
5.8.5 Número de días y grados días (GD MF) a madurez fisiológica.....	19
Se consideró al recolectar las mazorcas de cada unidad experimental de los diferentes tratamientos	19
5.8.6 Altura de planta (AP)	19
5.8.7 Diámetro del tallo.....	19
5.8.8 Número de hojas.....	19
5.8.9 Diámetro mazorca (DM)	20
5.8.10 Longitud de la mazorca (LM)	20
5.8.11 Número de granos por hilera (NGH).....	20
5.8.12 Número de hileras de mazorca (NHM)	20
5.8.13 Peso de 100 semillas (PCS).....	20
5.8.14 Rendimiento	20
5.8.15 Caracterización bromatológica del grano de maíz	20
5.9 Análisis estadístico	20
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
6.1 Supervivencia de <i>Trichoderma</i> en el sustrato con diferentes dosis de hidrogel	22

6.2 Variables agronómicas.....	23
6.2.1. Días y grados días a floración masculina y femenina	23
6.2.2 Altura de planta.....	24
6.2.3 Diámetro de tallo	25
6.2.4 Número de hojas	26
6.2.5 Rendimiento y sus componentes.....	27
6.3 Análisis bromatológico de maíz	28
VII. CONCLUSIONES	33
VIII. LITERATURA CITADA	34

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Estadísticas de producción de maíz en México.	6
Cuadro 2. Estadísticas de producción de Maíz forrajero en verde en México.	9
Cuadro 3. Análisis físico-químico del suelo.....	16
Cuadro 4. Descripción de tratamientos del experimento.....	17
Cuadro 5. Valores obtenidos de la estadística de la prueba t muestras relacionadas con $\alpha=0.05$	22
Cuadro 6. Comparación de medias en días y grados días a floración masculina y femenina.	24
Cuadro 7. Comparación de medias en las alturas de plantas para diferentes fechas.	25
Cuadro 8. Comparación de medias en diámetro de tallo para diferentes fechas.	26
Cuadro 9. Comparación de medias en número de hojas.....	27
Cuadro 10. Variables respuesta de rendimiento.	28
Cuadro 11. Variables bromatológicas de hoja.....	29
Cuadro 12. Variables bromatológicas de tallo.....	30
Cuadro 13. Variables bromatológicas de grano.....	32

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Ubicación del sitio experimental en la facultad (elaboración propia).....	14
Figura 2. Temperaturas promedio del aire dentro del invernadero.	23

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar los efectos de la aplicación de dos dosis de hidrogel en combinación con cepas de *Trichoderma* sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz de la raza cónico en la región de Teziutlán en condiciones de invernadero. Para ello, se realizaron experimentos en invernadero aplicando distintas dosis de hidrogel (30 kg ha^{-1} y 60 kg ha^{-1}) y la inoculación con *T. harzianum* y *T. longibrachiatum* al sustrato con una concentración de 1×10^5 y en semillas 1×10^6 , con el objetivo de determinar el efecto del hidrogel en la supervivencia de *Trichoderma* y la influencia de esta combinación en variables agronómicas tales como altura de la planta, floración, diámetro de tallo, rendimiento de mazorcas y calidad bromatológica del forraje. El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con nueve repeticiones, evaluando cuatro tratamientos (las combinaciones de hidrogel y cepas de *Trichoderma*) y un testigo. Los resultados mostraron que la dosis de 30 kg ha^{-1} de hidrogel combinado con *T. harzianum* promovió una floración masculina más temprana, mayor rendimiento, diámetro de mazorca y peso de 100 semillas. Los resultados indicaron que la combinación de hidrogel y *Trichoderma* puede ser una estrategia efectiva para optimizar el manejo del cultivo de maíz, incrementando su rendimiento en un 34.3 % y promoviendo la sostenibilidad de la producción agrícola en la región. Esto no solo contribuirá a preservar y proteger este valioso recurso fitogenético, sino que también permitirá utilizar el maíz como una especie forrajera potencialmente adaptada a las condiciones locales.

Palabras clave: Polímeros, poliacrilato de potasio, *Zea mays L.*, rendimiento, análisis bromatológico, microorganismos.

ABSTRAC

The objective of this research work was to evaluate the effects of applying two doses of hydrogel in combination with *Trichoderma* strains on the growth, development, and yield of the cónico race maize crop in the Teziutlán region under greenhouse conditions. To achieve this, greenhouse experiments were conducted by applying different doses of hydrogel (30 kg ha⁻¹ and 60 kg ha⁻¹) and inoculating with *T. harzianum* and *T. longibrachiatum* into the substrate at a concentration of 1×10^5 and on seeds at 1×10^6 , with the aim of determining the effect of hydrogel on the survival of *Trichoderma* and the influence of this combination on agronomic variables such as plant height, flowering, stem diameter, cob yield, and bromatological quality of the forage. The experiment was established under a completely randomized design with nine replicates, evaluating four treatments (combinations of hydrogel and *Trichoderma* strains) and a control. The results showed that the 30 kg ha⁻¹ dose of hydrogel combined with *T. harzianum* promoted earlier male flowering, higher yield, cob diameter, and weight of 100 seeds. The results indicated that the combination of hydrogel and *Trichoderma* can be an effective strategy to optimize maize crop management, increasing its yield by 34.3 % and promoting the sustainability of agricultural production in the region. This will not only contribute to preserving and protecting this valuable phylogenetic resource but will also allow the use of maize as a potentially locally adapted forage species.

Keywords: Polymers, potassium polyacrylate, *Zea mays* L., yield, bromatological analysis, microorganisms.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos esenciales más relevantes y ampliamente distribuidos a nivel global y constituye una de las principales fuentes de sustento para millones de personas en todo el mundo (Sánchez & Pérez-Urria, 2014). En México se cuenta con un gran número de razas y variedades de maíz distribuidas en gran parte del territorio nacional (Kato, 2009; Salgado, 2011), este cereal es cultivado bajo diversas condiciones climáticas y de suelo, su variabilidad es tan amplia que el país ha sido reconocido como el centro de origen y diversidad (Kato *et al.*, 2009; Serratos, 2009). El maíz se utiliza en diferentes sectores como el agrícola, el pecuario y en la industria y tiene una amplia diversidad de usos tanto de grano y de planta (Ortiz-Torres *et al.*, 2013).

En México, el uso de semillas de variedades criollas oscila entre 67 y 74 % (Espinosa *et al.*, 2002). Por su parte, en el estado de Puebla se ha encontrado una gran diversidad de maíces nativos (Gil *et al.*, 2004; Hortelano *et al.*, 2008; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010), Lo anterior es a consecuencia del uso generalizado, para la producción y consumo, de las propias variedades criollas de la región (Ortiz-Torres *et al.*, 2013). En el estado 77 % de la superficie está afectada por erosión hídrica, siendo una de las mayores a nivel nacional. Además, el alto nivel de vulnerabilidad al cambio climático se refleja en el aumento de sequías, heladas, granizadas e inundaciones en 11 de sus municipios (INECC, 2019). La región enfrenta desafíos agrícolas como altos costos de insumos, escasa práctica de labranza de conservación y problemas de almacenamiento. (Van *et al.*, 2023). Las dificultades que presentan los agricultores orilla a dejar de sembrar maíz nativo y optan por híbridos o en su defecto cambiar por cultivos más rentables disminuyendo y dejando de resguardar estos recursos fitogenéticos (Guzmán, 2021).

La utilización de hidrogeles en la agricultura surge como una alternativa para aprovechar el recurso hídrico ya que absorben agua y la mantienen disponible para el cultivo por más tiempo como consecuencia es posible aumentar los rendimientos (Akhter *et al.*, 2004). Además, con la aplicación de este tipo de polímeros se eficientiza el uso de fertilizantes, y también ayuda en la microbiota del suelo y mejora algunas características físicas de este (Yang *et al.*, 2014; Ortega-torres *et al.*, 2020).

En años recientes existe una tendencia hacia una agricultura más amigable con el medio ambiente al mismo tiempo se propone la utilización de microorganismos benéficos, estos pueden ser hongos, bacterias o virus, y constituyen una herramienta básica, y de gran utilidad para el desarrollo de una agricultura limpia y amigable con el entorno productivo (Viera-Arroyo, 2020). Entre estos microorganismos, los hongos benéficos destacan por su capacidad de establecer relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, mejorando la absorción de nutrientes, protegiéndolas de patógenos y contribuyendo al equilibrio del ecosistema del suelo (Shen *et al.*, 2008; Hariprasad *et al.*, 2009; Pineda *et al.*, 2010). *Trichoderma* es un grupo de hongos benéficos que destacan dentro de los microorganismos promotores de crecimiento vegetal (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2021), ya que al ser inoculados con este hongo se han tenido resultados favorables en especies como el chile, arroz y frijol entre otros cultivos (Ariel Rivero *et al.*, 2015; González-Marquetti *et al.*, 2019; Cristóbal Alejo *et al.*, 2022).

En la literatura científica es escasa la información sobre estudios que proporcionen un panorama claro de cómo *Trichoderma spp.* en combinación con hidrogel el desarrollo en plantas de maíz, cultivadas bajo sustrato e invernadero. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta del cultivar de maíz a la inoculación de cepas de *Trichoderma spp.* en combinación con diferentes dosis de hidrogel en sustrato bajo invernadero.

II. OBJETIVOS

2.1 objetivo general

Evaluar la respuesta de los componentes agronómicos y rendimiento del maíz con inoculación de cepas de *Trichoderma spp.* adicionando dosis de hidrogel en sustrato bajo condiciones de invernadero.

2.2 objetivos específicos

Determinar la sobrevivencia de conidios de *Trichoderma spp.* en el sustrato.

Evaluar el efecto de *Trichoderma spp.* más hidrogel en las variables agronómicas de maíz.

Determinar el efecto de la inoculación de semillas y sustratos con conidios de *Trichoderma spp.* y la aplicación de hidrogel en las variables de rendimiento de maíz.

Evaluar el efecto de *Trichoderma spp.* más hidrogel en las variables bromatológicas de tallo, hoja y grano de maíz bajo invernadero.

III. HIPÓTESIS

La aplicación conjunta de *Trichoderma spp.* e hidrogel promueve un mayor crecimiento y rendimiento en el cultivo de maíz.

La combinación de hidrogel y *Trichoderma spp.* en el sustrato aumenta el rendimiento del maíz producido bajo invernadero.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. El maíz (*Zea mays* L.)

4.1.1 El cultivo del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) tiene su origen en Mesoamérica, una región que incluye partes de México y América Central. La evidencia arqueológica y genética sugiere que el maíz fue domesticado hace aproximadamente 9,000 años en el suroeste de México. Este proceso de domesticación comenzó con una planta silvestre llamada teosinte, la cual es el ancestro directo del maíz moderno (Bennetzen *et al.*, 2001; Sánchez, 2009).

Es un cultivo que destaca por su elevada eficiencia en la actividad fotosintética, teniendo el mayor rendimiento en la generación de carbohidratos por área y por día (Golic *et al.*, 2018). A nivel mundial el maíz es el cereal más importante en términos de producción anual pues alcanza los mil millones de toneladas (Kushanov *et al.*, 2022) y se estima que para el año 2024 la producción del maíz se ubicará en 1,1228.1 millones de toneladas (FIRA, 2024). Además de ser una fuente de alimento para el ser humano también se le han encontrado otras funciones como en el caso de la industria donde juega un papel muy importante en: la producción de bioetanol, ya que ofrece una fuente de energía renovable que reduce la dependencia de los combustibles fósiles. El almidón de maíz se utiliza en la fabricación de plásticos biodegradables, promoviendo la sostenibilidad medioambiental. Además, las fibras de maíz contribuyen a las industrias textil y papelera, mostrando su versatilidad industrial (el shafie & camele, 2021; Deaker *et al.*, 2007).

En México se le atribuye un gran valor económico social y cultural (Gonzales, 2019), la producción nacional es de 26.5 millones de toneladas de maíz grano lo que convierte a este cultivo uno de los más importantes, en particular el estado de Puebla produce 724,891 toneladas del total de la producción, sin embargo, cabe destacar que el rendimiento promedio en un ciclo de temporal no supera las 1.9 t ha⁻¹ SIAP (2022).

Casi en todo el territorio mexicano se cultiva el maíz, en sus diferentes proporciones (Cuevas, 2014), los principales estados productores en cuanto a superficie cosechada son: Chiapas, Veracruz y Jalisco, sin embargo los estados con mayor producción son: Sinaloa, Jalisco y

Michoacán, siendo Sinaloa el que tiene el mayor rendimiento con 11 t ha⁻¹ (Cuadro 1; SIAP, 2022).

