



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Alternativa de manejo agronómico para maíz
forrajero (*Zea mays L.*) en la FES Cuautitlán**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

MAYTE VILLAFRANCA MÁRQUEZ

ASESOR DE TESIS:

I.A. EDGAR ORLANDO SOTELO NOGUEZ

COASESOR:

MTRO. RUBEN VARGAS MÁRQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO,

2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



ASIENTO VOTO APROBATORIO

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de tesis.**

Alternativa de manejo agronómico para maíz forrajero (Zea mays L.) en la FES Cuautitlán

Que presenta la pasante: **Mayte Villafranca Márquez.**

Con número de cuenta: **414079139** para obtener el título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de junio de 2023.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza	
VOCAL	Dra. Martha Elena Domínguez Hernández	
SECRETARIO	I.A. Edgar Orlando Sotelo Noguez	
1er. SUPLENTE	I.A. Fernando Ortiz Salgado	
2do. SUPLENTE	I.A. Octavio Chavarría Silva	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

MCVB/ntm*

DEDICATORIAS

A mi mamá, por siempre confiar en mí y amarme tanto día con día, por ser un gran ejemplo de ser humano, la mejor mamá del mundo y la más hermosa.

A mi papá, por cuidar siempre de mí y mis hermanos, por todo lo que haces por nosotros, por todo el apoyo y también los regaños. A ti con mucho amor, gracias.

A mis hermanos Alejandro y Martín por estar siempre ahí para mí, porque mucho de lo que soy ahora es también por ustedes, los amo mucho. Así como a mis cuñadas Alejandra y Roxana por su cariño incondicional. A mis sobrinos Benjamín y Renata porque me llenan de vida y los adoro con toda el alma. Muchas gracias familia querida, tenerlos a mi lado me hace muy feliz.

A Dilan, por siempre creer en mí y ser incondicional. Por escucharme en mis buenos y malos ratos, estoy agradecida con la vida por haberte encontrado en el camino.

A mi amiga Moon, porque te has convertido como en una hermana para mí, porque desde que nos conocimos supe que serías importante en mi vida. Por siempre darme ánimos y ayudarme a creer en mí misma, gracias por tu bella amistad.

A mis amigos y compañeros de generación con los que tuve tantas vivencias y buenos momentos, fueron parte de esta aventura y les dedico este logro a cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, mi máxima casa de estudios, por abrirme sus puertas y otorgarme las herramientas necesarias para continuar mi camino y ser un miembro valioso para la sociedad.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por ser mi segundo hogar, ya que en cada rincón de sus instalaciones tuve enseñanzas valiosas a lo largo de todos estos años.

A todo el personal docente de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por ofrecer sus valiosos conocimientos y formar nuevos miembros profesionales, ya que su labor ha forjado en mí una mejor persona capaz de enfrentar nuevos retos.

A mi asesor de tesis I.A. Edgar Orlando Sotelo Noguez le agradezco especialmente su paciencia, humildad y enseñanzas, ya que sin su apoyo este trabajo no hubiera podido realizarse.

Al Mtro. Rubén Vargas Márquez y al personal del Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA), quienes fueron de gran apoyo para la realización de este trabajo de investigación.

En general, agradezco a todos mis sinodales que sin sus correcciones este trabajo no hubiera alcanzado la calidad que tiene.

INDICE

ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 General.....	3
1.1.2 Particulares.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Descripción taxonómica y botánica del maíz	4
2.2 Etapas fenológicas del maíz	4
2.3 Requerimientos edafoclimáticos del maíz	5
2.3.1 Temperatura.....	5
2.3.2 Precipitación.....	6
2.3.3 Altitud	6
2.3.4 Suelos.....	7
2.4 Importancia y producción del maíz forrajero	7
2.5 Producción de maíz forrajero en México.....	7
2.6 Características del maíz para producción de forraje	8
2.7 Manejo agronómico para maíz forrajero	9
2.7.1 Preparación de terreno.....	10
2.7.2 Época de siembra	10
2.7.3 Establecimiento del cultivo y densidad de siembra	10
2.7.4 Fertilización	11
2.7.5 Manejo fitosanitario.....	12
2.7.6 Cosecha.....	12
2.8 Estación de crecimiento	13
2.9 Balance hídrico.....	13
2.10 Grados-día de desarrollo	14
2.11 La lombricultura.....	15
2.11.1 La lombricomposta	15
2.11.2 Humus de lombriz líquido.....	16

2.11.3 Aplicaciones del humus de lombriz líquido.....	17
2.11.4 Aplicación edáfica de humus de lombriz líquido	17
2.11.5 Aplicación foliar de humus de lombriz líquido	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 Características de la zona de estudio	19
3.2 Material genético.....	20
3.3 Diseño experimental	21
3.4 Establecimiento del experimento y manejo agronómico	22
3.4.1 Preparación del terreno.....	22
3.4.2 Control fitosanitario.....	22
3.4.3 Fertilización	22
3.5 Variables evaluadas	24
3.5.1 Altura de planta	24
3.5.2 Número de hojas.....	24
3.5.3 Número de mazorcas	24
3.5.4 Longitud de mazorcas	25
3.5.5 Rendimiento forraje verde.....	25
3.6 Estaciones de crecimiento	26
3.7 Balance hídrico.....	26
3.8 Grados-día de desarrollo.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 Altura de planta	29
4.2 Número de hojas.....	30
4.3. Número de mazorcas	32
4.4 Longitud de mazorca	33
4.5 Rendimiento de forraje verde.....	34
4.6 Estación de crecimiento	36
4.7 Balance hídrico.....	39
4.8 Grados-día de desarrollo.....	43
V. CONCLUSIONES.....	45
VI. LITERATURA CITADA	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas fenológicas del maíz	5
Tabla 2. Temperatura mínima, máxima y óptima requerida por el maíz para una adecuada producción.	6
Tabla 3. Híbridos de maíz forrajero	20
Tabla 4. Resultados del análisis al lixiviado de humus de lombriz.	23
Tabla 5. Etapas fenológicas, grados-día y grados-día acumulados con una temperatura base de 7°C para el cultivo de maíz en la FES Cuautitlán.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción y rendimiento de las principales entidades productoras.	8
Figura 2. Ubicación de la FES Cuautitlán. Tomado de Google Earth.	19
Figura 3. Climograma de FES Cuautitlán	20
Figura 4. Acomodo de los híbridos y tratamientos.....	21
Figura 5. Dosificación de lixiviado de lombriz.....	23
Figura 6. Vista de aspersores para aplicación foliar de lixiviado de lombriz.	24
Figura 7. Momento de la cosecha de maíz.....	25
Figura 8. Peso de plantas en báscula de la FES Cuautitlán.	26
Figura 9. Altura promedio de los diferentes híbridos y sus respectivos tratamientos.....	30
Figura 11. Promedio de número de mazorcas por híbrido.	33
Figura 12. Promedio de longitud de mazorcas por híbrido.....	34
Figura 13. Promedio de rendimiento en materia verde.	36
Figura 14. Comparación de las estaciones de crecimiento de la FES Cuautitlán.	38
Figura 15. Comparación de gráficos de balances hídricos de la FES Cuautitlán.	41
Figura 16. Comparación en mm de precipitaciones, ETP, ETR y deficiencias hídricas.....	42

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es el cultivo más importante de México porque es un cereal básico para la alimentación humana. Además es utilizado para la alimentación ganadera como: grano, semilla, forraje verde y para ensilaje. El maíz forrajero es destinado para el ganado bovino con propósitos de producción de leche y/o carne y puede constituir entre el 30 y 40% de la dieta del ganado en producción (Ávalos de la Cruz *et al*, 2018; SADER, 2020).

Las características de mayor importancia del maíz forrajero son la alta capacidad de producción de biomasa por unidad de superficie y la cantidad de nutrimentos que aportan a la alimentación ganadera (Fernández, 2017). El manejo agronómico de maíz es importante para obtener altos rendimientos y buena calidad forrajera, además de poder obtener el máximo potencial del genotipo que se esté utilizando (Medina, 2018; Peña *et al*, 2006).

En México la información sobre prácticas de manejo con bases técnicas sólidas para lograr mayor producción y calidad forrajera del maíz es reducida (Peña *et al*, 2006). Es necesario para poder satisfacer la demanda de maíz como forraje, considerar la sostenibilidad en la producción, aun así, investigaciones indican que la pérdida de la fertilidad del suelo ha aumentado (Ávalos de la Cruz *et al*., 2018).

Los fertilizantes químicos han contribuido al rendimiento de los cultivos pero su aplicación excesiva ha producido: contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (González-Ulibary, 2019).

La reducción de la aplicación de fertilizantes químicos con el uso de fertilizantes orgánicos podría abatir costos de producción e índices de contaminación, además de que con la adición de abonos orgánicos se promueve la restauración de la fertilidad del suelo (Martínez-Scott y Ruiz-Hernández, 2018; Trejo-Escareño *et al*., 2018).

En vista de las características que presenta el cultivo de maíz para forraje y con la intención de generar nueva información que pueda utilizarse para posteriores producciones por el Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA), se evaluará la respuesta de la fertilización química y orgánica, esta última a base de aplicaciones foliares de lixiviado de lombriz en diferentes variables de crecimiento, así como en el rendimiento de forraje verde. A su vez, a partir de análisis climáticos se identificará un período de fecha de siembra adecuado a las condiciones climáticas de la FES Cuautitlán.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

- Establecer una alternativa de manejo agronómico a partir de una fertilización química y orgánica, así como un período de fecha de siembra adecuado para maíz forrajero en la FES Cuautitlán.

1.1.2 Particulares

- Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares de lixiviado de lombriz en variables de crecimiento y rendimiento de forraje verde de cuatro híbridos de maíz forrajero.
- Identificar a partir de análisis climáticos un período de fecha de siembra adecuado para la producción de maíz forrajero en la FES Cuautitlán.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción taxonómica y botánica del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género (Acosta, 2009). *Zea mays* L., es una especie monocotiledónea anual, de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, con un ciclo de vida que varía de los 80 a 200 días desde siembra hasta cosecha (Kato *et al.*, 2009; Ruíz, 2010).

Presenta un tallo simple erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los cuatro metros de altura, es robusto y sin ramificaciones, posee entre 15 y 30 hojas que crecen en la parte superior de los nudos, abrazando al tallo mediante estructuras llamadas vainas (Chávez, 2019; Fernández, 2017).

El maíz presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas y separadas dentro de la misma planta; el fruto es el grano de maíz y cada grano de la mazorca es un fruto independiente llamado cariósipide (Chávez, 2019). Las estructuras que constituyen el grano de maíz son: pericarpio, endospermo y embrión, que le confieren propiedades físicas y químicas que han sido importantes en la selección del grano como alimento (Kato *et al.*, 2009).

2.2 Etapas fenológicas del maíz

La fenología estudia la secuencia temporal de las distintas fases periódicas de las plantas y sus relaciones con el clima y el tiempo atmosférico; fases como: aparición de las primeras hojas, floración, maduración de los frutos, etc., tienen relación con las condiciones prevalecientes de temperatura y la oportuna cantidad de precipitación (Granados y Sarabia, 2018).

La duración de las etapas fenológicas o de desarrollo del maíz (Tabla 1) depende directamente de la variedad que se establezca, ya que, algunas pueden ser de desarrollo

precoz, o bien, de desarrollo tardío o intermedio (Medina, 2018). Así mismo, el desarrollo fenológico del cultivo estará en función de requerimientos de temperatura, radiación y humedad relativa y estos variarán según el estado de desarrollo en que se encuentren las plantas (Valdez-Torres *et al.*, 2012).

Tabla 1. Etapas fenológicas del maíz

Etapas vegetativas	Etapas reproductivas
VE Emergencia	R1 Aparición de los estigmas
V1 Primera hoja	R2 Inicio del crecimiento del grano
V2 Segunda hoja	R3 Grano lechoso
V3 Tercera hoja	R4 Grano pastoso
V(n) Enésima hoja	R5 Grano dentado
VT Aparición de las espigas	R6 Grano maduro

Nota. Tomado de Endicott *et al.*, 2015.