Cuadro 1. Estadísticas de producción de maíz en México.

Entidad	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Valor Producción (miles de pesos)
Chiapas	686,943.50	1,379,252.44	2.01	6,761,011.27
Veracruz	599,360.00	1,353,531.25	2.26	6,423,612.74
Jalisco	567,504.44	3,984,289.04	7.02	27,837,273.90
Oaxaca	519,271.80	770,846.94	1.48	3,792,047.88
Guerrero	511,522.76	1,490,519.35	2.91	7,521,453.02
Michoacán	478,582.24	2,093,142.37	4.37	14,199,784.91
Puebla	465,401.12	724,891.92	1.56	4,488,062.36
México	461,635.68	1,779,468.40	3.85	13,753,194.60
Sinaloa	456,869.68	5,309,195.07	11.62	35,832,956.10
Guanajuato	373,062.00	1,898,924.59	5.09	14,147,221.29
Chihuahua	216,876.00	1,731,210.97	7.98	11,261,600.52
Hidalgo	204,609.08	603,891.43	2.95	4,266,828.86
Zacatecas	169,808.25	437,914.55	2.58	3,185,373.04
Campeche	161,933.20	381,053.06	2.35	2,590,543.01
Tlaxcala	119,173.00	361,413.41	3.03	2,097,626.22
Yucatán	111,184.04	149,287.54	1.34	733,347.59
Tamaulipas	104,287.60	451,060.42	4.33	3,014,093.11
Durango	94,728.30	305,022.24	3.22	2,084,374.84
Tabasco	85,809.00	169,173.66	1.97	770,967.12
Quintana Roo	61,138.00	71,828.90	1.17	498,420.26
Querétaro	51,140.42	206,628.60	4.04	1,378,903.48
Morelos	38,867.50	191,449.90	4.93	1,139,571.83
Aguascalientes	28,817.00	71,209.35	2.47	317,713.07
Nuevo León	26,495.80	32,275.26	1.22	164,142.17
Nayarit	25,528.95	122,451.40	4.8	860,475.84
Sonora	18,195.00	185,958.83	10.22	1,236,917.42
Coahuila	15,275.00	16,518.78	1.08	91,446.18
Colima	11,365.10	49,653.35	4.37	277,753.84
Baja California Sur	5,679.00	45,573.35	8.02	180,773.42
Ciudad de México	3,463.00	4,954.90	1.43	27,557.36
Baja California	1,615.50	18,091.77	11.2	95,884.59

Fuente: SIAP, 2022.

4.1.2 Producción de maíz en el mundo y en México

A nivel mundial Estados Unidos es el principal país productor de maíz, China es el segundo y Brasil el tercer mayor productor, en términos de superficie sembrada estos tres países representan un 47 % con respecto a la superficie mundial sembrada con maíz (Mendoza, 2017).

Por otro lado, en México la producción obtenida para el 2022 fue de 26.5 millones de toneladas convirtiéndolo en el sexto mayor productor a nivel mundial sin embargo también fue uno de los mayores importadores con 17 Mt (OCDE-FAO, 2023). En el país, la demanda de maíz se sitúa en torno a los 29 millones de toneladas, mientras que la producción alcanza los 26.5 millones de toneladas, la mayor parte de la demanda no cubierta fue satisfecha por Estados Unidos (SIAP, 2022) ante ésta situación se han implementado estrategias nacionales en mejora de la producción como lo es la política agrícola de precios de garantía lo que tiene dos principales objetivos, mantener precios en el maíz al apoyar a pequeños productores a y aumentar la producción gradualmente (CEDRSSA, 2019).

4.1.3. Los maíces nativos en México

La producción de maíz en México se extiende por todo el territorio abarcando una diversidad de zonas agroecológicas a diferencia de otros países productores de maíz que siembran en regiones específicas (OCDE-FAO, 2023), esta es posiblemente una de las razones por las que se presenta una gran diversidad de este grano. De acuerdo con Kato *et al.* (2009) se han registrado 59 razas de maíz nativo en México, estas razas presentan variabilidad en color, forma, tamaño, además de tener un gran rango de adaptabilidad.

Es importante recalcar que la semilla de maíz que se siembra en México cerca del 70 % es semilla propia del productor y el resto corresponde a semilla de variedades mejoradas (Ayala *et al.*, 2019), las semillas nativas son heredadas de generación en generación y en el transcurso se lleva a cabo un proceso de selección que permite mantener características deseables en la semilla, generalmente con fines de rendimiento y sanidad (González, 2019).

El aprovechamiento de variedades nativas puede promover el resguardo de la diversidad genética de manera *In situ* (Ángeles *et al.*, 2010), otra ventaja de utilizar las variedades nativas es que esto le permite que el productor, al utilizar diferentes tipos de maíz y de diferente color, pueda proteger su plantación de posibles siniestros climáticos o sanitarios y de esta forma asegurar la cosecha (Ayala *et al.*, 2019).

4.1.4 Maíz para alimentación animal

El maíz es un alimento básico en muchas regiones y juega un papel crucial en la nutrición humana y animal, proporcionando proteínas, calorías, fibra, antioxidantes, vitaminas y minerales (Serna, 2023). Debido a las características nutricionales varios países optan por destinarlo a la alimentación animal siendo Estados Unidos, China, Japón, entre otros, los países que consumen considerables cantidades de maíz como forraje. El maíz forrajero forma parte de la alimentación del ganado bovino (Yescas *et al.*, 2015)

La capacidad que tiene el maíz de adaptarse a diferentes condiciones lo hacen atractivo para su uso como forraje superando a algunos pastos, aunado a lo anterior es conveniente utilizar variedades nativas de porte alto que resultan mejores que las variedades híbridas de porte bajo (Salazar, 2015). Una de las características preferidas para los productores es su alto valor energético ya que aporta de 8 a 9 % de proteína y fibra digestible (70 %) (Zaragoza, 2019). Los principales estados productores de maíz forrajero en verde son: jalisco, zacatecas y durango siendo también estos tres estados los mayores productores en cuanto producción, sin embargo, el mayor rendimiento en $t\ ha^{-1}$ está representado por los estados de: Querétaro, Guanajuato y México, es importante recalcar que Puebla está dentro de los diez estados con mayor rendimiento con $42.84\ t\ ha^{-1}$ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticas de producción de Maíz forrajero en verde en México.

Entidad	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Valor Producción (miles de pesos)
Jalisco	219,899.23	5,534,681.92	25.17	5,044,410.06
Zacatecas	101,969.51	2,589,458.06	25.39	2,033,336.90
Durango	67,024.00	2,592,431.54	38.68	2,501,173.17
Aguascalientes	49,977.00	1,322,606.60	26.46	978,400.13
Chihuahua	33,799.00	804,899.00	23.81	759,772.69
Coahuila	21,495.00	995,716.81	46.32	1,078,415.44
México	20,844.67	1,093,377.47	52.45	741,223.70
Querétaro	9,319.85	644,452.08	69.15	525,358.08
Puebla	7,790.20	333,714.52	42.84	278,229.07
Tlaxcala	7,693.00	290,828.25	37.8	133,201.34
Guanajuato	7,260.00	436,479.00	60.12	257,171.88
Nayarit	6,933.00	221,439.12	31.94	192,219.54
Hidalgo	4,637.10	116,142.52	25.05	59,559.62
San Luis Potosí	4,482.60	129,289.78	28.84	101,567.35
Veracruz	2,207.95	42,379.35	19.19	39,300.97
Colima	1,085.35	24,693.54	22.75	14,985.53
Nuevo León	990	31,020.00	31.33	18,038.40
Oaxaca	569.4	21,952.50	38.55	11,284.45
Sonora	488	4,831.50	9.9	3,892.14
Guerrero	442.25	12,872.63	29.11	12,597.80
Ciudad de México	85	2,158.00	25.39	2,756.40
Yucatán	21	492.4	23.45	388.7
Campeche	20	360	18	504
Baja California Sur	15	436.5	29.1	423.19
Tamaulipas	5	83.25	16.65	241.88

Fuente: SIAP, 2022.

4.2 *Trichoderma* spp

4.2.1 Clasificación taxonómica

Trichoderma es un hongo que pertenece al filo Ascomycota, orden Hypocreales y familia Hypocreaceae (Mukherjee et al., 2013). Este tipo de hongo suele ser aislado de plantaciones y suelos forestales y son de fácil cultivo *in vitro* (Brotman et al., 2010). De acuerdo con Villegas (2005) hay un gran número de cepas de este hongo que se emplean en la agricultura sin embargo *T. harzianum* y *T. longibrachatum* son unas de las más utilizadas.

4.2.2 Características generales

Este hongo habita en el suelo, en madera y en material vegetal en descomposición, es un hongo competitivo y puede adaptarse a diversos tipos de suelo (Gams & Bissett, 2002). Una característica favorable es que tiene un crecimiento micelial acelerado y una abundante generación de esporas, lo que facilita la colonización de distintos sustratos (Lopes *et al.*, 2012). Se ha empleado con éxito en la gestión de enfermedades, y se ha descubierto que ciertas especies también pueden favorecer el crecimiento y la productividad de las plantas (Tovar 2008). Es considerado un hongo antagonista y actúa mediante varios mecanismos, entre los cuales destacan el micoparasitismo, la competencia por espacio y nutrientes, la producción de compuestos antibióticos y la inducción de resistencia en las plantas (Sood *et al.*, 2020).

4.2.3 *Trichoderma* en el cultivo de maíz.

El hongo *trichoderma spp.* es un promotor del desarrollo y crecimiento de las plantas, en el cultivo de maíz también se han encontrado resultados favorables prueba de ello los trabajos Palacios *et al.* (2023) al trabajar con cepas nativas de *trichoderma spp.* obtuvo como resultado que con la aplicación de estos microorganismos es capaz de optimizar la absorción de nutrientes, favorecer el crecimiento de las plantas y aumentar su tolerancia a factores de estrés abiótico, Landero *et al.* (2019) logró observar que *trichoderma* además de promover un aumento en el rendimiento también se desempeña como antagonista de plagas reduciendo la incidencia en cierto porcentaje. Es importante recalcar el resultado de Vázquez *et al.* (2019) ya que al trabajar con 5 cepas de *trichoderma* en maíz nativo e híbrido se obtuvo que existe un mayor efecto al utilizar semilla nativa.

4.3 Hidrogeles o polímeros absorbentes

4.3.1. Características del hidrogel

Este es un polímero hidrófilo, flexible y elástico, que puede absorber agua y expandirse, aumentando su peso sin perder su estructura, mientras que, en estado deshidratado, se presenta como cristales (Ahmed, 2015). Pese a ser una alternativa que se ha utilizado con fines agronómicos en los últimos años, los antecedentes más antiguos respecto a la definición de hidrogel se remontan al año 1864 con los trabajos del químico escocés Thomas Graham

(Lárez, 2019). Posteriormente, el uso de hidrogeles para mitigar el estrés hídrico en las plantas se remonta hasta finales de los años 70 y durante los años 2000 se incrementaron los estudios sobre estos polímeros y sus beneficios (Romero *et al.*, 2014).

La absorción de agua por parte de los hidrogeles esta principalmente determinada por dos factores que es la difusión y osmosis (Gonzales, 2012), cuando un material seco se sumerge en agua, este se hincha debido a la difusión del agua en su red tridimensional. Un aumento en los grupos hidrofílicos mejora la interacción con el agua, pero una estructura más rígida debido a una alta densidad de entrecruzamientos limita el volumen libre y la capacidad de retener agua. La penetración del agua en un hidrogel depende de la estructura de la red, y estos materiales pueden cambiar su hinchamiento en respuesta a estímulos externos (Benites *et al.*, 2015).

Actualmente son de importancia, debido a su versatilidad, en áreas como como agricultura, biomedicina y ambiente (Ramires *et al.*, 2016). En cuanto a las aplicaciones de este material en el área de la salud se encuentran el de liberar lenta y controladamente los medicamentos y para la curación de heridas, en la ingeniería de tejidos debido a su capacidad para mantener un entorno húmedo y su compatibilidad con tejidos biológicos (Hennink & van Nostrum, 2012; Arredondo *et al.*, 2009). En el área agronómica es de importancia para el uso eficiente de agua y fertilizantes (Hidrobo *et al.*, 2010; Ortega-Torres *et al.*, 2020)

A pesar de existir múltiples tipos de hidrogeles uno de los más utilizados es el poliacrilato de sodio, ya que muestran un gran potencial en la agricultura por su capacidad de descomponerse fácilmente en los suelos (Elshafie *et al.*, 2020).