2.3 Requerimientos edafoclimáticos del maíz

2.3.1 Temperatura

La temperatura óptima para el desarrollo del maíz está en función a su etapa de crecimiento (Tabla 2). El maíz es una planta que presenta un buen crecimiento cuando la temperatura ambiente se encuentra entre 18 y 28°C, con temperaturas promedio entre 20 y 22°C y máximas no superiores a 30°C se logra su mejor crecimiento (Demagnet y Canales, 2020). Las áreas de mayor producción de maíz se ubican donde los meses más cálidos varían de 21 a 27°C y un periodo libre de heladas de 120 a 180 días (Medina, 2018).

Tabla 2. Temperatura mínima, máxima y óptima requerida por el maíz para una adecuada producción.

Etapas/Temperatura	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Óptima (°C)
Germinación	10	40	20-25
Crecimiento	15	40	25-30
Floración	20	30	21-20

Nota. Tomado de Bonilla, 2009.

2.3.2 Precipitación

El requerimiento hídrico del cultivo de maíz es de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo (Ortigoza *et al.*, 2019). El maíz es muy sensible al encharcamiento, es decir, a los suelos saturados y sobresaturados (Deras, 2012), los excesos de agua durante las primeras etapas del desarrollo de las plantas afectan el anclaje en el suelo y en etapas avanzadas producen lixiviación de nutrientes que generan deficiencias que perjudican directamente el crecimiento y desarrollo de las plantas (Demanet y Canales, 2020).

Los mayores requerimientos de agua se presentan durante la germinación, la floración y el llenado de granos; el mayor consumo de agua de la planta de maíz se presenta en la etapa de la floración, en donde si el déficit se presenta por seis a ocho días la reducción del rendimiento puede ser de hasta 50% (Chávez, 2019).

2.3.3 Altitud

El maíz se siembra en una gran variedad de regiones agroecológicas que van de altitudes de 0 m hasta cerca de los 4,000 msnm (Kato *et al.*, 2009).

2.3.4 Suelos

El cultivo de maíz se adapta a una amplia variedad de suelos donde puede producir buenas cosechas si se emplean las técnicas de cultivo apropiadas, en general, los suelos más idóneos son los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención de agua (Deras, 2012).

La planta de maíz puede producirse con éxito en suelos con pH entre 5.5 a 7.0 existiendo fuera de estos límites problemas de toxicidad de ciertos elementos (Ortigoza *et al.*, 2019). Es un cultivo sensible a la acidez, tolera salinidad siempre que ésta no sea mayor que 7 dS m⁻¹ (Ruiz *et al.*, 2013).

2.4 Importancia y producción del maíz forrajero

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más cultivado del mundo así como el cereal líder mundial en términos de producción, se cultiva para producir forraje verde ya que proporciona la mejor calidad de la familia de las gramíneas por ser muy rendimiento y de gran valor nutritivo, puede producir entre 60 y 80 toneladas de forraje verde y suele cosecharse cuando el grano se encuentra en estado lechoso-pastoso y las hojas están todavía verdes (Elizondo y Boschini, 2006).

El maíz forrajero es un cultivo adaptado a una gran diversidad de ambientes, es una especie C4 y se caracteriza por tener una alta producción de materia seca (Peña *et al.*, 2002). Es de los cultivos más empleados como fuente de forraje en los sistemas de producción bovina ya que se adecua a la conservación (ensilaje) y posterior alimentación del ganado debido a un alto volumen de producción en un solo corte, alto contenido de carbohidratos y relativa amplitud del período de cosecha (Bertoia, 2006; Fortis-Hernández *et al.*, 2009)

2.5 Producción de maíz forrajero en México

En México, el maíz es un cultivo de gran importancia debido a que se utiliza para consumo humano y animal; en el caso del consumo animal, se utiliza como forraje fresco,

ensilado o rastrojo, destinando su uso principalmente en la época de estiaje (Luna-Ortega *et al.*, 2013; Zaragoza-Esparza *et al.*, 2019).

El maíz forrajero se aprovecha como alimento ganadero en varias etapas del crecimiento de la planta y es también destinado a la industria o a la fabricación de alimentos balanceados para la producción pecuaria (SADER, 2020).

El SIAP reporta que en el año 2021, se sembraron 597 mil 543 hectáreas de maíz forrajero en el territorio nacional, registrando una producción de 17 millones 250 mil toneladas y un rendimiento promedio nacional de 28.9 t ha⁻¹.

En la Figura 1 se muestra los principales cinco estados productores de maíz forrajero y su respectivo rendimiento promedio.

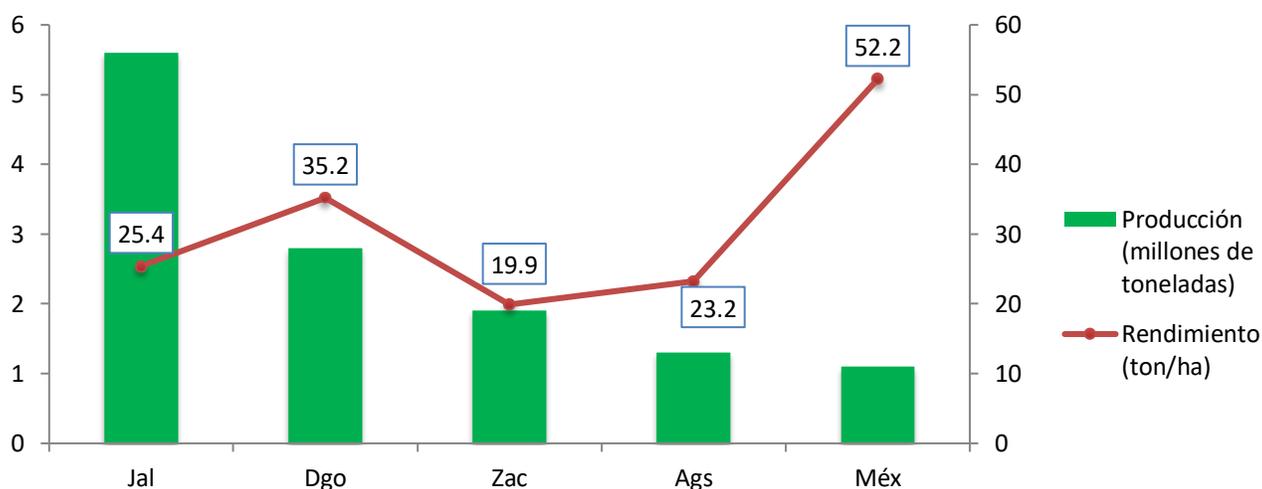


Figura 1. Producción y rendimiento de las principales entidades productoras. Elaboración propia con datos del SIAP, 2021.

2.6 Características del maíz para producción de forraje

El Consejo Nacional de Investigación de EE. UU. (1982) clasificó como forrajes a los alimentos de baja digestibilidad que contienen más de 18% de fibra cruda; el maíz es una

especie forrajera destacada porque presenta un alto volumen de forraje y un contenido de nutrientes digestibles totales superior a 70% en base seca (Fassio *et al.*, 2018).

Para Valles Altos se utilizan gran cantidad de variedades e híbridos de maíz para forraje, la elección de variedades para producción de forraje y ensilado se basa en el porte alto de la planta y gran capacidad para producir follaje, así como el manejo para obtener grandes volúmenes de materia verde por hectárea (Núñez *et al.*, 2005)

El cultivo de maíz para forraje provee un alto rendimiento en un corto tiempo, con un valor nutritivo de bueno a excelente, dependiendo de la etapa de crecimiento en que se encuentre el cultivo al momento de la cosecha; se estima que cuando el maíz está entre el estado lechoso y pastoso duro, la planta está en su condición óptima para la cosecha y conservación (Ruíz, 2010).

Para obtener un ensilado de maíz adecuado para la alimentación del ganado es necesario que este tenga ciertas características agronómicas tales como la capacidad de lograr un porcentaje de grano por encima del 40%, que la planta haya permanecido verde el mayor tiempo posible, no acame y con buena digestibilidad (López, 2014).

2.7 Manejo agronómico para maíz forrajero

La primera etapa para un manejo adecuado consiste en la elección de la semilla que pretenda utilizarse, en el caso de las variedades mejoradas éstas deben ir acompañadas de un paquete tecnológico especificado por su generador (Elizondo y Boschini, 2001).

La selección e hibridación de líneas de maíz, ha permitido elevar el potencial productivo y la calidad de los materiales, pero el buen manejo agronómico ha logrado explotar al máximo las capacidades de estos genotipos (Guevara *et al.*, 2005). A su vez, se debe considerar que el genotipo a utilizar deberá ser elegido con base a las condiciones climáticas de la región en donde se establecerá el cultivo (Medina, 2018).

2.7.1 Preparación de terreno

Una buena preparación del terreno es el primer paso para incrementar el rendimiento, ya que favorece la emergencia de las plántulas y la penetración de raíces, permite un buen desarrollo de la planta y facilita la distribución uniforme del agua, semilla y los fertilizantes (Hernández *et al.*, 2001). Esta actividad consiste en realizar un subsoleo para permitir la aireación del suelo, la infiltración y retención de humedad, así como el desarrollo de raíces, seguido de un paso o dos de arado de discos, rastreo y surcado (Jurado *et al.*, 2014).

2.7.2 Época de siembra

La selección de la fecha de siembra determina cambios sustanciales en el ambiente de cada cultivo, lo cual repercute en la duración del ciclo y en la capacidad de capturar radiación solar, por lo tanto, la fecha de siembra estará influenciada directamente por las condiciones de clima (Perlo *et al.*, 2021).

La germinación óptima del maíz se obtiene con temperaturas de 18 a 21 °C, disminuyendo significativamente con temperaturas menores de 13 °C, por lo tanto, el período adecuado para el crecimiento de maíz forrajero de temporal es de principios de junio hasta principios de julio para la siembra de primavera-verano en las zonas de Valles Altos (Carbajal, 2018; Jurado *et al.*, 2014; Medina, 2018).

2.7.3 Establecimiento del cultivo y densidad de siembra

El establecimiento del cultivo es una de las labores más importantes y delicadas en el proceso productivo, donde la emergencia dependerá de la buena preparación del suelo, la calidad de la semilla y la forma de sembrar; para maíz se puede utilizar una sembradora unitaria, integral o de precisión y realizar los ajustes necesarios para depositar el número de semillas adecuado por metro para contar con la densidad de población óptima y así obtener un buen rendimiento de forraje (INIFAP y SAGARPA, 2004).

La siembra puede hacerse en suelo seco o húmedo, cuando se lleva a cabo en seco, la semilla debe depositarse a una profundidad de 4 cm, mientras que en suelo húmedo, la semilla debe quedar a una profundidad de 5 a 7 cm (Jurado *et al.*, 2014).

La densidad de siembra es un factor crucial para asegurar el máximo desarrollo del cultivo, se han reportado ganancias en la materia seca al incrementar la densidad de población en el rango de 60,000 a 100,000 plantas por hectárea (Fernández, 2017).

2.7.4 Fertilización

Se recomienda que las aplicaciones de fertilizante se realicen basándose en los resultados de un análisis de suelo, sin embargo, como fertilización química base se recomienda utilizar 180 kg de nitrógeno, más 90 kg de fósforo (180-90-00) (Jurado *et al.*, 2014). La fertilización recomendada para Valles Altos bajo condiciones de temporal favorable es 140-60-30 (García, 2018).

De igual forma se tiene registro del uso de fertilización orgánica; el empleo del lixiviado de lombriz se ha evaluado en la producción hidropónica de maíz forrajero, donde el lixiviado demostró ser una alternativa sustentable con potencial para la producción de forraje, al encontrar similitud estadística con el rendimiento y calidad nutrimental que proporciona una fertilización convencional (Rangel *et al.*, 2014).

Se han realizado investigaciones sobre el efecto del residuo sólido del humus lixiviado en macetas con maíz como planta indicadora; el tratamiento con humus sin lixiviar fue superior al del residuo sólido del humus lixiviado en altura, peso fresco y seco de las plantas (Almaguer y Díaz, 2012).

A su vez, se han realizado aplicaciones de vermicompost con riego por goteo en maíz forrajero, demostrando obtener el mejor rendimiento a comparación de la fertilización química (Fortis-Hernández *et al.*, 2009).

2.7.5 Manejo fitosanitario

Para un control oportuno de malezas, se recomienda realizar la labor en los primeros 40 días del ciclo del cultivo, el control se puede efectuar mecánicamente mediante escardas y con control químico que se puede llevar a cabo aplicando 2,4-D Amina en dosis de 1.0 a 1.5 L/ha (Jurado *et al.*, 2014).

El control de plagas es indispensable para evitar pérdidas importantes de rendimiento, una oportuna identificación de plagas ayuda a hacer un adecuado control y permite emitir la alerta fitosanitaria a los productores para mitigar su impacto (SADER, 2021). El manejo integrado de plagas es el trabajo agrícola que utiliza técnicas y métodos apropiados para el control de plagas (Ortigoza *et al.*, 2019).

De acuerdo con SADER, 2021, para el cultivo de maíz se identifican principalmente plagas que afectan la raíz y el follaje; para su control se pueden poner en práctica diferentes métodos como:

- Control químico: se deben utilizar insecticidas autorizados para el cultivo de maíz (dosis recomendada por el fabricante).
- Rotación de cultivos: esta práctica agroecológica es un medio para mantener la fertilidad del suelo, disminuir y controlar malezas, plagas y enfermedades.
- Manejo adecuado del rastrojo: el uso del rastrojo como material de cobertura del suelo ha resultado ser de las medidas más efectivas para evitar la erosión y conservar la humedad en el suelo.

2.7.6 Cosecha

Para establecer el tiempo de cosecha se debe considerar la madurez de la planta porque determina el estado de madurez del grano, la digestibilidad y contenido de humedad del forraje; de acuerdo a Jurado *et al.*, 2014 y Kuttel, 2017 existen dos alternativas para la cosecha y posterior suministro del forraje a los animales:

- Cosecha y suministro en verde.

- Cosecha, conservación y suministro.

La cantidad de agua que contiene el forraje al momento de ser cosechado es el factor más importante en determinar la calidad del ensilaje, para que la calidad de ensilaje sea adecuada es necesario que el contenido de humedad de la planta sea de 65% para evitar pérdidas durante la cosecha y el proceso de ensilaje (Jurado *et al.*, 2014).

2.8 Estación de crecimiento

La estación de crecimiento describe un ciclo dentro del cual se presentan condiciones climáticas favorables para que la planta pueda desarrollar todas sus etapas fenológicas (Martínez, 2014).

La estación de crecimiento es considerado el lapso del año en el que existen condiciones favorables de humedad y temperatura para el desarrollo de cultivos y el inicio de la estación lluviosa; se define cuando la precipitación (P) es igual o mayor a 0.5 de evapotranspiración (ETP) ($P \geq 0.5 \text{ ETP}$), se dice que la cantidad de agua presente en este período es suficiente para la germinación de semillas del cultivo (Pájaro y Ortiz, 1992).

El inicio del período húmedo (IPH) y el final del período húmedo (FPH) es el intervalo de tiempo en el cual la precipitación es mayor a la ETP ($P > \text{ETP}$), en este período se satisfacen las demandas de evapotranspiración del cultivo a una máxima cobertura y el déficit de humedad en el perfil del suelo (Pájaro y Ortiz, 1992).

2.9 Balance hídrico

El balance hídrico es una herramienta útil para calcular el agua que consume un cultivo, éste método utiliza la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, o bien, la capacidad de campo, como una referencia de la reserva de agua que puede retener un cierto tipo de suelo y con una cierta cubierta vegetal (Ransés *et al.*, 2002; Santillán *et al.*, 2013).

El cálculo del balance hídrico incluye variables de precipitación, temperatura, y propiedades del suelo; y permite conocer la evapotranspiración potencial, exceso y déficit hídrico a lo largo del tiempo (Sentelhas *et al.*, 2008). Este puede ser calculado con valores promedio o normales climatológicas y se le denomina balance hídrico normal, o bien, con valores secuenciales a lo largo de uno o varios años, denominado balance hídrico secuencial o seriado (Lozada y Sentelhas, 2003; Santillán-Fernández *et al.*, 2020; Santillán *et al.*, 2013).

La importancia del balance hídrico radica en que permite estimar diferentes aspectos de interés agrícola tales como la reserva de humedad productiva del suelo, los déficits y los excesos hídricos, el agua evapotranspirada y también el período de tiempo en que ocurren (Ransés *et al.*, 2002).

2.10 Grados-día de desarrollo

El efecto de la temperatura en el desarrollo de las plantas de maíz, se puede evaluar con el cálculo de los grados-día de desarrollo (GDD) que requiere el cultivo para llegar a completar todas sus etapas fenológicas desde la emergencia hasta la madurez fisiológica (Noriega *et al.*, 2011).

Este método se basa en el uso de temperaturas mínimas y máximas para el crecimiento y el desarrollo de las plantas; en el cultivo de maíz la temperatura mínima es de 10 °C y la temperatura máxima de 30 °C, habrá poco o ningún crecimiento por debajo de la temperatura mínima de 10 °C o por encima de la temperatura máxima de 30 °C (Endicott *et al.*, 2015).

Las variaciones de temperatura pueden modificar la longitud del periodo emergencia-antesis o antesis-llenado de grano, la floración también puede ser afectada por altas temperaturas, las cuales pueden des-sincronizar la floración femenina y la antesis (Shim *et al.*, 2017).

Las altas temperaturas afectan la viabilidad del polen durante la polinización, que puede generar abortos en los granos, reflejar un menor número de granos por mazorca y por

ende menor acumulación de biomasa, también es afectada la tasa de producción y extensión foliar así como la duración de las distintas etapas fenológicas (Arista-Cortes *et al.*, 2018).

Diversos investigadores han evaluado en distintos ambientes la exactitud de los modelos térmicos para el cultivo de maíz donde se han encontrado valores de temperatura mínima de 10 °C y máxima de 35 °C para el híbrido pionner 3388; asimismo, Hernández y Carballo (1984) estimaron como temperatura mínima 7 °C y máxima 27 °C para Valles Altos (Arista-Cortes *et al.*, 2018).

2.11 La lombricultura

La lombricultura se define como una biotecnología limpia, de bajo costo, fácil de desarrollar y al alcance de cualquier familia o productor del ámbito agro-industrial que desee valorizar su residuo orgánico biodegradable para convertirlo en humus (Schuldt *et al.*, 2007).

La lombricultura es una actividad alternativa como solución de problemáticas ambientales con el fin de sustituir o reducir la aplicación de fertilizantes químicos en la actividad agropecuaria, que se rige por normas similares a las utilizadas para la producción de cualquier animal doméstico, requiriendo conocimientos sobre la biología de los anélidos y sobre la tecnología para su crianza, alimentación y reproducción (Bustamante, 2016; Gabriel *et al.*, 2011).

2.11.1 La lombricomposta

La lombricomposta es un proceso que consiste en transformar los residuos orgánicos mediante la acción metabólica combinada de lombrices y microorganismos, obteniendo un producto denominado vermicompost o humus, el cual es resultado de la biotransformación de materia orgánica a través del tubo digestivo de la lombriz obteniendo un fertilizante orgánico por excelencia (Gabriel *et al.*, 2011).

La lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) es la especie comúnmente utilizada para realizar el vermicomposteo, este anélido caracterizado por ser hermafrodita puede llegar a producir grandes cantidades de lombrices por año, desarrollando su ciclo biológico en pequeños espacios y es adaptable a un amplio rango de condiciones edafoclimáticas (Gabriel *et al.*, 2011).

La crianza de estos animales requiere de un esfuerzo mínimo por parte de quienes se interesan en su manejo y reproducción (Ortiz *et al.*, 2008). Los principales factores limitantes para cultivos de *Eisenia fetida* son: la temperatura, el pH, la humedad y la densidad de lombrices en el cultivo (Schuldt *et al.*, 2007).

2.11.2 Humus de lombriz líquido

El humus de lombriz líquido se obtiene de la captación de los escurrimientos que se generan al regar las camas de siembra de lombrices, dado que su hábitat debe tener una humedad alrededor del 85%, cuando se aplican los riegos, parte del agua se escurre arrastrando consigo humus, minerales además de otros compuestos (Pérez, 2015). El humus de lombriz líquido contiene los elementos solubles más importantes presentes en el humus sólido, entre ellos las huminas, los ácidos húmicos, fúlvicos, y úlmicos (Cadena, 2014).

El humus líquido aplicado al suelo o a la planta ayuda a asimilar macro y micro nutrientes, al mismo tiempo evita la concentración de sales y estabiliza el pH del sustrato, de igual manera crea un medio ideal para la proliferación de organismos benéficos como las bacterias, hongos y otros impidiendo el desarrollo de patógenos, reduciendo sensiblemente el riesgo de enfermedades (Velasco *et al.*, 2016).

Conforme a Cadena, 2014 las principales propiedades del lixiviado de humus de lombriz son:

- Incrementa la biomasa de microorganismos presentes en el suelo.
- Estimula un mayor desarrollo radicular.
- Retiene la humedad en el suelo por mayor tiempo.

- Incrementa la producción de clorofila en las plantas.
- Actúa como potenciador de la actividad de muchos pesticidas y fertilizantes.
- Es asimilado por la raíz y por los estomas.

2.11.3 Aplicaciones del humus de lombriz líquido

El humus de lombriz se ha utilizado como un bioestimulante para la germinación de semillas, también se puede utilizar en todo tipo de cultivos y plantas ornamentales, es muy eficaz para el anclaje y crecimiento de las plántulas de maíz, tomate, chile, caña de azúcar, frutales y leguminosas (Pérez, 2015).

El humus de lombriz líquido puede ser aplicado de manera radicular y foliar, su aplicación directa a las plantas ha sido benéfica limitando la aparición de enfermedades foliares, aumentando la producción, ayudando a reducir la malformación de frutos y mejorando las características en hojas y frutos (Guillermo, 2016).

2.11.4 Aplicación edáfica de humus de lombriz líquido

El humus de lombriz líquido es un abono rico en macro y micronutrientes, contiene algunos reguladores del crecimiento vegetal como auxinas y citoquininas, además, aporta gran cantidad de fijadores de nitrógeno y fosfato con la presencia de bacterias solubilizadoras como *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* y *Actinomycetes* (Aleman-Ramirez *et al.*, 2020). Esta mezcla incorpora también microorganismos involucrados en la solubilización de minerales del suelo, degradación de materia orgánica y eliminación de patógenos (Guardiola-Márquez *et al.*, 2019).

Aparte de su gran contenido en nutrientes y microorganismos, el lixiviado de lombriz aporta ácidos húmicos que regulan muchos procesos que controlan el desarrollo de las plantas, incluida la adsorción de nutrientes (Guardiola-Márquez *et al.*, 2019; Zamora *et al.*, 2017).

El lixiviado de lombriz mejora la actividad microbiológica del suelo debido a los nutrientes solubles que alimentan a los microorganismos existentes en él, también actúa como un

producto corrector del suelo adecuado para mejorar la fertilidad en general y, lo que es más importante, el crecimiento de las plantas incluso en condiciones de estrés hídrico y de temperatura (Shirani Bidabadi, 2018).

Los lixiviados se deben diluir al menos al 50% antes de aplicarlos ya que pueden causar problemas de toxicidad por el alto contenido de sales, así como inhibir la germinación y el crecimiento de las plantas, sin embargo, esta dilución disminuye la cantidad de nutrientes, por lo que debe complementarse con fertilizantes químicos para obtener un desarrollo óptimo de la planta (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008).

2.11.5 Aplicación foliar de humus de lombriz líquido

La aplicación foliar directa del humus de lombriz líquido proporciona nutrientes que pueden ser utilizados directamente por las plantas (García-Gómez *et al.*, 2008; Shirani Bidabadi, 2018).