4.3.2. Hidrogeles en la agricultura

Los hidrogeles surgen como una alternativa a la problemática del sector agrícola puesto que estos polímeros tienen la peculiar característica de absorber y retener grandes cantidades de agua (Sinha, 2018) lo que los convierte en una prometedora alternativa para el manejo eficiente de este recurso en los cultivos (Cisneros *et al.*, 2018). La aplicación en el suelo promueve una mayor retención de agua lo que resulta en la optimización del riego, además que mejora la eficiencia en el uso de los fertilizantes (ortega-torres *et al.*, 2020). La liberación gradual del agua para las plantas asegura su sobrevivencia en condiciones de sequía (Romero

et al.,2014). Actualmente se tienen resultados prometedores con la aplicación de hidrogeles a base de carboximetilcelulosa y ácido poliacrílico para una liberación gradual de potasio (Dardeer *et al.*, 2024).

Al utilizar hidrogeles se puede optimizar la absorción de nutrientes por la planta (Idrobo et al., 2010), se les llama hidrogeles inteligentes a aquellos que pueden liberar fármacos o fertilizantes cuando se presentan condiciones específicas (luz, temperatura, pH) y resulta más fácil la liberación de fertilizantes que de fármacos considerando que inicialmente fueron creados para fines médicos (Rudzinski, 2002). En un trabajo realizado por Olad *et al.* (2018), donde se evaluó la aplicación de NPK encapsulado en un nanocompuesto de hidrogel a base de carboximetilcelulosa, determinando que con el uso de este se puede mejorar la utilización de fertilizantes y la conservación de agua en aplicaciones agrícolas ya que se tuvo la liberación lenta de los fertilizantes. La utilización de este tipo de polímeros puede absorber del agua y del suelo ciertos materiales que ponen en peligro el ambiente y salud del ser humano (Wei *et al.*,2023)

Sin embargo, para la agricultura y cuestiones alimenticias es de mayor aceptación el empleo de hidrogeles de origen natural por ser más amigables con el medio ambiente y de fácil degradación (Klein & Poverenov, 2020). En este sentido en los últimos años se han realizados estudios enfocados en la utilización de biopolímeros como portadores de nutrientes NPK para su liberación lenta y controlada (Senna *et al.*,2015; Senna y Botaro, 2017).

4.4.3. Benéficos del hidrogel en las plantas

En el sector agrícola los hidrogeles, como el poliacrilato de potasio, destacan por una característica en particular como lo es incrementar la retención de agua en los suelos, en consecuencia, se disminuye el estrés hídrico en las plantas (Macías *et al.*, 2019; Satriani *et al.*, 2018), así mismo las plantas desarrollan raíces más extensas cuando hay mayor humedad disponible en el suelo (Rivera *et al.*, 2021). En un trabajo realizado por DE GASCUE y colaboradores (2004) se obtuvo que la aplicación de hidrogeles en suelo tiene un efecto positivo en la germinación de jitomate.

Con el uso de estos hidrogeles se mejora la microbiota del suelo pues eso sugiere en algunos estudios como los realizados por Yang *et al.* (2014) en el uso del hidrogel poli-glutámico en

el cultivo de maíz al mostrar un crecimiento mayor de plántulas de maíz y contribuir en la abundancia de colonias de bacterias promotoras de crecimiento en las plantas. En este sentido, menciona que los hidrogeles pueden mantener ciertas características fisicoquímicas y propiedades biológicas (entorno microbiano) (Kumar *et al.*, 2020)

Alvares *et al.* (2023) encontró que la aplicación de hidrogel en maíz puede usarse para mitigar el estrés hídrico por la alta capacidad de retención de agua en el suelo, también se puede utilizarse solo o con aplicación de composta como lo señala Pedrosa *et al.* (2017) al trabajar con hidrogel, biocompost en la producción de forraje de maíz y encontraron resultados favorables con dosis de 12.5 y 25 teniendo un aumento en la producción. como resultado el efecto del hidrogel en la relación beneficio costo es mayor como lo reporta zayas *et al.* (2020) al evaluar el uso de los polímeros super absorbentes en la economía del agua.

4.5 Sustratos

El sustrato es un material o mezcla de materiales utilizados para brindar soporte, retener agua, facilitar la aireación y conservar nutrientes, favoreciendo el desarrollo y crecimiento adecuado de las plantas (Fonteno,1996). Los sustratos pueden intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de las plantas a los primeros se les conoce como químicamente activos y a los segundos como sustratos inertes(Torres *et al.*, 2017). Las características para un buen sustrato están determinadas por las necesidades del cultivo a establecerse sin embargo las características físicas se deben analizar con particular detalle pues una vez establecidas en el contenedor es muy difícil modificar caso contrario con algunas características químicas(Masaguer *et al.*, 2015).

4.6 Investigaciones realizadas en hidrogel y *Trichoderma*

El uso de *Trichoderma* spp. en combinación con hidrogel es un tema poco estudiado sin embargo resaltan los trabajos de Ramírez-Torres *et al.* (2023) que evaluaron el efecto de hidrogel más *Trichoderma longibrachiatum* en la aclimatación de plantas de banano donde pudieron observar un efecto positivo en la longitud de raíz. Por otro lado, Kurrey *et al.* (2018) no encontraron diferencias significativas en el área radicular del arroz por efecto del hidrogel y *Trichoderma*.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Lugar del experimento

La investigación se llevó a cabo en un invernadero tipo cenital, de baja tecnología, situado en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias (Figura 1) perteneciente a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (19° 52'N y 97° 22'W, a 1 676 m). El experimento se desarrolló durante el ciclo otoño 2023.

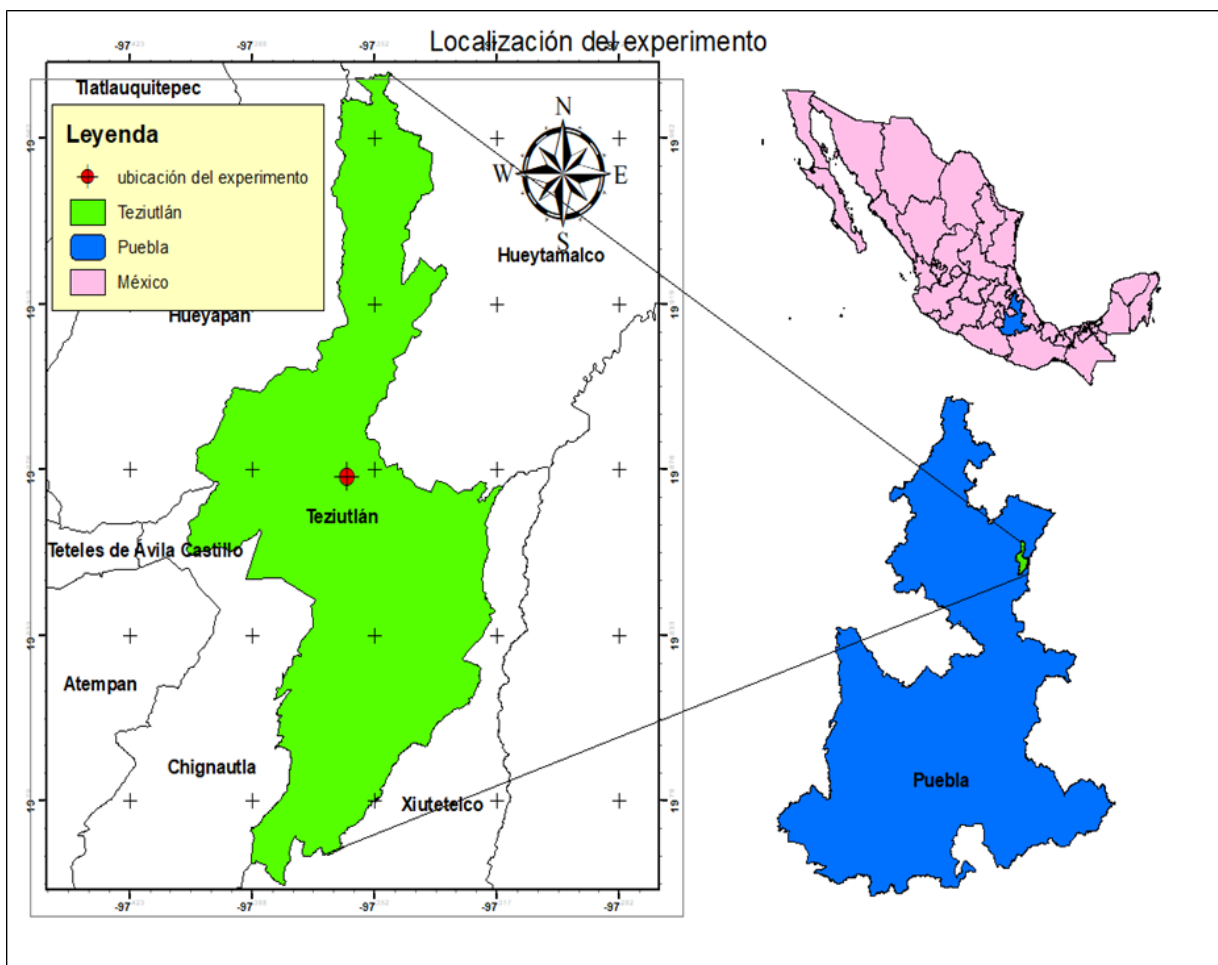


Figura 1. Ubicación del sitio experimental en la facultad (elaboración propia).

5.2 Material vegetal y establecimiento del cultivo

Se utilizaron semillas de maíz de la raza cónico (*Zea mays* L.) grupo de poblaciones de maíces con mazorcas de forma cónica o piramidal, que presentan una amplia diversidad en

el color de sus granos, predominando el blanco, seguido de diferentes tonos de amarillo, morado y rojo. En cuanto a la textura, los granos son mayormente semicristalinos y semidentados. Su ciclo de vida varía de medio a precoz (Wellhausen *et al.*, 1951).

Se depositaron tres semillas por maceta para después de la emergencia eliminar y dejar una planta por maceta. La fertilización se realizó con la fórmula 120 N-80 P-90 K, en dos aplicaciones: la primera se realizó a los 8 días después de siembra y la segunda en la etapa V7 (el maíz tiene 7 hojas verdaderas completamente desplegadas).

5.3 Obtención de hongos

Los aislados de hongos del género *Trichoderma* fueron obtenidos de la colección de hongos del Laboratorio de Biología Molecular de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la BUAP (FCAyP). Se obtuvieron dos cepas de *Trichoderma*, *Trichoderma longibrachiatum* con el número de accesión del banco de genes OP157555 y número de aislado en la colección de FCAyP VIV.2.1 y *Trichoderma harzianum* con el número de accesión del banco de genes OP157537 y número de aislado en la colección de FCAyP VIV.2.1 OI5MO2.

5.4 Preparación del sustrato

Previamente se cernió y se desinfectó el sustrato (tierra de monte) aplicando Bellaclean, diluyendo 10 mL por cada litro de agua; posteriormente se extendió el sustrato en un plástico y se aplicó el desinfectante hasta uniformizar la humedad. Para el llenado de macetas se utilizaron bolsas negras de polietileno de 50 x 50 cm.

En el cuadro 3, se muestra el análisis fisicoquímico del suelo utilizado en la presente investigación. La textura es mayoritariamente arenosa-migajosa, esto indica un suelo con baja capacidad de retención de agua, el pH fue ligeramente ácido con 5.1, lo cual puede afectar la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de maíz y la materia orgánica se reportó en 10.2% indicando un buen nivel de fertilidad, así mismo los niveles de nitrógeno 4.60% son adecuados para el desarrollo inicial del cultivo.

Cuadro 3. Análisis fisicoquímico del suelo

Parámetro	Unidad	Valor	Interpretación
pH	-	5.1	Suelo ligeramente ácido
Materia orgánica	%	10.2	Extremadamente rico
Nitrógeno (N)	%	4.6	Muy alto
Fósforo (P)	Cmol (+) Kg ⁻¹	Trazas	-
Potasio (K)	Cmol (+) Kg ⁻¹	0.01	Bajo
Textura	-	Arena- migajoza	Baja retención de agua y nutrientes
CEe	dS/m ⁻¹	0.02	Muy bajo
Dap	Mg/cm ³	0.7	Bajo

CEe = conductividad eléctrica; pH = potencial de hidrógeno; Dap = densidad aparente.