Una de las principales ventajas de los líquidos derivados del vermicompost como fertilizante foliar es su homogeneidad en comparación a una aplicación directamente al suelo; los suelos con diferente textura muestran diferentes tasas de lixiviación y suelos con alta intensidad de lixiviación hacen que la eficiencia del fertilizante aplicado a la superficie del suelo disminuya y que los nutrientes para las plantas se pierdan (Mengel *et al.*, 2001).

El contenido de nutrientes que están presentes en los lixiviados es una de las ventajas de su uso como fertilizante líquido ya que es totalmente soluble, por lo tanto, cuando se aplica como fertilizante foliar, no obstruirá los pulverizadores en su aplicación, además de aportar ácidos húmicos y fúlvicos que tienen características químicas que estimulan el crecimiento de las plantas y facilitan la entrada de nutrientes en ellas (Han *et al.*, 2008). Cuando se aplica fertilizante foliar a la superficie de la hoja, los nutrientes penetran la cutícula y la pared de celulosa a través de una difusión limitada o libre, está comprobado que los iones pueden ser absorbidos por los estomas de las hojas (Quaik *et al.*, 2012; Shirani Bidabadi, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Características de la zona de estudio

El trabajo experimental se desarrolló en la parcela 14 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (Figura 2), ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, con coordenadas entre 19° 37' y 19° 45' de latitud Norte y entre los 99° 07' y 99° 14' de longitud Oeste, a una altitud de 2,274 msnm.

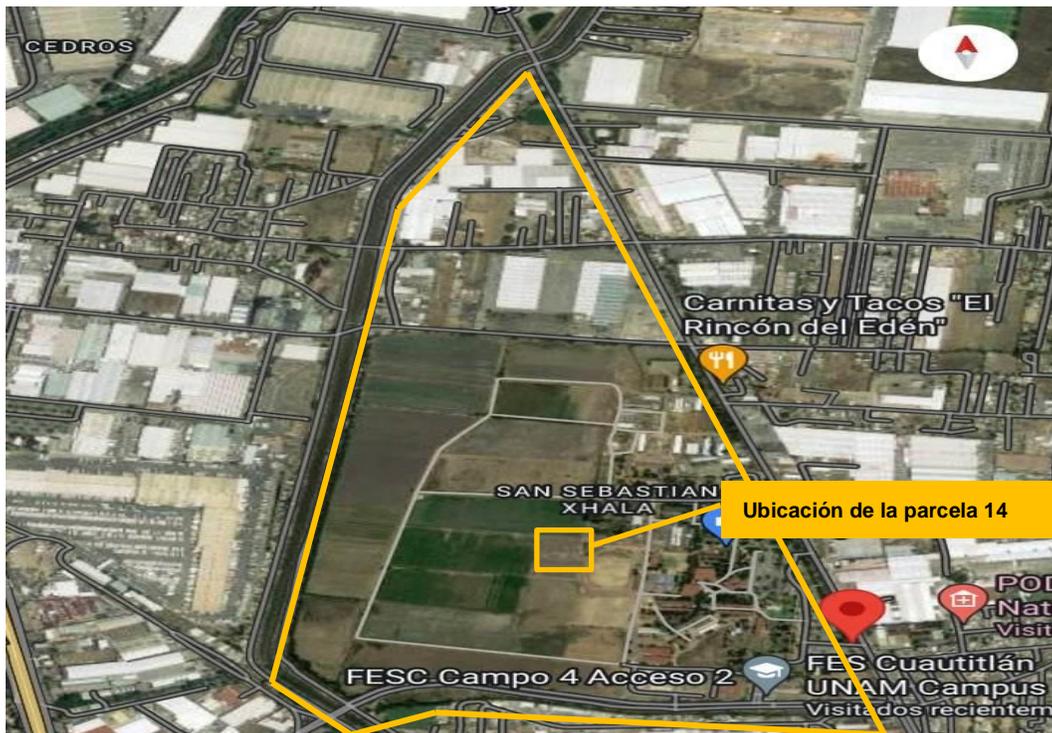


Figura 2. Ubicación de la FES Cuautitlán. Tomado de Google Earth.

El clima que se presenta en la FES Cuautitlán se clasifica como: C (Wo) (w) b (i), que corresponde al más seco de los templados subhúmedos (García, 2004), con un régimen de lluvias de verano a invierno, una precipitación media anual de 640 mm distribuidos principalmente en los meses de mayo a octubre y una temperatura media anual de 18°C. Conforme a datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional se utilizaron las Normales Climatológicas del período 1981-2010 para realizar gráfico de Climograma de la zona de estudio (Figura 3).

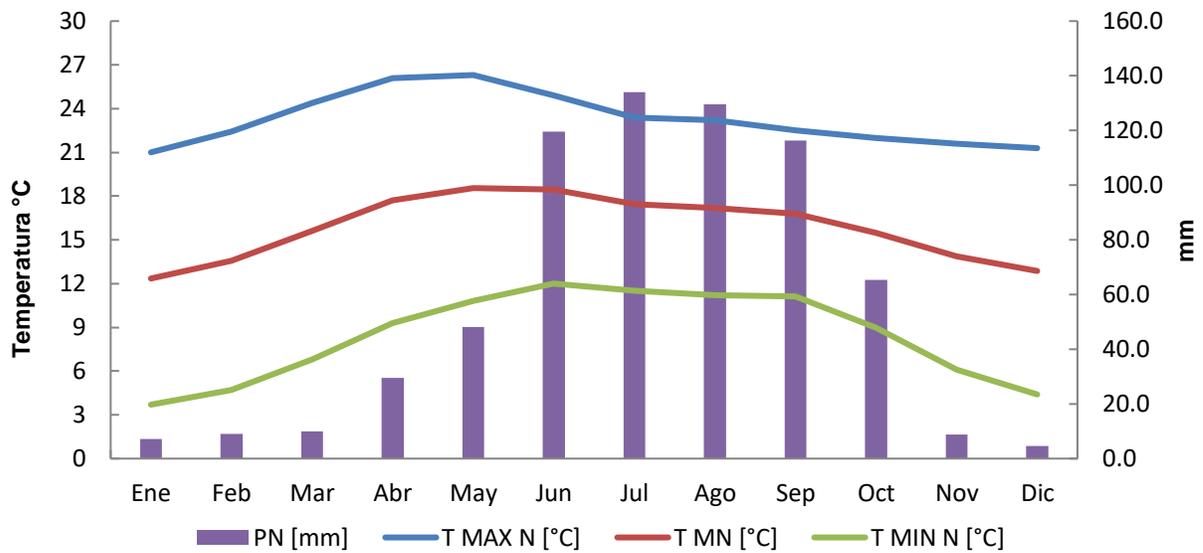


Figura 3. Climograma de FES Cuautitlán. Elaboración propia con datos de la estación meteorológica de la Facultad.

3.2 Material genético

Para el presente estudio se evaluaron cuatro híbridos de maíz forrajero (Tabla 3). De los cuales, los híbridos HM2012 (H1), HM2005 (H2) y SBA-102 (H4) fueron producidos en el estado de Guanajuato y el híbrido ST17W (H3) con origen en el estado de Puebla.

Tabla 3. Híbridos de maíz forrajero

Híbrido	Ciclo	Color
HM2012 (H1)	Corto	Blanco
HM2005 (H2)	Corto	Blanco
ST17W (H3)	Largo	Blanco
SBA-102 (H4)	Largo	Amarillo

3.3 Diseño experimental

La evaluación se realizó bajo un diseño factorial (2x4), donde el primer factor se presentó con dos niveles, la aplicación de lixiviado de lombriz (Lix) y sin aplicación (SLix); el segundo factor incluyó cuatro niveles que corresponden a los híbridos (H1, H2, H3 y H4). Las variables de respuesta fueron la altura, el número de hojas, el número de mazorcas, la longitud de mazorca y el rendimiento de forraje verde. El tamaño de la parcela por tratamiento fue de 443 m².

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y se aplicó la prueba de Tukey ($p= 0.05$) para determinar el efecto de los factores y sus interacciones. El software estadístico empleado fue Minitab 21.

En la Figura 4 se muestra el acomodo de los tratamientos y el orden de las aplicaciones foliares con lixiviado de lombriz.



Figura 4. Acomodo de los híbridos y tratamientos.

3.4 Establecimiento del experimento y manejo agronómico

El experimento se estableció el 16 de julio en el ciclo primavera-verano del 2021 y la cosecha se realizó el 15 de noviembre a los 122 días después de la siembra en los híbridos de ciclo corto y concluyó el 29 de noviembre a los 136 días después de la siembra con los híbridos de ciclo largo.

3.4.1 Preparación del terreno

El terreno se preparó dos semanas previas a la siembra. Inicialmente se realizó un subsoleo, seguido de tres pasos de rastra y un surcado a 80 cm. Se utilizó una densidad de población de 80,000 plantas ha⁻¹.

3.4.2 Control fitosanitario

El control fitosanitario se llevó a cabo el 17 de agosto del 2021. Para control de plagas y enfermedades se utilizó una mezcla de 200 mL del fungicida PrioriXtra (azoxistrobina + ciproconazol) y 100 mL del insecticida Denim (benzoato de emamectina). Para control de malezas de hoja ancha se utilizó Hierbamina (2-4D) a una dosis 1.5 L/ha. El control de malezas se complementó con el herbicida sistémico Harmony (tifensulfurón metil) a una dosis de 15 g/ha.

3.4.3 Fertilización

A partir de un análisis de suelos realizado en las parcelas de la FES Cuautitlán se recomendó aplicar 150 kg de urea y 150 kg de DAP, de esta recomendación se aplicó un 33.2% lo que resultó en 50 kg de urea y 50 kg de DAP al momento de la siembra. La fertilización fue complementada con aplicaciones foliares de lixiviado de lombriz con el aporte nutrimental mostrado en la Tabla 4.

La primera aplicación foliar se realizó el día 9 de agosto, seguida de otras cuatro aplicaciones de manera semanal. Se utilizó una dosis a 1:20 (v:v), lo que correspondió a 5

L de lixiviado de lombriz en 100 L de agua (Figura 5), haciendo uso de la pulverizadora (Figura 6).

Tabla 4. Resultados del análisis al lixiviado de humus de lombriz.

Determinación	Resultado	Unidad	Interpretación
Macronutrientos			
N	0.03	%	Bajo
P	0.01	%	Bajo
K	0.27	%	Medio
Ca	0.02	%	Medio
Mg	0.01	%	Bajo
Na	0.02	%	Bajo
S	0.01	%	Bajo
Micronutrientos			
Fe	24	ppm	Medio
Mn	2	ppm	Medio
Zn	1	ppm	Medio
B	3	ppm	Medio
Propiedades			
pH	9.5	-	Alto
Relación C/N	5.2	-	Medio
Salinidad (CE)	6.2	dS/m	Bajo

Nota. Elaboración propia con datos de laboratorios Fertilab.



Figura 5. Dosificación de lixiviado de lombriz.



Figura 6. Vista de aspersores para aplicación foliar de lixiviado de lombriz.

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Altura de planta

Se midieron todas las plantas en 1m² seleccionado al azar con respecto a cada híbrido y su tratamiento, seguido se realizó la medición con flexómetro (Figura 7) desde la base de la planta hasta el punto donde la panoja empieza a ramificarse, este valor se registró en centímetros cuando las plantas estaban en su etapa R3 y R4.

3.5.2 Número de hojas

Las mismas plantas utilizadas para altura de planta se usaron para contabilizar el número de hojas presentes en cada planta sin considerar las hojas senescentes.

3.5.3 Número de mazorcas

Se registró el número de mazorcas presentes en cada planta de las seleccionadas en el punto anterior.

3.5.4 Longitud de mazorcas

Se midió con ayuda del flexómetro las mazorcas utilizadas para el número de mazorcas, este valor se registró en centímetros.

3.5.5 Rendimiento forraje verde

En la determinación de rendimiento total en forraje verde para cada híbrido y su tratamiento correspondiente, se cosecharon las plantas en su estado lechoso a pastoso-uro con uso de ensiladora (Figura 9) y se pesaron respectivamente.

Se cosechó de la siguiente manera: con el paso de la ensiladora se enganchó un remolque en donde se cortó el tratamiento con fertilización de lixiviado de lombriz y junto con la ayuda de otro tractor con su propio remolque se fue recolectando la parte del tratamiento sin aplicar (Figura 7). Posteriormente para cada tratamiento se llevaron los remolques a la báscula que se encuentra en la Facultad y se registraron los rendimientos totales (Figura 8), este proceso se repitió para cada híbrido con su tratamiento. Se inició con el híbrido HM2012 (H1), seguido del híbrido HM2005 (H2), híbrido ST17W (H3) y por último el híbrido SBA102 (H4).



Figura 7. Momento de la cosecha de maíz.



Figura 8. Peso de plantas en báscula de la FES Cuautitlán.

3.6 Estaciones de crecimiento

Se realizó una comparación de estaciones de crecimiento de la zona de estudio para determinar una adecuada época de siembra. Las estaciones de crecimiento se obtuvieron con datos de la estación meteorológica ubicada dentro de la FES Cuautitlán del período 1987-2013. De igual manera, se utilizaron los datos para los años 2019, 2020 y 2021.

Para realizar las estaciones de crecimiento se utilizaron datos de precipitación (mm), temperatura (°C) y evapotranspiración potencial (ETP), los valores se calcularon a partir de las temperaturas medias mensuales mediante el método de Thornthwaite (1957).

3.7 Balance hídrico

Los balances hídricos se estimaron mediante el método de Thornthwaite (1957). Este método facilita monitorear el almacenamiento de agua en el suelo de acuerdo a los valores de entrada y salida y la variación del volumen almacenado en el suelo para un período de tiempo determinado, conocer el almacenamiento de agua en el suelo permite establecer adecuadas fechas de siembra.

Para el cálculo se tuvo en cuenta la precipitación (PP) como entrada, la evapotranspiración (ETP) como salida y se consideró una capacidad máxima de retención del suelo de 200 mm de agua (Santillán-Fernández *et al.*, 2020; Santillán *et al.*, 2013). Todos los datos climatológicos requeridos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada dentro de la FES Cuautitlán.

En relación con el cálculo de la ETP se utilizaron los datos de temperaturas medias mensuales y los totales de precipitación por mes. De igual modo, se calcularon los datos de índice de calor mensual y anual para la zona. Así, con los anteriores parámetros se calculó ETP (sin corregir), empleando la fórmula a continuación:

$$\text{ETP sin corregir} = 16 * ((10 * \text{Temp media mensual} / 85)^{1.872899})$$

Con respecto a la corrección de la ETP se utilizaron dos parámetros, los valores de horas sol de acuerdo a la latitud y el total de días al mes. Para obtener la ETP corregida se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{ETP} = \text{ETP sin corregir} * ((\text{Horas sol} * \text{Días del mes}) / 365)$$

Por último, para el cálculo de la evapotranspiración real (ETR) se consideró la reserva hídrica del suelo y la variación mensual de la reserva. Mediante esta estimación se determinaron las situaciones hídricas equilibradas, de deficiencias o de excesos de agua.

3.8 Grados-día de desarrollo

Los grados-día de desarrollo se determinaron a partir de la temperaturas registradas por la estación meteorológica de la FES Cuautitlán para el año 2021, dado que existe una relación lineal entre la temperatura y el crecimiento de un organismo, los grados-día representan la energía necesaria para alcanzar una determinada fase fenológica.

El efecto de la temperatura en el crecimiento del cultivo se calculó mediante la acumulación de calor, o bien, la suma de los grados-día del ciclo del cultivo. Los grados-día acumulados son la suma de los grados de cada día del ciclo que representa la

cantidad total de energía a la que la planta estuvo sometida y que requiere para lograr sus diferentes etapas fenológicas.

Para calcular los grados-día del cultivo de maíz se utilizaron las temperaturas mínima y máxima diarias y una temperatura base de 7°C (Arista-Cortes *et al.*, 2018), que es la temperatura mínima que necesita la planta para crecer. Se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Grados-Día Diario} = \text{GD} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - T_{base}$$

Los grados-día acumulados para una determinada fase fenológica, son la suma de todos los grados-día del período evaluado y se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Grados-Día Acumulado} = \text{GDA} = \sum \text{GD}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de planta

En el análisis de varianza para la variable altura de planta, existieron diferencias estadísticamente significativas entre los híbridos y entre la interacción tratamiento x híbrido ($p < 0.05$).

Al realizar la prueba de comparación de medias se encontró que el tratamiento H3 Lix presentó la mayor altura con 2.80 m, fue superior ($p \leq 0.05$) en un 19.6% al tratamiento H2 Lix, que presentó la menor altura promedio con 2.25 m, el resto de los tratamientos tuvieron una altura intermedia y fueron estadísticamente iguales a los anteriores (Figura 9).

El tratamiento H3 Lix presentó mayor altura que algunos materiales que han sido evaluados en la FES Cuautitlán, donde los híbridos H-49 AE, Tlaoli Puma y H-50 presentaron una altura de planta de 2.72 m, 2.71 m y 2.64 m respectivamente (Tadeo-Robledo *et al.*, 2018; Zaragoza-Esparza *et al.*, 2019, 2021). De igual forma, presentó mayor altura que el híbrido 238W con 2.51 m reportado en el estado de Chihuahua (Ruiz *et al.*, 2006).

Se han realizado aplicaciones foliares de extracto de humus de lombriz en maíz, superando estadísticamente en altura de planta al producto comercial Bayfolan, lo que indica que el fertilizante con lixiviado interviene favorablemente en la variable altura de planta (Casco e Iglesias, 2005). Se ha comprobado que en cultivos como la lechuga, stevia, fresa, pimiento y tomate el lixiviado de humus de lombriz ha incrementado la altura de las plantas (Bidabadi *et al.*, 2016; Fornaris, 2009; Martínez-Scott y Ruiz-Hernández, 2018; Singh *et al.*, 2010; Velasco *et al.*, 2016).

Estos resultados pueden atribuirse a que el lixiviado además de aportar nutrientes en forma iónica y disponibles para las plantas, está parcialmente compuesto por ácidos húmicos y otras sustancias biológicamente activas, las cuales actúan como reguladores

del crecimiento vegetal, favoreciendo un mayor crecimiento en las plantas (Luna-Ortega *et al.*, 2013; Rangel *et al.*, 2014; Zandonadi y Busato, 2012).

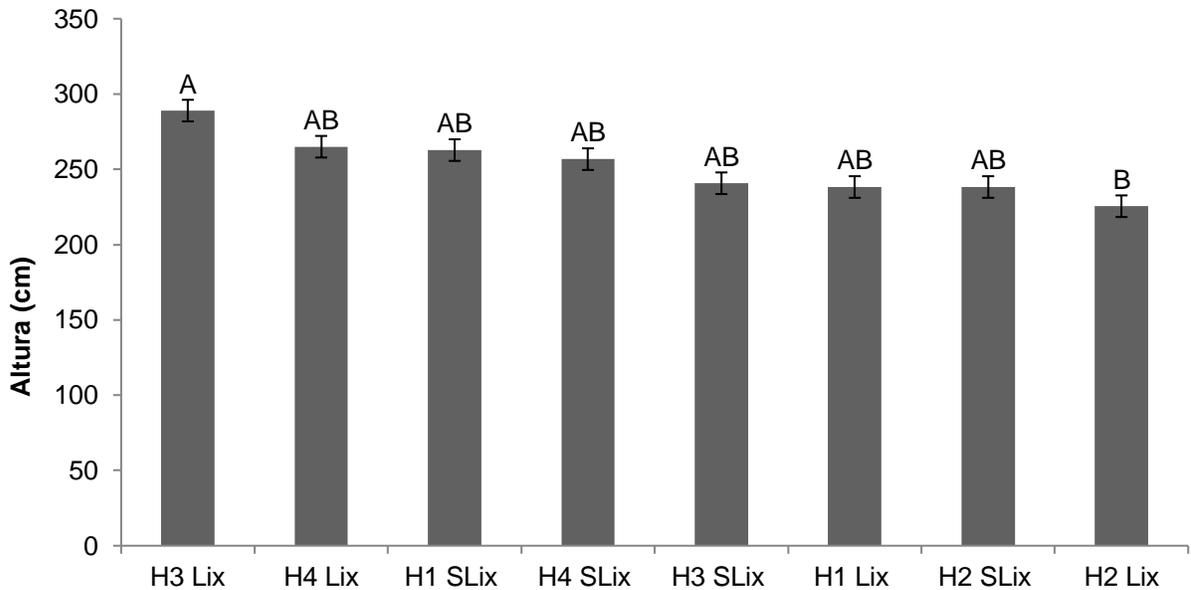


Figura 9. Altura promedio de los diferentes híbridos y sus respectivos tratamientos.

4.2 Número de hojas

De acuerdo al análisis de varianza no se encontraron diferencias estadísticas entre los híbridos y entre la interacción tratamiento x híbrido para esta variable (Figura 10). Sin embargo, numéricamente se puede observar que el tratamiento H3 Lix presentó mayor número de hojas con 13.25, fue superior en un 18.87% al tratamiento H4 Lix que tuvo el menor número de hojas con 10.75.

Los datos obtenidos en el presente estudio fueron menores a los mostrados por Ruíz (2010) quien comparó diferentes tratamientos de fertilización orgánica en maíz, donde la fertilización con vermicompost logró obtener los valores más altos en número de hojas (14.66), estos resultados fueron similares a los encontrados por Martín (2007) que evaluó el desarrollo y producción de diferentes híbridos de maíz, obtuvo un número de hojas promedio de 13.4 a 14.6 hojas por planta. Estos resultados pueden deberse al tipo de híbridos utilizados, los cuales son diferentes a los evaluados en este experimento.

Por otra parte se ha demostrado que en el cultivo de espinaca las aplicaciones foliares de lixiviado de lombriz han incrementado el número de hojas con respecto a su testigo (Cadena, 2014). De igual forma, en estudios con tomate y cucúrbitas se ha observado un incremento en el área foliar con la aplicación de ácidos húmicos derivados de lombricomposta (Atiyeh *et al.*, 2002). El aumento en el número de hojas se puede explicar también por el aporte de aminoácidos y sustancias reguladoras de crecimiento presentes en el lixiviado (Du Jardin, 2015).

Asimismo los compuestos húmicos contenidos en el lixiviado de lombriz aumentan el contenido de clorofila en las plantas a través de la estimulación de la absorción de elementos nutricionales como el nitrógeno (Chávez *et al.*, 2020). Igualmente, el lixiviado puede ser fácilmente asimilado por los estomas, lo que se traduce a una rápida absorción y asimilación de los nutrientes aplicados mediante aspersión foliar (Escobar, 2013).

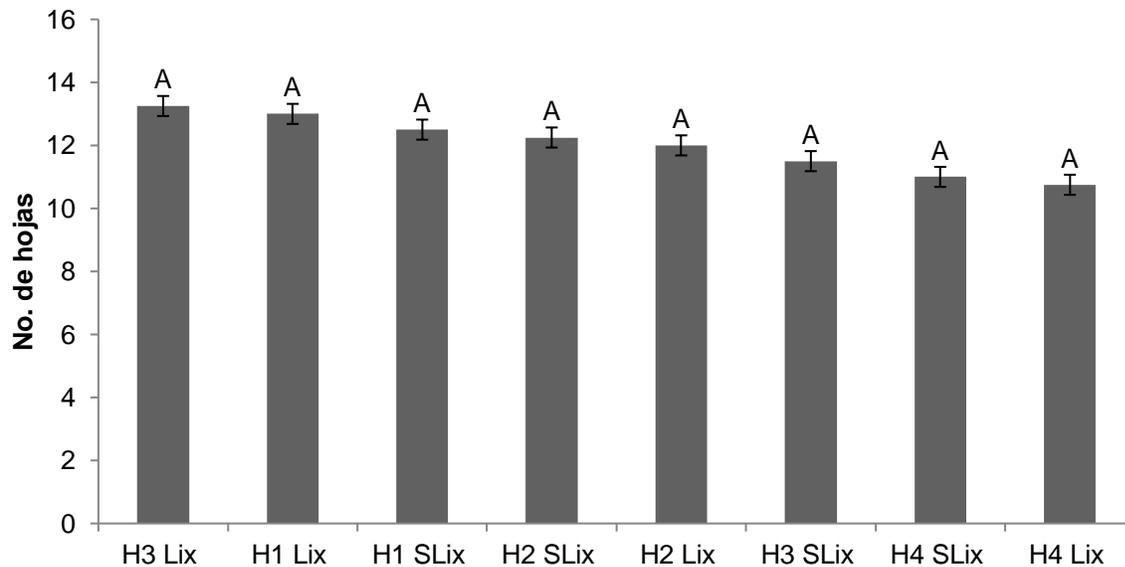


Figura 10. Número de hojas promedio de los diferentes híbridos y sus respectivos tratamientos.