5.5 Determinación de la concentración de esporas de hongos

Para preparar la concentración de esporas para cada tratamiento, se utilizó un papel de 0.5 cm de diámetro donde se colocaron las esporas adheridas en glicerol sobre medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) de la marca BD Bioxon, previamente esterilizado en una autoclave vertical (Man-Olve) a 15 lb/in² durante 15 minutos. Las cajas Petri que contenían el medio fueron selladas con cinta parafilm (Bemis) y luego incubadas a 32 °C ± 2 hasta que las esporas cubrieron completamente las cajas. Posteriormente, utilizando pinzas, se separaron las esporas del medio de cultivo y se diluyeron en 1000 mL de una solución al 0.03 % de Tween 80, contenida en matraces de 500 mL. Se ajustaron y determinaron las concentraciones de esporas por mililitro para preparar los tratamientos de cada aislamiento, utilizando el método de conteo de Neubauer. Las soluciones resultantes de los aislados se vertieron en una mochila aspersora manual de 20 L, agregando 240 mL de la solución con esporas, y cada tratamiento se etiquetó con el nombre del aislamiento correspondiente (Goettel y Douglas, 1996).

5.6 Aplicación del hidrogel al sustrato

Para la aplicación de hidrogel se utilizó poliacrilato de potasio de la marca (Silos de agua S.A. de C.V.) y se incorporó al sustrato con una dosis de 30 y 60 kg ha⁻¹ de acuerdo con los tratamientos asignados (Hamid *et al.*, 2015).

5.7 Inoculación de sustrato y semillas

La inoculación del sustrato se realizó aplicando los conidios de *Trichoderma spp.* a una concentración de 1×10^5 de acuerdo con los tratamientos con ayuda de una mochila aspersora manual se aplicó de manera uniforme al suelo hasta humedecer.

Para la inoculación de la semilla, previo a la siembra, se realizó el lavado agua de la llave al mismo tiempo que se retiraron las semillas dañadas. Al momento de la siembra, se aplicaron los conidios con una dosis de 1×10^6 y por gramo de semilla a base de cepas de *Trichoderma spp.*

5.7 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos considerando una planta como unidad experimental, cada tratamiento con nueve repeticiones (Cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción de tratamientos del experimento.

Tratamientos
T1 (30 kg ha ⁻¹ de hidrogel + <i>Trichoderma longibrachiatum</i> 1×10^5)
T2 (60 kg ha ⁻¹ de hidrogel + <i>Trichoderma longibrachiatum</i> 1×10^5)
T3 (30 kg ha ⁻¹ de hidrogel + <i>Trichoderma harzianum</i> 1×10^5)
T4 (60 kg ha ⁻¹ de hidrogel + <i>Trichoderma harzianum</i> 1×10^5)
T5 (Testigo)

El modelo lineal para el DCA fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

μ = media de la población

τ_i = efecto aditivo del i-esimo tratamiento

ϵ_{ij} = Error aleatorio al que está sujeto una observación

Para analizar la sobrevivencia de *trichoderma* con diferentes niveles de hidrogel se utilizó una prueba de T de student para muestras relacionadas con el siguiente estadístico de prueba:

$$tc = \frac{\sqrt{n}(\bar{D} - \mu_D)}{S_D}$$

Donde:

D= diferencia media

$\mu_D = 0$

SD= desviación estándar de la diferencia

5.8 Variables evaluadas

5.8.1 Supervivencia de esporas en el sustrato

Para evaluar la supervivencia de esporas en el sustrato de cada cepa de hongos endófitos, al momento de la cosecha se tomaron 10 g de suelo a una profundidad de cinco centímetros por cada unidad experimental. Esta muestra de suelo se diluyó en 90 mL de una solución de Tween 80 al 0.05 % en un matraz y se agitó en un vortex durante un minuto. Luego, se tomaron 100 mL de la solución y se extendieron con un triángulo de cristal estéril sobre la superficie de un medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA, marca: BD Bioxon), previamente esterilizado a 15 lb/in² durante 15 minutos en una autoclave vertical (Man-Olve) y contenido en placas de Petri. A dicho medio se le añadieron 50 mL de estreptomina y cloranfenicol por litro de medio, con el fin de inhibir el crecimiento bacteriano. Posteriormente, las placas de Petri fueron selladas con cinta parafilm (Bemis) y se incubaron a 32 °C ± 2 °C durante 120 horas (Hernández *et al.*, 2021). Finalmente, se realizó un conteo visual del número de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en cada caja Petri.

5.8.2 Grados día

Se determinó el número de grados días (GDD) a floración masculina, floración femenina y madurez fisiológica en cada tratamiento, considerando la temperatura base del cultivo de 10 °C, registrándose durante todo el ciclo del cultivo las temperaturas máximas y mínimas del aire dentro del invernadero mediante un DataLogger (Hobo); los GDD se obtuvo mediante el método residual (Arnold, 1959). Se utilizó la ecuación siguiente:

$$GDD = \left[\frac{T_{\text{máx}} - t_{\text{mín}}}{2} \right] - T_{\text{base}}$$

Donde:

T_{máx}= temperatura máxima diaria, (°C);

T_{mín}= temperatura mínima diaria, (°C);

T_{base}= temperatura base, 10 °C.

5.8.3 Número de días (DFM) y grados días (GDFM) a floración masculina

Se determinó en los tratamientos, cuantificando los días desde siembra y emergencia hasta que la flor masculina (espiga) presentó el 50 % de abertura y liberación del polen en las repeticiones evaluadas.

5.8.4 Número de días (DFF)y grados días (GDFF) a floración femenina

Se obtuvo considerando desde la siembra y emergencia hasta que las flores femeninas (jilote) se presentaron en más del 50 % de las repeticiones evaluadas en cada tratamiento.

5.8.5 Número de días y grados días (GDMF) a madurez fisiológica

Se consideró al recolectar las mazorcas de cada unidad experimental de los diferentes tratamientos

5.8.6 Altura de planta (AP)

La altura se obtuvo cada veinte días después de la siembra con ayuda de un estadal, se midió desde el piso hasta la parte más alta de cada planta en estado natural, obteniendo y registrando este resultado en centímetros.

5.8.7 Diámetro del tallo

Se tomaron a dos cm sobre el suelo mediante un vernier digital, registrando los valores cada 20 días expresando los resultados en milímetros.

5.8.8 Número de hojas

Las hojas fueron contadas manualmente para cada tratamiento al momento de presentar las flores femeninas.

5.8.9 Diámetro mazorca (DM)

Esta medida se obtuvo con ayuda de un vernier digital, midiendo en mm, el diámetro ecuatorial de las repeticiones para cada tratamiento.

5.8.10 Longitud de la mazorca (LM)

Para la longitud de la mazorca, se tomaron las mazorcas de cada repetición por tratamiento, se midió de la base a la punta y el resultado se registró en centímetros.

5.8.11 Número de granos por hilera (NGH)

Se contabilizó el número de granos por hilera de cada mazorca y se obtuvo el promedio, considerando nueve mazorcas por tratamiento.

5.8.12 Número de hileras de mazorca (NHM)

Del total de mazorcas recolectadas en cada tratamiento, se tomaron nueve para contar el número de hileras.

5.8.13 Peso de 100 semillas (PCS)

Se obtuvo el peso de 100 semillas de cada mazorca expresado en gramos.

5.8.14 Rendimiento

El rendimiento se determinó, en gramos por planta, con la cantidad de granos producidos y el peso individual de las semillas, para ello se consideraron los parámetros de número total de granos y el peso de cien semillas de maíz para cada tratamiento y repetición evaluados.

5.8.15 Caracterización bromatológica del grano de maíz

Se realizó de acuerdo con los procedimientos descritos por la AOAC (1990), para materia seca total, cenizas, proteínas y fibra cruda, se obtuvieron muestras al final de la cosecha.

5.9 Análisis estadístico

Para el análisis de datos de sobrevivencia de hongos tratadas con hidrogel se utilizó la prueba de T de student para muestras pareadas y se utilizó el programa SAS versión 9.0 para Windows.

Para el resto de las variables se analizó usando el paquete estadístico SAS (Sistema para Windows 9.0); se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para detectar diferencias en los tratamientos.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Sobrevivencia de *Trichoderma* en el sustrato con diferentes dosis de hidrogel

La dosis de 60 kg ha⁻¹ de hidrogel con *T. longibrachiatum* resultó más apropiada para el desarrollo del hongo, ya que se registraron poblaciones significativamente mayores ($P \leq 0.05$) en comparación al resto de las dosis evaluadas (Cuadro 5); esto se debe a que la sequía reduce la actividad microbiana, la biomasa y cambia la estructura de las comunidades microbianas (Meisner *et al.* (2018); Yaseen y Yossif, 2020). Suman *et al.* (2016) observaron una mayor población en concentración de hidrogel del 2 % utilizando una combinación de *Azobacter chroococum*, *Pseudomonas fluorescence* y *Trichoderma viride* para desarrollar un consorcio microbiano basado en gel.

Cuadro 5. Valores obtenidos de la estadística de la prueba t muestras relacionadas con $\alpha = 0.05$.

Tratamientos	Media de las diferencias	n	Desviación estándar	P valor
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	0.1111	18	1.0786	0.668
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	1	18	1.8471	0.035
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	0.6111	18	1.4200	0.086
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	0.1111	18	1.5297	0.762

n: número total de muestras pareadas, P valor: probabilidad asociada al estadístico de prueba.

Sin embargo, esta misma dosis no presentó el mejor resultado en rendimiento, altura de planta, grosor de tallo, etc. Por lo tanto, a mayor supervivencia y cantidad de esporas en el sustrato no indica que el resultado sea mejor. La dosis de 30 kg de hidrogel fue mejor en rendimiento etc. y por lo tanto la cantidad de esporas viables a esa dosis son suficientes. Por otra parte, la misma dosis es efectiva para la supervivencia de *T. longibrachiatum*, mas no para *T. harzianum*, lo que deduce que si se usan otras especies diferentes a las evaluadas en este estudio existe la posibilidad de que el comportamiento sea diferente.

6.2 Variables agronómicas

6.2.1. Días y grados días a floración masculina y femenina

Las temperaturas máximas y mínimas del aire dentro del invernadero fueron de 12 °C y 45 °C, con un promedio de 25.1 °C (Figura 2), aunque el maíz puede sobrevivir a temperaturas adversas entre 10 y 45 °C, las temperaturas de desarrollo del maíz usadas para calcular los grados día (°GDD), es 10 y 30 °C. Temperaturas mayores a 32 °C producen reducciones significativas en el rendimiento, principalmente durante la fase de llenado de grano (Neild y Newman, 1987).

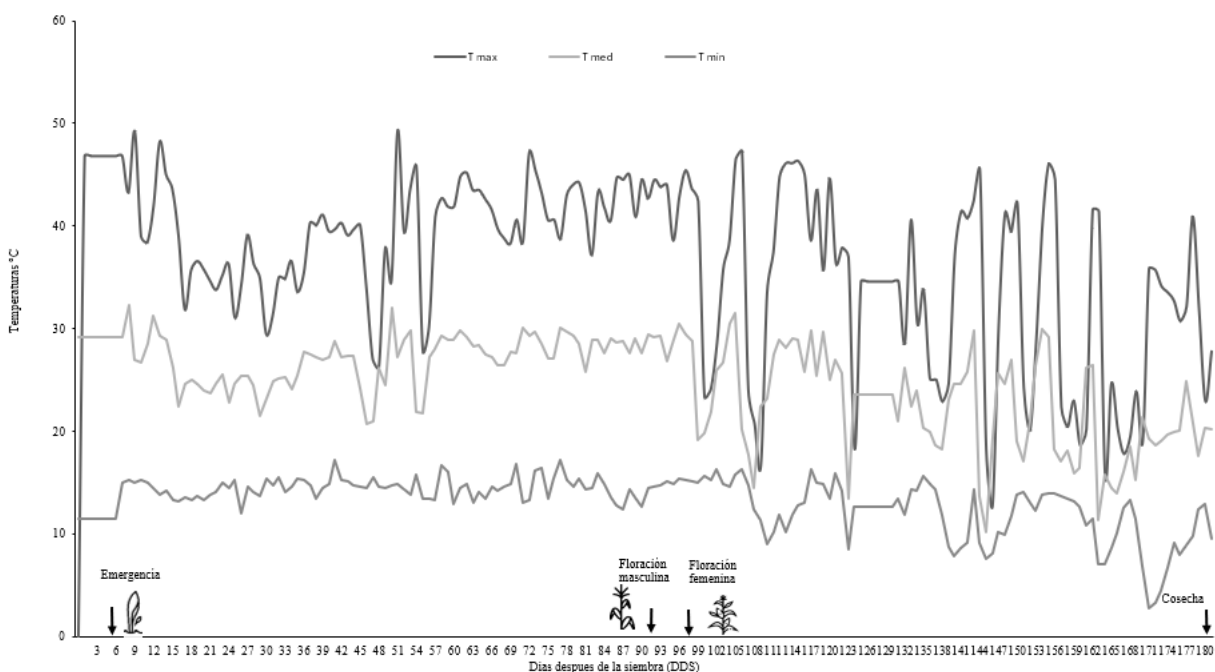


Figura 2. Temperaturas promedio del aire dentro del invernadero.