4.3. Número de mazorcas

El análisis de varianza para la variable número de mazorcas, indicó diferencia estadística significativa entre los híbridos ($p < 0.05$). Para la interacción tratamiento x híbrido no se encontraron diferencias estadísticas.

Los híbridos H1, H2 y H3 presentaron los valores más altos con 2.35, 1.87 y 1.75 mazorcas por planta. El híbrido H1 fue superior en un 47% al híbrido H4 con el menor número de mazorcas con 1.25 (Figura 11).

Los datos obtenidos para el híbrido H1 fueron mayores a los mostrados por Rivas-Jacobo *et al.*, (2018) quienes evaluaron diferentes híbridos de maíz forrajero en la zona de Valles Altos, siendo el mejor híbrido con 1.72 mazorcas por planta; estos resultados fueron similares a los obtenidos por los híbridos H2 y H3. En el presente trabajo el híbrido H1 obtuvo valores similares a los encontrados por Rojas (2006) para el híbrido H-48 en el estado de Tlaxcala, que presentó 2.3 mazorcas por planta; no obstante se han reportado de 1.0 y 1.1 mazorcas por planta en el estado de Oaxaca (Sánchez-Hernández *et al.*, 2013).

En un estudio realizado en Cuba donde se evaluó el efecto de la aplicación foliar de diferentes diluciones de lixiviado de lombriz, se encontró que a una dilución de 1:60 (v:v) se obtuvieron valores superiores a 2.5 mazorcas por planta (Alvarez *et al.*, 2020).

Los datos obtenidos muestran que los híbridos H1, H2 y H3 pueden ser considerados en mayor grado para programas de producción, al respecto hay reportes que sugieren que maíces forrajeros con mayor número de mazorcas por planta suministran mayor energía si son utilizados en alimentación animal (Cabrales *et al.*, 2007). Un mayor número de mazorcas es una cualidad de alta consideración para la selección de maíces forrajeros, ya que la selección de materiales con alta proporción de mazorcas podría favorecer una mayor calidad forrajera (Bertoia, 2006; Peña *et al.*, 2002).

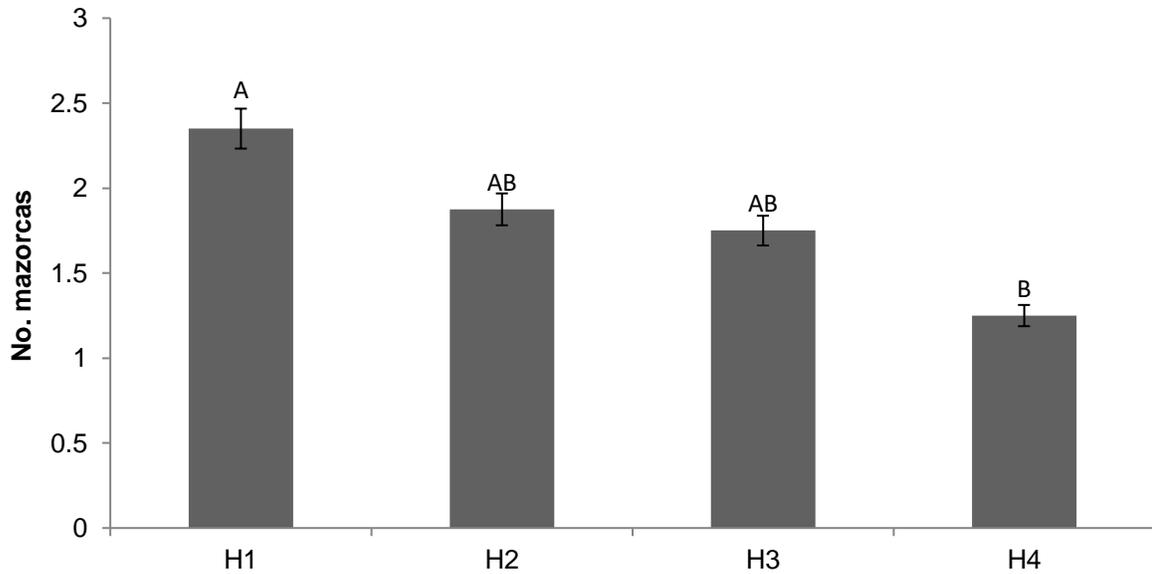


Figura 11. Promedio de número de mazorcas por híbrido.

4.4 Longitud de mazorca

El análisis de varianza para la variable longitud de mazorca, indicó diferencia estadística significativa entre los híbridos ($p < 0.05$). Por otra parte, para la interacción tratamiento x híbrido no se encontraron diferencias estadísticas.

Los valores máximos de longitud de mazorca correspondieron a los híbridos H3 y H4 con 20.58 cm y 19.68 cm respectivamente, el híbrido H3 fue superior en 20.8% al híbrido H4 con la menor longitud de mazorca con 16.3 cm (Figura 12).

Los datos obtenidos por H3 y H4 fueron superiores a los mostrados por Rivas-Jacobo *et al.* (2018) quienes mencionan en su investigación la longitud de mazorca varió de 17.97 cm y 14.74 cm en la zona de Valles Altos. De igual forma, para esta variable se han reportado longitudes de mazorca que variaron de 15.9 cm y 12.3 cm en la evaluación de 90 materiales de maíces híbridos y criollos en el estado de Jalisco (Martín, 2007), se argumenta que la longitud cambia dependiendo del genotipo utilizado (Keskin *et al.*, 2005).

En un estudio realizado por otros autores donde se estudió el efecto del lixiviado de lombriz en plantas de maíz, se reportaron valores similares a los obtenidos por H3 y H4 con longitudes de mazorca que variaron de 21.78 cm y 19.62 cm, estos resultados pueden deberse a que las sustancias húmicas favorecen la producción de biomasa (Alvarez *et al.*, 2020; Martínez *et al.*, 2012).

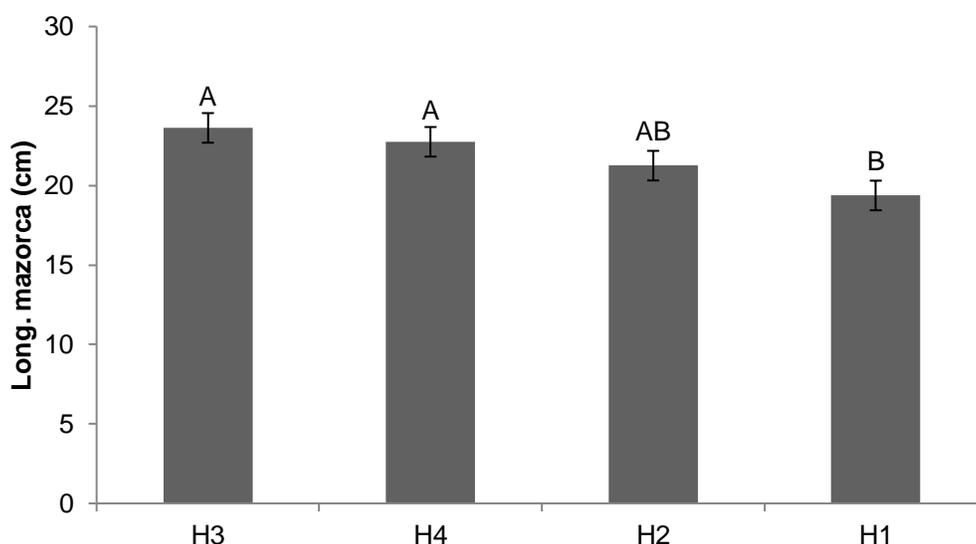


Figura 12. Promedio de longitud de mazorcas por híbrido.

4.5 Rendimiento de forraje verde

En el análisis de varianza para rendimiento de forraje verde, existieron diferencias estadísticamente significativas entre los híbridos y entre la interacción tratamiento x híbrido ($p < 0.05$).

Al realizar la prueba de comparación de medias se encontró que H1 Lix fue el mejor tratamiento con 64.1 t ha^{-1} con respecto a los demás. Seguido de los tratamientos H4 Lix y H3 Lix que presentaron un rendimiento de materia verde con 58.1 t ha^{-1} y 56.1 t ha^{-1} respectivamente. El tratamiento H1 Lix fue superior ($p \leq 0.05$) en un 32.6% al tratamiento H2 Lix con 43.2 t ha^{-1} , el resto de los tratamientos tuvieron una rendimiento intermedio y fueron estadísticamente distintos entre sí (Figura 13).

El rendimiento total en materia verde para los tratamientos H1 Lix y H4 Lix fueron menores que los híbridos Tlaoli Puma y H-49 AE evaluados en la FES Cuautitlán, donde se reportó un rendimiento de forraje verde de 78.9 t ha⁻¹ y 74.6 t ha⁻¹ respectivamente (Zaragoza-Esparza *et al.*, 2021). Sin embargo, los resultados fueron similares a un estudio en el que se evaluó la aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero, donde se demostró que el mayor rendimiento de forraje verde fue de 64 t ha⁻¹ con la aplicación de vermicompost (Fortis-Hernández *et al.*, 2009).

Por su parte García-Gómez *et al.* (2008), mencionaron que el lixiviado de lombriz puede usarse como un fertilizante para el cultivo de maíz cuando se diluye al 50% y se mezcla con 160-170 g L⁻¹ de fertilizante triple 17 NPK, se encontró que el lixiviado estimula el crecimiento de las plantas cuando es diluido en conjunto de una fertilización inorgánica con NPK para un máximo desarrollo.

El rendimiento de los tratamientos H1 Lix, H4 Lix y H3 Lix no se puede atribuir por completo al contenido nutricional del lixiviado, el cual es deficiente y no aporta las cantidades suficientes para un crecimiento y productividad óptima; en cambio, su naturaleza bioestimulante al parecer propicia que las plantas tengan mayor capacidad de asimilación de nutrientes presentes en el suelo, así como también estimulan la elongación y diferenciación celular, lo cual se expresa como mayor desarrollo vegetativo (Cedeño *et al.*, 2020).

De acuerdo a Tucuch-Cauich *et al.* (2011), existe una alta correlación positiva entre rendimiento de forraje verde, altura de planta y proporción de mazorca; lo que indica que la altura de planta y número de mazorcas pueden servir como indicadores de la potencialidad genética del rendimiento de forraje verde, es decir, son las variables más importantes en la selección de maíces forrajeros.