No se registraron diferencias significativas en los días a floración femenina, se obtuvo un promedio 96 días (DFF). Los días a floración masculina (DFM) presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y estos valores obtenidos oscilaron de 89.3 a 93.7 GDD; Carmen-Bravo *et al.* (2022) reportaron valores de DFF de 100.1 días al evaluar el rendimiento agronómico de variedades compuestas de maíz (*Zea mays* L.) a partir de poblaciones nativas. Las condiciones ambientales en las que se desarrolló la presente investigación son diferentes a los trabajos antes mencionados y en consecuencia los valores de DFF y DDM son menores, lo que sugiere una adaptación de las plantas a las condiciones medioambientales propias de

la zona, en la región de Teziutlán presenta una amplia variabilidad morfológica en maíces nativos (Contreras-Molina *et al.* 2016).

En el cuadro 6 se presentan los Grados días a floración femenina (GDFF) en la cual no se encontraron diferencias significativas, el valor promedio de GDFF fue de 1541.3, los grados días a floración masculina (GDFM) presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y los valores oscilaron entre 1,435.6 y 1,519.2 ; estos valores se encuentran dentro de los reportados por Arista-Cortes *et al.* (2018) el cual mencionan que, las temperaturas base y los grados días de desarrollo de diez accesiones de maíz en México oscilan entre 880 y 1696 GDD para la floración masculina, y entre 1,115 GDD y 1,860 GDD para la floración femenina. La madurez fisiológica se presentó a los 182 días después de la siembra con 2,622.8 GDD, los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos reportados para el cultivo de maíz (Rivetti, 2007).

Cuadro 6. Comparación de medias en días y grados días a floración masculina y femenina.

Tratamientos	DDF	DFM	GDFM	GDFF
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	98.6 a	93.1 ab	1,506.0 ab	1596.7 a
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	96.3 a	93.3 ab	1,510.1 ab	1561.6 a
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	95.2 a	89.3 b	1,435.6 b	1477.3 a
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	95.0 a	93.6 a	1,516.7 a	1538.9 a
Testigo	94.5 a	93.7 a	1,519.2 a	1628.0 a
Tukey	ns	*	*	ns
Promedio	95.95	92.6	1,497.5	1,541.3
CV	7.55	3.2	3.7	6.25

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).; DDF: Días a floración femenina. DFM: Días a floración masculina. GDF: Grados días a floración masculina. GDFF: Grados días a floración femenina. CV: Coeficiente de variación. N.S. = No significativo. * = Diferencias estadísticas significativas.

6.2.2 Altura de planta

En el cuadro 7 se presentan los valores de altura de planta, hubo diferencias significativas a los 119 DDS, el tratamiento de 60 kg ha⁻¹ de hidrogel + *T. harzianum* 1x10⁵ con una altura media de 414.78 cm y el testigo presentó la menor altura con 345.89 cm, Robiul *et al.* (2011) mencionan que la aplicación de 60 Kg ha⁻¹ de hidrogel aumenta la altura de la planta de maíz en un 14.1%, comparados con los tratamientos sin aplicación. Suman *et al.* (2016) indicaron

que la fórmula de *Trichoderma* basada en hidrogel tiene un alto potencial para mejorar el crecimiento de las plantas de trigo y también informó de que la adición de gel en el medio de crecimiento proporciona una mejor condición para el crecimiento de bacterias y hongos.

Cuadro 7. Comparación de medias en las alturas de plantas para diferentes fechas.

Tratamientos	Días después de la siembra				
	20	45	65	96	119
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	24.42 a	64.25 c	143.89 ab	347.67 a	408.33 ab
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	23.47 a	91.23 a	143.33 ab	312.33 a	365.44 ab
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	21.97 a	89.43 ab	170.00 a	348.89 a	349.89 ab
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	23.38 a	73.68 bc	172.00 a	350.11 a	414.78 a
Testigo	21.97 a	73.60bc	126.56 b	304.00 a	345.89 b
Tukey	NS	*	*	NS	*
Promedio	22.46	78.44	151.15	332.6	376.86
CV	26.46	15.98	15.84	13.503	13.39

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación. N.S. = No significativo. * = Diferencias estadísticas significativas.

6.2.3 Diámetro de tallo

El análisis estadístico para la variable diámetro de tallo evaluadas en diferentes fechas no presentaron diferencias estadísticas significativas, en el cuadro 7, se muestran los resultados en la cual se puede observar valores similares; Cisneros *et al.* (2019) mencionan que el uso de polímeros superabsorbentes en el cultivo de maíz (*Zea Mays L*) no presentan diferencias entre el tratamiento con hidrogel y el testigo. En promedio el diámetro de tallo fue de 22.91 mm dicho valor se encuentra dentro del rango mencionado por Rivas Jacobo *et al.* (2020) ya que, al hacer una evaluación forrajera de maíces de diversos orígenes de México en la región semiárida, reportaron que el diámetro de tallo osciló entre 2.0 cm a 4.1 cm entre las diferentes razas de maíz. Así mismo, Velasco-García *et al.* (2020) analizaron la variabilidad morfológica de poblaciones de maíz exóticas y sus cruas en los valles altos de México, los valores de diámetro de tallo que se reportaron se encuentran entre 22.65 y 30.97 mm.

Cuadro 8. Comparación de medias en diámetro de tallo para diferentes fechas.

Tratamientos	Días después de la siembra				
	20	45	65	96	119
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	5.41 a	14.20 ab	18.46 a	20.68 a	22.41 a
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	4.88 a	12.33 b	18.94 a	22.24 a	23.95 a
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	5.13 a	15.72 a	19.35 a	22.30 a	23.60 a
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	5.24 a	15.51 a	19.27 a	20.88 a	21.64 a
Testigo	4.81 a	12.00 b	18.84 a	21.05 a	22.94 a
Tukey	NS	*	NS	NS	NS
Promedio	5.09	13.95	18.97	21.43	22.91
CV	14.01	13.28	15.89	10.22	9.68

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).; CV: Coeficiente de variación. N.S. = No significativo. * = Diferencias estadísticas significativas.

6.2.4 Número de hojas

El número de hojas mostró diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$). En el Cuadro 8, se puede observar que los tratamientos T1 y T4 alcanzaron el mayor número de hojas con 14.66 y 14.55 respectivamente, el valor promedio de hojas fue de 13.91; este mismo comportamiento en el número de hojas reportan Cisneros *et al.* (2020) al aplicar una dosis de hidrogel de 130 kg ha⁻¹, donde el número de hojas fue 15.6 y el testigo fue de 12.9 respectivamente.

El número de hojas después de la primera mazorca presentó diferencias significativas; Velasco-García *et al.* (2020) al hacer un análisis de variabilidad morfológica de maíces nativos, encontró que el número de hojas después de la primera mazorca los valores oscilaron entre 4.8 y 5.92. Sedamos *et al.* (2022) evaluó diferentes cepas de *Trichoderma* spp. en el cultivo de maíz encontraron que con la inoculación de cepas *T. spirale* y *T. melanomagnum* se obtuvieron los mejores resultados en la variable de número de hojas después de la mazorca. Maximov (1948), menciona que el proceso normal de crecimiento requiere la saturación del protoplasma con agua, ya que es esencial para la mitosis y otras funciones relacionadas con la división celular. Además, la fase de alargamiento o crecimiento, que incluye el aumento de altura, diámetro del tallo y hojas, depende en mayor medida del suministro de agua, pues el incremento en volumen es una función directa de la cantidad de agua absorbida por la célula.

Cuadro 9. Comparación de medias en número de hojas.

Tratamientos	NHT	NHAM	NHDM
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	14.66 a	9.33 ab	5.33 a
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	13.22 c	8.6 ab	4.55 a
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	13.77 bc	8.6 ab	5.11 a
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	14.55 ab	9.6 a	4.88 a
Testigo	13.33 bc	8.55 b	4.77 a
Tukey	*	*	ns
Promedio	13.91	8.97	4.93
CV	6.75	9.01	16.84

NHT= número de hojas totales; NHAM= número de hojas antes de la primer mazorca; NHDM= número de hojas después de la primer mazorca. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).; CV: Coeficiente de variación. N.S. = No significativo. * = Diferencias estadísticas significativas.

6.2.5 Rendimiento y sus componentes

Las variables longitud de mazorca (LD), número de hileras (NH), numero de granos por hilera y granos totales por mazorca (GTM) no presentaron diferencias estadísticas ($P > 0.05$), por lo que se deduce que el efecto de los tratamientos sobre las variables observadas fue mínimo. El diámetro de mazorca (DM) y el peso de 100 (PCS) semillas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 9). El valor de diámetro de Mazorca osciló de 39.3 mm a 41.34 mm, el tratamiento 30 kg ha⁻¹ hidrogel + *T. harzianum* fue el que obtuvo el mayor valor de diámetro de mazorca. Así mismo, la variable peso PCS osciló de 33.8 g a 39.8 g, el valor más alto de PCS fue obtenido en el tratamiento de 30 kg ha⁻¹ hidrogel + *T. harzianum*, superando al testigo en un 17 % mientras que en la variable DM este tratamiento supero al testigo en un 4.16 % y en la variable GPP el T3 supero al testigo en un 34.36 % estos datos son consistentes con los valores reportados por (Landeró Valenzuela *et al.*, 2019) quienes al utilizar *Trichoderma* como control de *Sporisorium reilianum* en el cultivo de maíz obtuvo un aumento en el rendimiento de 38.8 % con la cepa de *Trichoderma harzianum*, esta especie de hongo no solo es efectivo en el rendimiento si no que ha probado tener un efecto

positivo en la germinación de maíz y en el desarrollo y crecimiento de la planta (De Araújo *et al.*, 2023; Okoth *et al.*, 2011).

El rendimiento estuvo influenciado por dos variables DM y PCS, donde el tratamiento 30 kg ha⁻¹ hidrogel+*T. harzianum* obtuvo el mayor rendimiento con 136.4 gramos por planta superando a los tratamientos 30 kg ha⁻¹ hidrogel + *T. longibrachiatum*, 60 kg ha⁻¹ hidrogel + *T. longibrachiatum*, 60 kg ha⁻¹ hidrogel + *T. harzianum* y el testigo. Lo cual coincide con Pedroza-Sandoval *et al.* (2015) quienes obtuvieron mayor rendimiento en maíz con 19.1 t ha⁻¹ aplicando una dosis de 12.5 kg ha⁻¹ de hidrogel. Otros investigadores obtuvieron 32 % de incremento en el rendimiento de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y maíz cuando se aplicó 25 kg ha⁻¹ de hidrogel (DGA, 2006). Costel *et al.* (2012) reportaron que al aplicar hidrogel se mejoraron los rendimientos de maíz y soya.

Cuadro 10. Variables respuesta de rendimiento.

Tratamientos	LM	DM	NH	GH	GTM	PCS	GPP
T1	16.5 a	40.12ab	12a	32.2a	391.5a	33.9b	129.9ab
T2	17.5 a	39.3 b	10.6a	33.5a	356 a	34.8ab	124.6ab
T3	16.17 a	43.06a	12a	29.1a	348 a	39.8a	136.4a
T4	14.17 a	39.02b	10.6a	25.1a	266.67 a	33.8b	89.2b
Testigo	16.24 a	41.34ab	11.2a	29.1a	326.22 a	31.45b	101.8b
Tukey	N. S	*	N. S	N. S	N. S	*	*
Promedio	16.4	40.5	11.31	29.8	337.7	34.7	116.4

T1=30 kg ha⁻¹ hidrogel+*T. longibrachiatum*; T2=60 kg ha⁻¹ hidrogel+*T. longibrachiatum*; T3=30 kg ha⁻¹ hidrogel+*T. harzianum*; T4=60 kg ha⁻¹ hidrogel+*T. harzianum*; LM = longitud de mazorca; DM = diámetro de mazorca; NH = número de hileras por mazorca; GH = granos por hilera; GTM = granos totales por mazorca; PCS= peso de 100 semillas; GPP= gramos por planta. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey (P≤0.05).; CV: Coeficiente de variación. N.S. = No significativo. * = Diferencias estadísticas significativas.