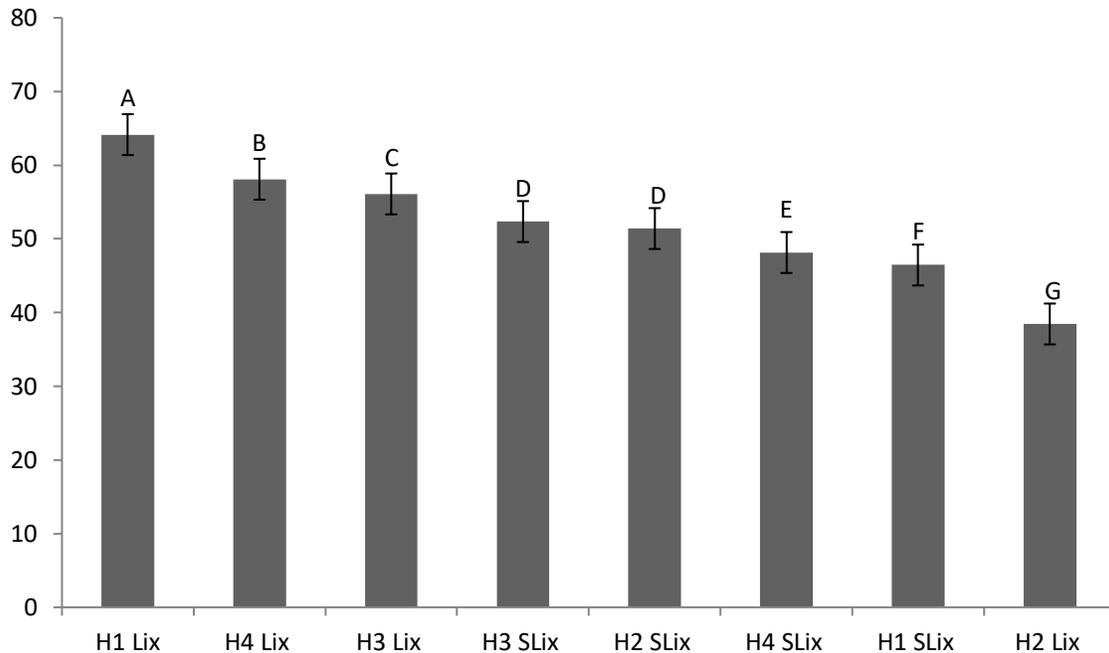


Figura 13. Promedio de rendimiento en materia verde.

4.6 Estación de crecimiento

Los datos de precipitación y ETP obtenidos por la estación meteorológica indican que para todos los casos se trata de una estación de crecimiento de comportamiento normal, esto es debido a la presencia de un periodo húmedo en la zona.

En la Figura 14, para la estación de crecimiento con datos normales se muestra que el IPC comienza desde la primera semana de mayo y el FPC concluye a mediados del mes de octubre, en un período aproximado de 152 días. Así mismo, dentro de la estación de crecimiento se presenta un período con exceso de humedad, o bien, el IPH comenzando en el mes de junio en un período aproximado de 116 días, finalizando el FPH a principios del mes de septiembre.

En comparación, lo que corresponde a datos del año 2019 (Figura 14) se puede observar que el IPC comienza desde la última semana de mayo y el FPC se presenta a mediados del mes de octubre, en un período de 144 días. En este año a diferencia de los

posteriores, el período húmedo dura un tiempo muy corto, el IPH comienza a mediados del mes de junio y el FPH concluye a mediados del mes de julio, obteniendo un período aproximado de 30 días, con una diferencia de 86 días con respecto a los datos normales. De igual forma, la estación de crecimiento indica que una vez terminado el período húmedo se tuvo una disminución considerable de la precipitación al final del mes de julio y en los primeros días del mes de agosto.

Para la estación de crecimiento con datos correspondientes al 2020 (Figura 14) el IPC comienza desde la primera semana de junio, aproximadamente un mes después a la estación de crecimiento normal y el FPC se presenta en la tercera semana de septiembre, en un período aproximado de 113 días. El IPH comienza en la tercera semana de junio y el FPH a mediados del mes de septiembre, en un período aproximado de 90 días, con una diferencia de 26 días con respecto a los datos normales.

En el año 2021 (Figura 14) se puede notar que el IPC comienza desde la última semana del mes de marzo y el FPC se presenta en la última semana del mes de septiembre, en un período aproximado de 155 días. Es importante mencionar que para la primera semana del mes de mayo se dejaron de tener condiciones para un período de crecimiento óptimo, teniendo que la ETP 0.5 fue mayor que la precipitación, por lo que estos días de sequía no fueron tomados a consideración.

El IPH comienza a mediados del mes de mayo y el FPH concluye en la tercera semana del mes de septiembre, en un período aproximado de 107 días. De igual forma, la estación de crecimiento indica que en el período húmedo se presenta una importante disminución de la precipitación al final del mes de julio y en los primeros días del mes de agosto.

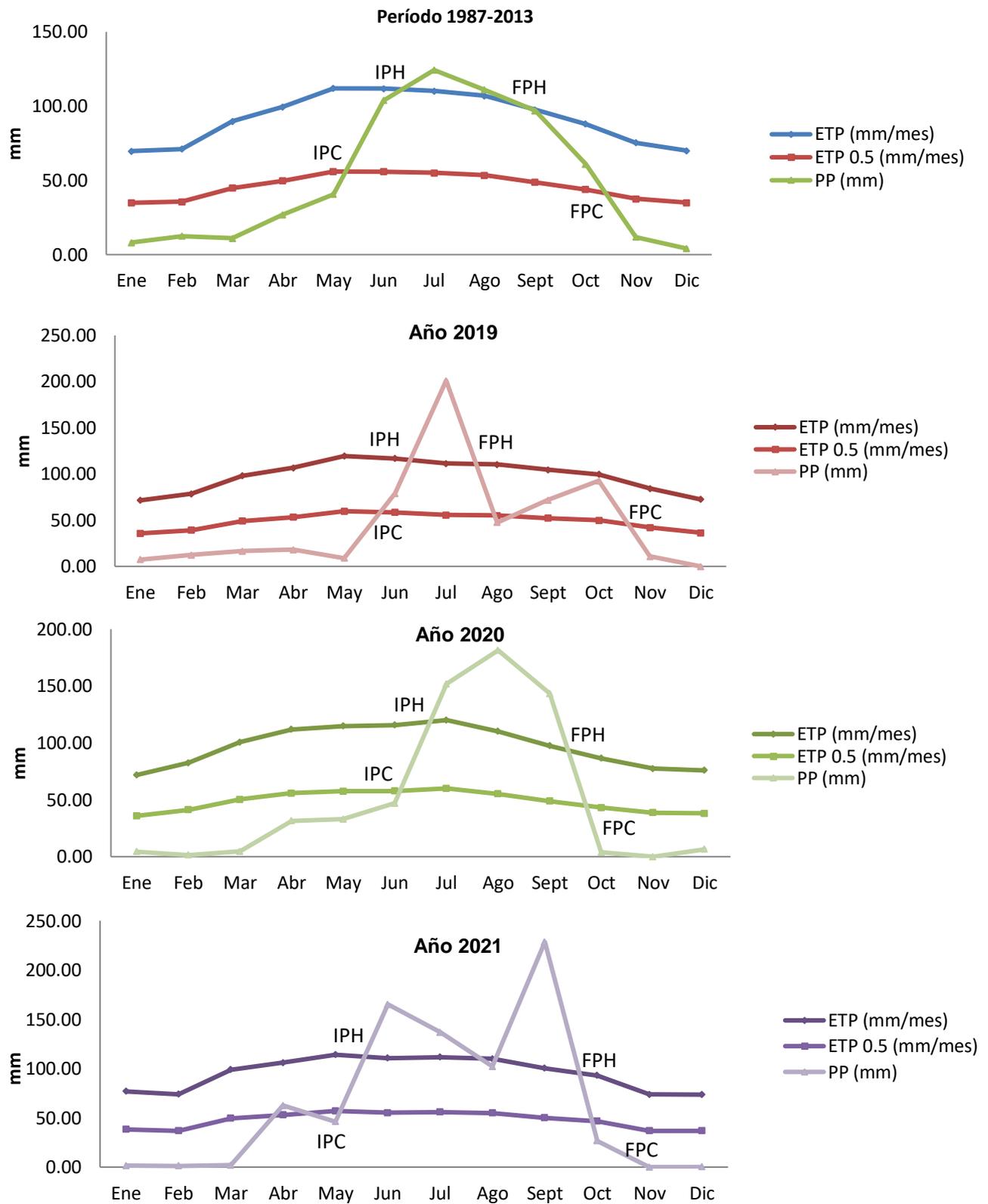


Figura 14. Comparación de las estaciones de crecimiento de la FES Cuautitlán.

4.7 Balance hídrico

Los balances hídricos se calcularon con las normales climatológicas de la FES Cuautitlán período 1987-2013 y para los años 2019, 2020 y 2021.

Para todos los casos se afirma que no existen excesos de humedad (Ex) y por lo tanto tampoco escurrimientos (Esc), lo que significa que prevalece un déficit (Def) de agua en el suelo para la mayor parte del año.

En la Figura 15 se muestra el balance hídrico normal, en éste se puede observar que los meses con mayor déficit hídrico van desde enero a junio y de octubre a diciembre. Siendo únicamente los meses de julio a septiembre donde la precipitación fue mayor a la ETP, lo que representa una recarga de la reserva de agua en el suelo. Sin embargo, la precipitación no sobrepasó la capacidad máxima de retención del suelo, por lo tanto, la reserva no se recupera.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el mayor déficit se presenta en los primeros meses del año, siendo así que las labores de siembra puedan comenzar en la primera semana de junio para aprovechar al máximo la precipitación en las primeras etapas del cultivo.

El balance hídrico secuencial correspondiente para el año 2019 (Figura 15), se pueden visualizar diferencias del balance hídrico normal, principalmente en los déficits que se presentaron a lo largo del año, así como en la precipitación. El déficit se presenta de enero a junio, por consiguiente el mes de julio presentó el pico con mayor precipitación del año, a pesar de ello no se superó la capacidad máxima de retención y por ende no se generó una reserva de humedad en el suelo. Para el mes de agosto se presentó un declive significativo en las precipitaciones, por lo que se produjo otro déficit que se prolongó hasta el mes de septiembre, volviendo a presentar lluvia para el mes de octubre aunque no se superó la ETP.

Estos cambios en las precipitaciones son muy importantes de tener en cuenta en el manejo agronómico ya que el maíz se maneja de temporal y de acuerdo a las fechas

afecta principalmente en las etapas reproductivas del maíz donde se presenta sensibilidad al déficit hídrico.

Para el balance hídrico secuencial que corresponde al año 2020 (Figura 15), se tiene un comportamiento similar al balance hídrico normal, no obstante, el período húmedo es más corto, prevaleciendo los meses de déficit la mayor parte del año. El déficit se manifiesta de enero a junio y de octubre a diciembre.

Esto indica que las fechas para las labores en el manejo de maíz, esencialmente en la siembra deben adecuarse a las condiciones de humedad en las parcelas de la FES Cuautitlán, debido a que el período húmedo está comenzando en el mes de julio y no en el mes de mayo como lo indica el balance hídrico normal.

Finalmente, el balance hídrico secuencial correspondiente al año 2021 (Figura 15), el gráfico muestra una similitud en cuanto a los déficits y precipitaciones al balance hídrico del año 2019. Sin embargo, en el año 2021 el período húmedo fue más largo y de los balances hídricos secuenciales el año que recibió más lluvia con 772 mm. Para el mes de agosto se presentó un declive en la precipitación aunque no tan significativo como en el año 2019.

A pesar de la cantidad de lluvia recibida en la zona, no se superó la capacidad máxima de retención por tanto, no se generó una reserva de humedad en el suelo. En consecuencia, el déficit fue menor para este año y se presentó en los mismos meses.

Conforme a lo anterior se puede advertir las diferencias que existen entre el balance normal y secuencial, dado que con valores normales no se considera la variabilidad interanual de ETP y precipitación, por lo tanto, la ocurrencia de eventuales déficits o excesos no pueden ser totalmente identificados por un balance hídrico normal (Lozada y Sentelhas, 2003; Pascale y Damario, 1983).