6.3 Análisis bromatológico de maíz

La Fibra Detergente Neutro (FDN) fue el único parámetro que mostró diferencias significativas (P≤0.05) en el análisis bromatológico de hoja. Los valores de FDN varían entre 74.72 y 86.5 %, y el tratamiento de 60 kg ha⁻¹ hidrogel + *T. harzianum* presentó el valor más alto de FDN (Cuadro 11). Esto sugiere que este tratamiento podría estar aumentando la

cantidad total de carbohidratos de fácil fermentación, lo que podría influir en una mejor digestibilidad. Los valores obtenidos en este trabajo para las variables FDA, FDN y proteína son consistentes con los reportados por Saavedra *et al.* (2013) en dicho trabajo se encontró que estas variables dependen del estado fenológico en que se realiza el muestreo ya que entre más avance el estado fenológico de la planta los componentes anteriormente mencionados disminuyen. En este sentido Estévez-Geffriaud *et al.* (2020) evaluaron el efecto de *Trichoderma asperellum* en el rendimiento y calidad de maíz, en dicho trabajo se reportaron valores de nitrógeno en hoja de 15.84 lo que equivale a 9.8 % de proteína, este valor es superior al reportado en el presente trabajo, sin embargo, los análisis se realizaron en diferentes etapas fenológicas y de acuerdo con Saavedra *et al.* (2013), el contenido de proteína en hoja disminuye conforme avanza la etapa fenológica.

Cuadro 11. Variables bromatológicas de hoja.

Tratamientos	Materia seca	Cenizas	Proteína	FDA	FDN
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	85.07 a	13.51 a	4.52 a	49.12a	75.01 b
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	88.60 a	14.11 a	4.73 a	48.71a	74.72 b
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	89.62 a	12.93 a	3.73 a	48.79a	81.88 ab
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	86.52 a	12.44 a	4.20 a	54.54a	86.5 a
Testigo	92.29 a	12.48 a	5.03 a	45.08a	82.28 ab
Tukey	N. S	N. S	N. S	N. S	*
Promedio	88.42	13.09	4.44	49.25	80.09
CV	4.49	14.69	26.93	15.35	7.61

FDA = Fibra detergente acida; FDN= Fibra detergente neutra. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).; CV: Coeficiente de variación. N.S. = No significativo. * = Diferencias estadísticas significativas.

De acuerdo con el análisis bromatológico de tallo (Cuadro 12) solo la FDA presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$), entre el tratamiento con 30 kg ha⁻¹ hidrogel+*T. harzianum* y el tratamiento con 60 kg ha⁻¹ hidrogel+*T. harzianum*, se puede inferir que el tratamiento con el valor d FDA de 43.59 % tendrá una mejor digestibilidad ya que presenta un menor porcentaje de celulosa, hemicelulosa y lignina, esto comparado con el 57.39 %, inclusive mejor que los valores obtenidos con el tratamiento testigo; Salazar *et al.* (2011) evaluaron el rendimiento y calidad de dos cultivares de maíz para ensilado y reportan resultados similares en FDA de tallo que oscilo en el maíz criollo entre 52.5 y 52.8 %, valores cercanos a los obtenidos en la presente investigación. Los os otros parámetros (materia seca,

cenizas, proteína, y FDN) no mostraron cambios estadísticamente relevantes, y están dentro del rango reportados en la literatura (Amador & Boschini-Figueroa, 2000).

Cuadro 12. Variables bromatológicas de tallo.

Tratamientos	Materia seca	Cenizas	Proteína	FDA	FDN
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	31.08 a	3.80 a	2.11 a	55.00 a	70.66 a
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	31.97 a	4.75 a	3.24 a	52.88 ab	75.30 a
30 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	31.09 a	4.41 a	1.81 a	57.39 a	75.90 a
60 kg ha ⁻¹ hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	31.16 a	4.58 a	2.69 a	43.59 b	67.92 a
Testigo	34.71 a	4.95 a	2.69 a	54.33 ab	78.59 a
Tukey	N. S	N. S	N. S	*	N. S
Promedio	32.00	4.50	2.51	52.64	73.67
CV	26.35	20.01	45.33	18.02	13.08

FDA = Fibra detergente acida; FDN= Fibra detergente neutra. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).; CV: Coeficiente de variación. N.S. = No significativo. * = Diferencias estadísticas significativas.

En el análisis bromatológico del grano de maíz existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los parámetros de cenizas y FDA, pero no en proteína ni en FDN. Esto indica que, aunque algunos aspectos como el contenido mineral (cenizas) y la calidad de la fibra (FDA) sí se ven afectados, otros parámetros como la proteína y la fibra total no muestran variación estadísticamente significativa (Cuadro 13). El contenido de cenizas osciló de 0.93 a 2.13 %, siendo el tratamiento con 60 kg ha⁻¹ de hidrogel + *T. longibrachiatum* mostró un valor significativamente mayor ($P \leq 0.05$), lo que sugiere un contenido mineral más alto en comparación con otros tratamientos, incluido el testigo, que solo presentaron un 0.93 %. En un trabajo realizado por Estévez-Geffraud *et al.* (2020) al utilizar *Trichoderma asperellum* se pudo aumentar el contenido de C y P en el grano de maíz, esto puede deberse muy probablemente a que con la inoculación de *Trichoderma* mejora la disponibilidad de y por ende se modifica el contenido de ciertos minerales en el grano de maíz. Guardia *et al.* (2016) al analizar la composición de grano de maíz reportó valores de ceniza semejantes a los obtenidos en la presente investigación, los valores promedio fueron de 1.21 % y el promedio

obtenido de ceniza para grano en el presente estudio fue de 1.46 %. También Urango (2018) reportó valores similares en cuanto cenizas con 1.3 %.

El contenido de FDA osciló de 5.07 a 9.34 %, y el tratamiento con 60 kg ha⁻¹ hidrogel + *T. harzianum* arrojó un valor significativamente más alto ($P \leq 0.05$), un elevado contenido de FDA se traduce en una mala digestibilidad sin embargo en el grano estos valores no son significativos ya que en la alimentación animal son usados principalmente como fuente de energía y no como fuente de fibra. Pordomingo *et al.* (2002) al realizar dietas a base de grano de maíz, y después de realizar un análisis de la composición química obtuvo un valor de proteína de 8 % y de FDA de 4.1 % estos valores están ligeramente por debajo de los valores que se obtuvieron en el presente trabajo de investigación ya que el valor de proteína fue de 9.51 % y el promedio de FDA fue de 5.75%, esto posiblemente se debió al tipo de material vegetal utilizado.

A pesar de no haber diferencia significativa en el valor de proteína los resultados sugieren que el maíz nativo de la región tiene un potencial nutricional ya que estos valores sobrepasan con los estándares de maíz obtenidos en otros trabajos sin rebasar a los resultados obtenidos en análisis de maíces de alta calidad proteica o (QPM) (Chan *et al.*, 2021), en un estudio realizado por Mex-Álvarez *et al.* (2016) donde se evaluó la calidad de grano de variedades de maíz y se encontró que el maíz blanco tanto híbrido como criollo presentaron el mayor porcentaje de proteína (9.93 % y 9.54 %) estos valores se ajustan a los valores obtenidos en el presente trabajo. Por su parte Urango (2018) reportó valores de proteína de maíz en 8.1 % al estudiar los componentes de maíz en la nutrición humana, dicho valor es menor al promedio obtenido en el presente trabajo (9.57 %).

El uso de hidrogel y *Trichoderma* no tuvo un efecto significativo ($P > 0.05$) en el contenido de proteína para las diferentes partes de la planta (hoja, tallo y grano) este resultado coincide con Gutiérrez-Guzmán *et al.* (2022) quienes al evaluar la calidad forrajera de maíz y el efecto con diferentes niveles de humedad no presentó un efecto significativo en el contenido de proteína, cuyo valor osciló entre 9.52 % y 10.92 % estos valores son similares a los obtenidos en la presente investigación.

Cuadro 13. Variables bromatológicas de grano.

Tratamientos	Cenizas	Proteína	FDA	FDN
30 kg ha-1 hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	1.37 b	9.54 a	4.91 b	38.82 a
60 kg ha-1 hidrogel+ <i>T. longibrachiatum</i>	2.13 a	9.79 a	5.07 b	40.15 a
30 kg ha-1 hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	1.70 ab	9.29 a	5.26 b	36.02 a
60 kg ha-1 hidrogel+ <i>T. harzianum</i>	1.19 bc	9.70 a	9.34 a	40.15 a
Testigo	0.93 b	9.51 a	4.16 b	31.02 a
Tukey	*	N. S	*	N. S
Promedio	1.46	9.57	5.75	35.48
CV	31.4	9.95	37.5	19.22

FDA = Fibra detergente acida; FDN= Fibra detergente neutra. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).; CV: Coeficiente de variación. N.S. = No significativo. * = Diferencias estadísticas significativas.

VII. CONCLUSIONES

La aplicación de hidrogel con dosis de 60 kg ha⁻¹ promueve un mayor número de UFC en el sustrato. Sin embargo, este aumento de UFC no se traduce en un mayor desarrollo del cultivo, una dosis de 30 kg es suficiente para mantener una población de hongos y aumentar el rendimiento, al utilizar varias especies de *trichoderma* es posible obtener diferentes respuestas.

Incorporar hidrogel y *trichoderma* en el sustrato permite mejorar el rendimiento del maíz y es posible obtener resultados favorables en ciertas variables agronómicas. La combinación de estas dos alternativas resulta en un manejo eficiente y sostenible de los recursos agronómicos

El hidrogel más *trichoderma* no modifico la calidad bromatológica de maíz. sin embargo, por las características que arrojó el análisis tanto en el grano como el tallo y hoja de maíz nativo de la región este tiene el potencial de ser utilizado como forraje en la dieta para pequeños rumiantes con la ventaja de este recurso fitogenético tiene una gran adaptación al tipo de clima que presenta la región en comparación a otros materiales híbridos.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abdallah, A. M. 2019. Influence of hydrogel type and concentration, and water application rate on some hydraulic properties of a sandy soil. *Alexandria Science Exchange Journal*, 40, 349–362.
- Ahmed, E. M. 2015. Hydrogel: preparation, characterization, and applications: a review. *Journal of Advanced Research*, 6, 105–121.
- Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K., Mardan, A., Ahmad, M., & Iqbal, M. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat, and chickpea. *Plant, Soil and Environment*, 50.
<https://doi.org/10.17221/4059-PSE>
- Masaguer R. A., López-Fabal A., Carmona C. E., Fornés S. F., Ordovás Ascaso J., Gómez Sánchez M.A., Moreno Aguirre M. T., Marfá Pagès O., Cáceres Reyes R., López Núñez R., & R. Belda N. (2015). De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad. Ediciones Mundi-Prensa. <https://books.google.com.mx/books?id=G-o9CQAAQBAJ>
- Álvarez-Benaute, L., Valverde-Rodriguez, A., Briceño-Yen, H. 2023. El uso de hidrogel reduce el estrés hídrico y mejora el rendimiento en el cultivo de maíz morado. *Manglar* [Internet]. [citado 2024 Mar 14]; 20 (4): 325-331. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2414-10462023000400325&lng=es. Epub 17-Dic-2023.
<http://dx.doi.org/10.57188/manglar.2023.037>.
- Amador, A. L., & Boschini-Figueroa, C. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 171–177.
- Ángeles, G. E., Ortiz, T. E., López, P. A., & López, R. G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 287-296.
- AOAC. 1990. Fat (crude) or ether extract in animal feed (920.29). *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition. Obtenido de http://www.foragetesting.org/lab_procedure/sectionC/part8.0.htm

- Ariel Rivero, C., Echevarría Anayza, D., Infante, D., & Martínez, B. 2015. *Trichoderma asperellum* en el manejo de hongos fitopatógenos en los cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y soya (*Glycine max* L.). *Revista de Protección Vegetal*, 30(1), 87–87.
- Arista-Cortes, J., Quevedo Nolasco, A., Zamora Morales, B. P., Bauer Mengelberg, R., Sonder, K., & Lugo Espinosa, O. (2018). Temperaturas base y grados días desarrollo de 10 accesiones de maíz de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 1023–1033.
- Arredondo Peñaranda, A., & Londoño López, M. E. (2009). Hidrogeles: potenciales biomateriales para la liberación controlada de medicamentoS. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3(5), 83-94.
- Arnold C.Y. 1959. The determination of significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proc. Amer. Soc.Hort. Sci* 74:430-445.
- Ayala Espinosa, J. L., Quirós Quirós, E., & Saravia Tasayco, P. L. (2019). Los maíces nativos en México: Alternativas para la generación de valor y desarrollo de oportunidades en el sector agroalimentario. México: IICA. Recuperado de repositorio.iica.int/handle/11324/7938?locale-attribute=es
- Benítez, J. L., Lárez Velásquez, C., & Rojas de Gáscue, B. (2015). Cinética de absorción y transporte del agua en hidrogeles sintetizados a partir de acrilamida y anhídrido maleico. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2), 242-253.
- Bennetzen, J., Buckler, E., Chandler, V., Doebley, J., Dorweiler, J., Gaut, B., ... & Wessler, S. (2001). Genetic evidence and the origin of maize. *Latin American Antiquity*, 12(1), 84-86.
- Brotman, Y., Kapuganti, J. G., & Viterbo, A. (2010). *Trichoderma*. *Current Biology*, 20(9), R390-R391.
- Carmen-Bravo, G. Del, Gil-Muñoz, A., López, P. A., Reyes-López, D., & Ocampo-Fletes, I. (2022). Variedades compuestas, una opción de aprovechamiento de la diversidad de las poblaciones nativas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 3–12.

- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). 2019. Algunos antecedentes de los precios de garantía en México. Cedrssa.Gob. http://www.cedrssa.gob.mx/post_algunos_antecedentes_de_los_precios_de_garantn-a-n-en_mn-xico.htm [Links]
- Chan, M. C., Ordoñez, Y. M., Tintoré, S. G., Guerrero, L. C., & Ancona, D. B. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia*, 23(2).
- Cisneros Zayas, C. E., Cun González, C. R., Herrera Puebla, C. J., González Robaina, C. F., Cun Rodríguez, S., & Sarmiento García, O. (2020). Efecto de los polímeros en la economía del agua. *Ingeniería Agrícola*, 10(1).
- Cisneros-Zayas, E., Cun-González, R., Rosales-Naranjo, L., & González-Morales, D. (2018). Lluvia sólida, para un uso eficiente del agua. Resultados preliminares. *Ingeniería Agrícola*, 8(1).
- Contreras-Molina, O., Gil-Muñoz, A., López, P. A., Reyes-López, D., & de Dios Guerrero-Rodríguez, J. (2016). Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3633–3647.
- Costel G. D., L. Răus, C. Ailincăi and G. Jităreanu (2012) The influence of Aquasorb on morpho-physiological properties on corn and soybeans yield, in the conditions of Iasi County. *Lucrări Științifice seria Agronomie* 55:173-178.
- Cristóbal Alejo, J., Moo Koh, F. A., Tun Suárez, J. M., Reyes Ramírez, A., & Gamboa Angulo, M. 2022. Efecto de la interacción dual de especies de *Trichoderma* en el crecimiento de *Capsicum chinense* Jacq. *Agrociencia*, 55(8), 681-693. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i8.2661>
- Cruz-Cárdenas, C. I., Zelaya Molina, L. X., Sandoval Cancino, G., Santos Villalobos, S. de los, Rojas Anaya, E., Chávez Díaz, I. F., & Ruíz Ramírez, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 899–913.

- Cuevas, M. J. D. J. (2014). Maíz: Alimento fundamental en las tradiciones y costumbres mexicanas. ASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural. Vol. 12 N.o 2 págs. 425-432
- Dardeer, H.M., Gad, A.N. & Mahgoub, M.Y. Promising superabsorbent hydrogel based on carboxymethyl cellulose and polyacrylic acid: synthesis, characterization, and applications in fertilizer engineering. (2024). BMC Chemistry 18, 144. <https://doi.org/10.1186/s13065-024-01244-w>.
- De Araújo, T. B., Schuelter, A. R., de Souza, I. R. P., COELHO, S. R. M., & Christ, D. (2023). Growth promotion in maize inoculated with *Trichoderma harzianum*.
- De Gáscue, B. R., Ramírez, M., García, A., Aguilera, R., De, M. G., Quintero, L., & Katime, I. (2016). Efecto de diferentes variables en la síntesis de hidrogeles copolímeros de poli (acrilamida-co-ácido maleico) y poli (acrilamida-co-ácido itacónico) sobre su capacidad de absorción. Revista Iberoamericana de Polímeros, 17(1), 1-19.
- Deaker, R., Roughley, R.J., Kennedy, I.R. 2007. Desiccation tolerance of rhizobia when protected by synthetic polymers. Soil Biol. Biochem. 39, 573–580.
- DGA (Dirección General de Agricultura).2006. Tecnología del Hidrogeles Aplicada a Maíz y Sorgo. Boletín de Divulgación de la Dirección General de Agricultura. Desarrollo Rural Agrícola. Gobierno del Estado de Morelos. 5 p.
- DOUGLAS INGLIS, G., Johnson, D. L., & Goettel, M. S. 1996. Effect of bait substrate and formulation on infection of grasshopper nymphs by *Beauveria bassiana*. Biocontrol Science and Technology, 6(1), 35-50.
- Elshafie HS, Camele I. 2021. Applications of Absorbent Polymers for Sustainable Plant Protection and Crop Yield. Sustainability.13(6):3253. <https://doi.org/10.3390/su13063253>
- Elshafie, H. S., Nuzzaci, M., Logozzo, G., Gioia, T., & Camele, I. 2020. Biological investigations on the role of hydrogel formulations containing bioactive natural agents against some common phytopathogens of *Phaseolus vulgaris* L. and seed germination. Journal of Biological Research, 3, 114-122.

- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2024. Panorama Agroalimentario. Maiz 2024. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 28p. Recuperado de <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=122742>
- Fonteno, W. 1996. Sustratos: tipos y propiedades físicas y químicas. In D. Reed (Ed.), Guía del productor: Agua, sustratos y nutrición en los cultivos de flores bajo invernadero (pp. 93-123). Ball Publishing – Horti-Tecnia Ltda.
- Gams, W., & Bissett, J. (2002). Morphology and identification of Trichoderma. *Trichoderma and Gliocladium*, 1, 3–34.
- Gil-Muñoz, A., López, P. A., Muñoz-Orozco, A., & López-Sánchez, H. (2004). Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia, 18-25.
- Goettel, M. S., & Inglis, G. D. 1996. Fungi: Hyphomycetes. In L. A. Lacey (Ed.), *Manual of Techniques in Insect Pathology* (pp. 221-223). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012432555-5/50013-0>
- Golik, Silvina I., Larran, S., Gerard, G. S., Fleitas, M. C., Golik, S. I. 2018. Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química; Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales; 10-32
- González, M. M. 2019. Nuestra cultura alimentaria del maíz, diversidad de saberes y prácticas. ed. México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 448 p. Disponible en: <https://elibro.bibliotecabuap.elogim.com/es/ereader/bibliotecasbuap/187422?page=8>
8. Consultado en: 13 Mar 2024
- González, N., Prin, J. L., Benítez, J. L., Ramírez, A., García, A., Ramirez, M., Sabino, M., & Rojas de Gáscue, B. (2012). Estudio de la cinética de difusión en hidrogeles sintetizados a partir de acrilamida-co-ácido acrílico con turba y almidón vía

- calentamiento convencional y bajo radiación microondas. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 32(1), 136-144.
- González-Marquetti, I., Infante-Martínez, D., Arias-Vargas, Y., Gorrita-Ramírez, S., Hernández-García, T., de la Noval-Pons, B. M., Martínez-Coca, B., & Peteira, B. 2019. Efecto de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg sobre indicadores de crecimiento y desarrollo de *Phaseolus vulgaris* L. cultivar BAT-304. *Revista de Protección Vegetal*, 34(2), 10.
- Guardia, M. M., Palacios, I. P., & Arroyo, H. H. M. (2016). Composición química del grano de maíz (*Zea mays*) Chococito del municipio de Quibdó, Chocó, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1), 192–201.
- Gutiérrez-Guzmán, U. N., Ríos-Vega, M. E., Núñez-Hernández, G., Esquivel-Romo, A., Vázquez-Navarro, J. M., & Anaya-Salgado, A. (2022). Producción de maíz forrajero con dos sistemas de riego y tres niveles de la evaporación aplicada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(SPE28), 263–273.
- Guzmán Gómez, E. 2021. Escenarios de riesgo del maíz nativo en México. *Escenarios de riesgo del maíz nativo en México*, 201-231.
- Hariprasad, P., & Niranjana, S. R. 2009. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant and Soil*, 316, 13-24.
- Hennink, W. E., & van Nostrum, C. F. (2012). Novel crosslinking methods to design hydrogels. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 54(1), 13-36. DOI: 10.1016/S0169-409X (02)00132-0
- Hernández, C., Vázquez-Moreno, F., Cruz-Pantoja, A. J., Orduño-Cruz, N., Domínguez-Perales, L. A., & Vázquez-Cruz, F. 2021. Efecto de quitosán y metabolitos de *Trichoderma parareesei* en el crecimiento de *Fusarium oxysporum*. *Revista Bio Ciencias*, 8, 10 pág-10 pág. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e867>

- Hortelano Santa Rosa, R., Gil Muñoz, A., Santacruz Varela, A., Miranda Colín, S., & Córdova Téllez, L. (2008). Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura técnica en México*, 34(2), 189-200.
- Idrobo, H. J., Rodríguez, A. M., & Ortíz, J. E. D. (2010). Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (9), 33-37.
- INECC. 2019. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México (1ª ed.). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. Disponible en: https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf.
- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 116 pp.
- Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., & Bye, R. A. (2009). Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF, 116.
- Klein, M., & Poverenov, E. (2020). Natural biopolymer-based hydrogels for use in food and agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 2337–2347. doi:10.1002/jsfa.10274
- Kumar, R., Yadav, S., Singh, V., Kumar, M., & Kumar, M. (2020). Hydrogel and its effect on soil moisture status and plant growth: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(3), 1746–1753.
- Kurrey, D., Singh, R. K., & Rajput, R. S. (2018). Effect of Hydrogel and Trichoderma on root growth and water productivity in rice varieties under Rainfed Conditions. *Res J Agric Sci*, 9, 210-212.
- Kushanov, F. N., Turaev, O. S., Muhammadiyev, O. A., Umarov, R. F., Rakhimova, N. M., & Mamadaliyeva, N. N. 2022. Maize (*Zea mays* L.) as a Model System for Plant Genetic, Genomic, and Applied Research. *Model Organisms in Plant Genetics*, 49.

- Landero Valenzuela, N., Lara Viveros, F. M., Rodríguez Ortega, A., Pérez Vite, A., & O. Hernández, A. 2019. Trichoderma posible micoparásito de Sporisorium reilianum y su influencia en el rendimiento de maíz. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 7(20), 13-23.
- Lárez Velásquez, C., 2019. Sobre la confusión actual acerca del origen del término hidrogel. *Avances en Química*, 14(2), 79-81.
- Lopes, F. A. C., Steindorff, A. S., Geraldine, A. M., Brandão, R. S., Monteiro, V. N., Júnior, M. L., Coelho, A. S. G., Ulhoa, C. J., & Silva, R. N. (2012). Biochemical and metabolic profiles of Trichoderma strains isolated from common bean crops in the Brazilian Cerrado, and potential antagonism against Sclerotinia sclerotiorum. *Fungal Biology*, 116(7), 815–824.
- Macías Duarte, R., Grijalva Contreras, R. L., Robles Contreras, F., López Carvajal, A., Núñez Ramírez, F., Macías Duarte, R., Grijalva Contreras, R. L., Robles Contreras, F., López Carvajal, A., & Núñez Ramírez, F. 2019. Irrigation deficit and hydrogel application in olive productivity in desert regions. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 393-404.
- Maximov, N. A. (1948). *Plant Physiology*. Edited by RB Harvey and AE Murneek. Second English Edition translated and revised from the Fifth Russian Edition.
- Meisner, A., Jacquioid, S., Snoek, B. L., Ten Hooven, F. C., and Van Der Putten, W. H. (2018) Drought legacy effects on the composition of soil fungal and prokaryote communities. *Frontiers in Microbial.*, 9, 294.
- Mendoza, P. J. G. 2017. El cultivo del maíz en el mundo y en Perú. *Revista De Investigaciones De La Universidad Le Cordon Bleu*, 4(2), 73-79.
- Mex-Álvarez, R. M. J. (2016). Análisis proximal y fitoquímico de cinco variedades de maíz del Estado de Campeche, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(2), 74–80.

- Mukherjee, P. K., Horwitz, B. A., Singh, U. S., Mukherjee, M., & Schmoll, M. (2013). *Trichoderma: Biology and Applications*. CABI. <https://books.google.com.mx/books?id=SBb4AgAAQBAJ>
- Neild, R. E., & Newman, J. E. (1987). NCH-40 Growing Season Characteristics and Requirements in the Corn Belt. National Corn Handbook. Purdue Univ. Cooperative Extension Service, West Lafayette, Ind.
- OCDE-FAO (2023). *Perspectivas Agrícolas 2023-2032*. Francia: OECD Publishing.
- Okoth, S. A., Otadoh, J. A., & Ochanda, J. O. (2011). Improved seedling emergence and growth of maize and beans by *Trichoderma harziunum*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(1), 65–71.
- Olad, A., Zebhi, H., Salari, D., Mirmohseni, A., & Reyhani Tabar, A. (2018). Slow-release NPK fertilizer encapsulated by carboxymethyl cellulose-based nanocomposite with the function of water retention in soil. *Materials Science and Engineering: C*, 90, 333–340. doi:10.1016/j.msec.2018.04.083
- Ortega-Torres, A. E., Flores Tejeida, L. B., Guevara-González, R. G., Rico-García, E., & Soto-Zarazúa, G. M. (2020). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1447-1455.
- Ortiz-Torres, E., López, P. A., Gil-Muñoz, A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., López-Sánchez, H., Taboada-Gaytán, O. R., Hernández-Guzmán, J. A., & Valadez-Ramírez, M. (2013). Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 19(2), 225–238.
- Palacios, C. S., Sánchez, N. M. R., Rosado, J. T. P., Puga, E. R. P., Cumbicus, J. J., Olaya, L. A., & Párraga, A. G. D. 2023. Aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como promotor de desarrollo radicular. *Revista Ciencia UNEMI*, 16(42), 45-54.
- Pedroza-Sandoval, A., Yáñez-Chávez, L. G., Sánchez Cohen, I., Samaniego Gaxiola, J. A., & Trejo Calzada, R. 2017. Hidrogel, biocompost y su efecto en la actividad

- fotosintética y producción de forraje en plantas de maíz (*Zea mays* L.). *Acta agronómica*, 66(1), 63-68.
- Pedroza-Sandoval, A., Yáñez-Chávez, L. G., Sánchez-Cohen, I., & Samaniego-Gaxiola, J. A. (2015). Effect of hydrogel and vermicompost on corn production. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 375–381.
- Pineda, A., Zheng, S. J., Van-Loon, J. J. A., Pieterse, C. M. J., & Dicke, M. 2010. Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. *Trends in Plant Science*, 15, 507-514.
- Pordomingo, A. J., Jonas, O., Adra, M., Juan, N. A., & Azcárate, M. P. (2002). Evaluación de dietas basadas en grano entero, sin fibra larga, para engorde de bovinos a corral. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 31(1), 1–23.
- Ramirez, A., Benítez, J. L., Rojas de Astudillo, L., & Rojas de Gáscue, B. (2016). Materiales polimeros de tipo hidrogeles: revisión sobre su caracterización mediante ftir, dsc, meb y met. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 36(2), 108-130
- Ramírez-Torres, D. C., Hernández-Domínguez, C., Acosta-Dominguillo, S., Reyes-López, D., Vázquez-Cruz, F., & Domínguez-Perales, L. A. (2023). Hydrogel and endophytic fungi *Trichoderma longibrachiatum*; a combination method to ex vitro acclimatization of banana plants. *Cogent Food & Agriculture*, 9(2), 2278930.
- Rivas Jacobo, M. A., Mendoza Pedroza, S. I., Sangerman-Jarquín, D. M., Sánchez Hernández, M. Á., Herrera Corredor, C. A., & Rojas García, A. R. (2020). Evaluación forrajera de maíces de diversos orígenes de México en la región semiárida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(SPE24), 93–104.
- Rivera F., R. D., Mora Mueckay, C., Moreira Salto, J. R., & Mendoza Intriago, D. A. 2021. Volumen de humedecimiento por la aplicación de hidrogel en suelos de diferentes texturas. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 33(1), 67-75.
- Rivetti, A. R. (2007). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. II. Producción de materia seca. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 39(1), 29-39.

- Robiul Islam, M; Z., Zeng; J., Mao; A., Egrinya Eneji; X., Xue; and Y., Hu. 2011. Feasibility of summer corn (*Zea mays* L.) production in drought affected areas of northern China using watersaving superabsorbent polymer. Czech Republic. *Plant, Soil and Environment*. 57(6):279–285.
- Romero, A., Laguna, R. R., García, F. P., Rangel, J. M., Zarate, R. R., & Flores, M. D. L. L. H. (2014). Hidrogel como mitigador de estrés hídrico. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.
- Rudzinski, W. E., Dave, A. M., Vaishnav, U. H., Kumbar, S. G., Kulkarni, A. R., & Aminabhavi, T. M. (2002). Hydrogels as controlled release devices in agriculture. *Designed monomers and polymers*, 5(1), 39-65.
- Saavedra Benítez, C., Omaña, M. A., Navas Panadero, A., & Suárez, Á. (2013). Evaluación de la amonificación de residuos de cosecha de *Zea mays* como alternativa para la alimentación de rumiantes. *Revista Ciencia Animal*, 1(6), 99–108.
- Salazar, J. A. E. 2015. Calidad nutricional y consumo de forraje de maíz (*Zea mays*) y forraje de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) con o sin alimento balanceado en cabras. *Nutrición Animal Tropical*, 9(2), 11-26.
- Salgado, A. (2011). Diversidad, Erosión y Contaminación Genética del Maíz Nativo en México. *Biodiversidad, erosión y contaminación genética del maíz en América Latina*, 17-40.
- Sánchez Ortega, I., & Pérez-Urria Carril, E. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología). Serie Botánica.*, 7(2), 151–171.
- Sánchez, M. I. C. (2009). Darwin y la domesticación de plantas en las Américas: el caso del maíz y el frijol. *Acta Biológica Colombiana*, 14, 351-363.
- Satriani, A., Catalano, M., & Scalcione, E. 2018. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy. *Agricultural Water Management*, 195, 114-119.

- Sedamanos, J. A. C., Guerrero, J. N. Q., Guncay, I. G. T., & Carillo, J. E. C. 2022. *Trichoderma* spp: Propagación, dosificación y aplicación en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia y Agricultura*, 19(3).
- Senna, A. M., & Botaro, V. R. (2017). Biodegradable hydrogel derived from cellulose acetate and EDTA as a reduction substrate of leaching NPK compound fertilizer and water retention in soil. *Journal of Controlled Release*, 260, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.06.009>.
- Senna, A. M., Braga Do Carmo, J., Santana Da Silva, J. M., & Botaro, V. R. (2015). Synthesis, characterization and application of hydrogel derived from cellulose acetate as a substrate for slow-release NPK fertilizer and water retention in soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(2), 996–1002.
- Serna-Saldivar, S. O. 2023. Maize. In *ICC Handbook of 21st Century Cereal Science and Technology* (pp. 131-143). Academic Press.
- Serratos Hernández, J.A. 2009. Teozintle ¿qué es para los pueblos prehispánicos? En: Morales-Valderrama C. Y Rodríguez Lazcano C. (coord.). *Diario de Campo. Desgranando una mazorca. Orígenes y etnografía de los maíces nativos. Suplemento No. 56: 68-75*. INAH-CONACULTA.México, D.F.
- Shen, W., Lin, X., Gao, N., Zhang, H., Yin, R., Shi, W., & Duan, Z. 2008. Land use intensification affects soil microbial populations, functional diversity and related suppressiveness of cucumber Fusarium wilt in China's Yangtze River Delta. *Plant and Soil*, 306, 117-127.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Cierre de la producción agrícola. [Siap.gob.mx](https://nube.siap.gob.mx). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sinha, S. 2018. Biodegradable superabsorbents: Methods of preparation and application—A review. *Fundamentals of Biomaterials and Polymers*, 307-322.
- Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiw, M. S., Ramakrishnan, M., Landi, M., & Sharma, A. 2020. *Trichoderma*: The “secrets” of a multitalented biocontrol agent. *Plants*, 9(6), 762.

- Suman, A., Verma, P., Yadav, A. N., Srinivasamurthy, R., Singh, A., & Prasanna, R. (2016). Development of hydrogel based bio-inoculant formulations and their impact on plant biometric parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, 5(3), 890–901.
- Torres, O. G. V., Patiño, M. L. D., Pérez, M. A., Rodríguez, M. A., Nava, H. S., Rangel, M. G. M., Cortés, M. A., Carpintero, C. C., & Salazar, M. C. M. (2017). Sustrato como material de última generación. *OmniaScience*. <https://books.google.com.mx/books?id=inTFDgAAQBAJ>
- Tovar Castaño, J. 2008. Evaluación de la capacidad antagonista “in vivo” de aislamientos de *Trichoderma* spp frente al hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*. (Tesis de ingeniería agrónoma). Bogotá, Colombia. 81 p.
- Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. Fondo Editorial Biogénesis, 185–209.
- Van Loon, J., Gutiérrez Muñoz, N. O., Alarcón González, F., Morales Garcilazo, F., Sonder, K., González Ramos, A., Benavidez Real, J., Aguillón Aguillón, A., Casaya Rodríguez, T. A., García Santiago, J. O., Leal González, A. J., Cabello, J. A., Tovar López, E., Pérez Medél, E. 2023. Innovación y resiliencia. Una mirada de los Hubs en México. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10883/22608>.
- Vázquez-Martínez, J. A., González-Cárdenas, J. C., Chiquito-Contreras, R., Sangabriel-Conde, W., & Alvarado-Castillo, G. 2019. Evaluación del potencial biofertilizante de cinco especies de *Trichoderma* en la producción de maíz elotero nativo e híbrido bajo condiciones de campo. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 115(3).
- Velasco-García, Á. M., García-Zavala, J. J., Sahagún-Castellanos, J., Lobato-Ortiz, R., Sánchez-Abarca, C., & Marín-Montes, I. M. (2020). Análisis de la variabilidad morfológica de maíces nativos y exóticos en valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4A), 517–524.

- Villegas Arenas, M. 2005. Trichoderma, características generales y su potencial biológico en la agricultura sostenible [en línea]. Orius Biotecnología. Colombia. Disponible en: <http://www.oriusbiotecnologia.com> [accesado 19 de marzo de 2009].
- Wei, J., Yan, L., Zhang, Z. et al. Carbon nanotube/Chitosan hydrogel for adsorption of acid red 73 in aqueous and soil environments. *BMC Chemistry* 17, 104 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13065-023-01019-9>
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. E., & Mangelsdorf, P. 1951. Razas de maíz en México: su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales. S. A. G. México, D. F., México. Folleto técnico Núm. 5. México, D. F., México.
- Yang, L., Yang, Y., Chen, Z., Guo, C., & Li, S. 2014. Influence of super absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering. *Ecological Engineering*, 62, 27-32.
- Yaseen, R., Hegab, R., Kenaway, M., & Eissa, D. (2020). Effect of super absorbent polymer and bio fertilization on Maize productivity and soil fertility under drought stress conditions. *Egyptian Journal of Soil Science*, 60(4), 377–395.
- Yescas, CP, Segura C, MA, Martínez C, L, Álvarez R, VP, Montemayor T, JA, Orozco V, JA, & Frías R, JE. (2015). Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas. *Phyton* (Buenos Aires), 84(2), 272-279. Recuperado en 16 de mayo de 2024, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572015000200003&lng=es&tlng=pt.
- Zapata, S. R., Quiroga, M., Murillo, B., Agüero, D., Lisi, B., & Mena, P. 2012. Trichoderma spp biocontrolador y promotor de crecimiento: una alternativa al uso de agroquímicos en cultivos intensivos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16.
- Zaragoza-Esparza J., M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, C. López-López, J. C. García-Espinosa, B. Zamudio-González, y F. Rosado-Núñez. 2019. Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:101-111, <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>.

Zayas, E. C., González, R. C., Puebla, J. H., Robaina, F. G., Rodríguez, S. C., & García, O. S. (2020). Efecto de los polímeros súper absorbentes en la economía del agua para uso agrícola. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 21(1), 1-13.