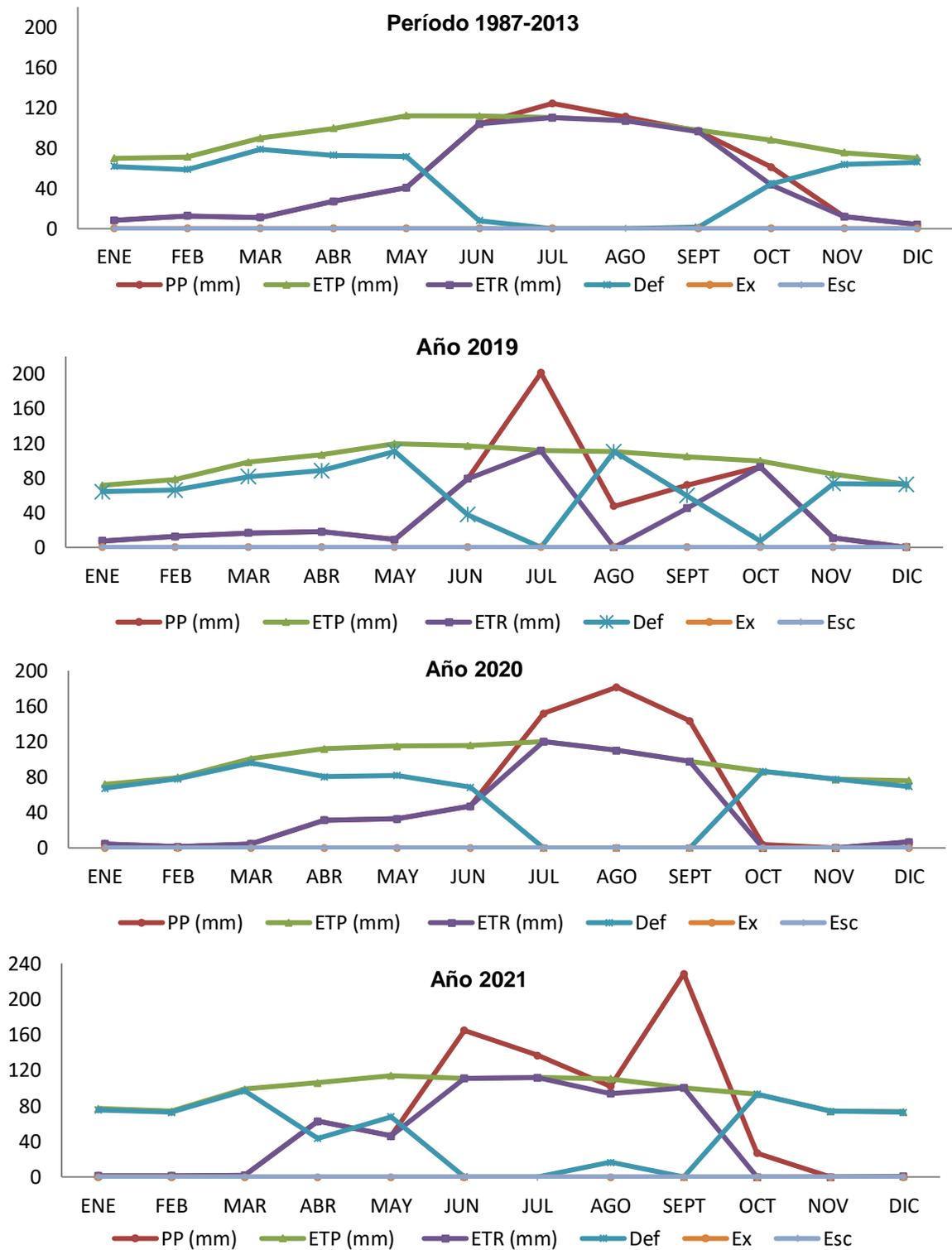


Figura 15. Comparación de gráficos de balances hídricos de la FES Cuautitlán.

En la Figura 16 al comparar los mm de los datos normales con el año 2021 se puede observar que existe una desigualdad de más de 100 mm en cuanto a la precipitación y el déficit hídrico. Respecto a los balances hídricos secuenciales se percibe una diferencia entre los años, igualmente entre las precipitaciones y las deficiencias hídricas, concorde a Lozada y Sentelhas, 2003 estimar los balances hídricos anuales permite un monitoreo en tiempo real de las condiciones hídricas del suelo para cada ciclo del cultivo.

Esta información es de utilidad al momento de determinar las mejores épocas de siembra y la planificación de labores culturales así como los mejores períodos para hacer uso de la maquinaria. Realizar una comparación de las condiciones hídricas interanuales facilita el definir los períodos secos y húmedos a lo largo del año y con esto conocer la disponibilidad de agua en el suelo que tiene el cultivo de maíz en sus distintas etapas fenológicas.

Es por lo anterior que un período de fecha de siembra óptimo para maíz forrajero en la FES Cuautitlán podría establecerse desde la última semana de junio y la primera semana de julio para híbridos de ciclo corto, puesto que tanto los balances hídricos como las estaciones de crecimiento demuestran que el período de tiempo óptimo para el desarrollo y crecimiento de maíz se está presentando en los meses de junio a septiembre.

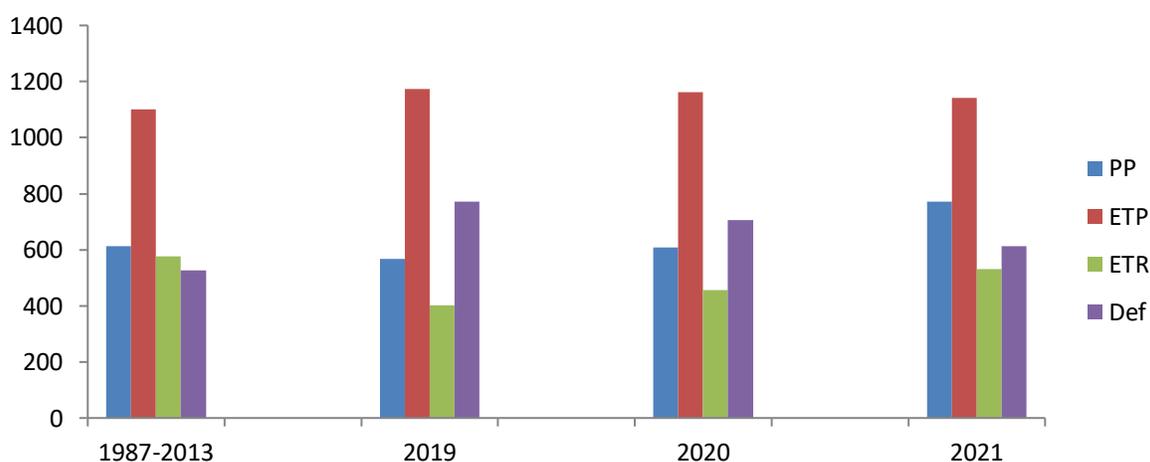


Figura 16. Comparación en mm de precipitaciones, ETP, ETR y deficiencias hídricas.

4.8 Grados-día de desarrollo

En la Tabla 5 se describen las etapas fenológicas del maíz y las fechas durante el ciclo cuando ocurrieron, se muestra también los grados-día por evento y los grados-día acumulados necesarios para alcanzar cada etapa fenológica. El maíz forrajero en la FES Cuautitlán tiene un requerimiento de madurez de 1,078.6 días grado a los 122 días de siembra para los híbridos H1 y H2 de ciclo corto y de 1,168.4 días grado a los 136 días de siembra para los híbridos H3 y H4 de ciclo largo.

Los resultados obtenidos para los híbridos evaluados son similares a los encontrados por Tadeo-Robledo *et al.* (2018), quienes evaluaron a los híbridos H-50 y H-52 en la FES Cuautitlán, encontraron que requieren entre 1,028 y menos de 1,104 unidades calor acumuladas a los 145 días de siembra para alcanzar la madurez fisiológica.

De acuerdo con Arista-Cortes *et al.*, 2018 el conocer los grados-día de desarrollo es de vital importancia en vista de que las variaciones de temperatura pueden modificar la longitud del período de emergencia-antesis o antesis-llenado de grano, así como desincronizar la floración y afectar la viabilidad del polen durante la polinización. La temperatura es el elemento que mayor importancia tiene sobre la tasa de crecimiento y el desarrollo del cultivo (Hoyos *et al.*, 2012).

De igual forma, Kukal e Irmak, (2018) afirman que la fisiología de los cultivos durante la temporada de crecimiento se debe primordialmente a los grados-día acumulados. Con el conocimiento de la cantidad de grados-día acumulados en maíz para la FES Cuautitlán, se pueden utilizar como antecedente para predecir el crecimiento y el desarrollo del maíz, la duración de las etapas fenológicas, así como ajustar fechas de siembra y cosecha.

El conocimiento de la duración exacta de las fases de desarrollo y su interacción con los factores ambientales, es esencial para alcanzar los máximos rendimientos en el cultivo de maíz, ya que se determinan factores como la absorción de nutrientes y el llenado de grano que inciden directamente sobre la productividad del cultivo (Hoyos *et al.*, 2012).

Tabla 5. Etapas fenológicas, grados-día y grados-día acumulados con una temperatura base de 7°C para el cultivo de maíz en la FES Cuautitlán.

Etapa fenológica	Fecha	Grados-día	Grados-día acumulados	Duración de etapa por día
VE	21/07/2021			5
V4	13/07/2021	10.35	215.95	28
V8	07/09/2021	10.5	483.55	53
V10	20/09/2021	11.9	623.6	66
VT	09/09/2021	9.3	502.5	55
R0	11/09/2021	8.35	520.7	57
R1	13/09/2021	11.05	542.4	59
R2	25/09/2021	9.3	669.1	71
R3	04/10/2021	10.75	762.25	80
R4	14/10/2021	10	859	92
R5	26/10/2021	8.25	962.8	102
R6	05/11/2021	4.6	1,025.15	114
Cosecha	15/11/2021	4	1,078.6	122
	29/11/2021	9.4	1,168.4	136

V. CONCLUSIONES

Los tratamientos H1 Lix, H4 Lix y H3 Lix presentaron características productivas más favorables, siendo la aplicación foliar de lixiviado de lombriz una alternativa viable para implementar en el manejo agronómico de la producción de maíz forrajero en la FES Cuautitlán, ya que presentaron los mayores valores de rendimiento de forraje verde con 64.1 t ha^{-1} , 58.1 t ha^{-1} y 56.1 t ha^{-1} respectivamente.

La fertilización química en complemento de aplicaciones foliares de lixiviado de lombriz incrementó los valores de altura de planta, número de hojas y rendimiento de forraje verde en los híbridos de maíz forrajero, debido a que el lixiviado es un bioestimulante que actúa como un potenciador para el desarrollo y crecimiento del cultivo. Por otra parte, ayuda a disminuir el impacto negativo que generan las altas cantidades de fertilizantes sintéticos al suelo, además de ser más económico y ecológicamente viable.

En investigaciones futuras se podría incrementar y comparar diferentes dosis de lixiviado de humus de lombriz para impulsar las variables de respuesta. A su vez, realizar las aplicaciones foliares a partir de la etapa fenológica V1 del maíz y evaluar si se obtienen mejores rendimientos y desarrollo del cultivo.

Referente al período óptimo de fecha de siembra se afirma que la estación de crecimiento tiene un comportamiento normal para la FES Cuautitlán, lo que indica un período de crecimiento óptimo para el desarrollo del cultivo de maíz, incluido de un período húmedo. Además, es importante resaltar que el inicio del período de crecimiento se ha recorrido en los últimos años para los meses de junio a septiembre. Dicho lo anterior, se reitera que el período óptimo para fecha de siembra de la zona podría ser entre la última semana del mes de junio a la primera semana del mes de julio para híbridos de ciclo corto.

Es importante seguir realizando estaciones de crecimiento interanuales puesto que existen diferencias con los datos de las Normales Climatológicas de hasta con 39 días menos para el período de crecimiento y de hasta 86 días menos en los periodos húmedos donde la precipitación supera la ETP. Al tener estas diferencias en los periodos de crecimiento muestra que las fechas de siembra deben adecuarse a estos cambios ya que

el inicio temporal se está presentando en el mes de julio lo que difiere con la estación de crecimiento normal. Es por lo anterior, que híbridos de ciclo corto como el híbrido H1, se adaptan adecuadamente a las condiciones de la FES Cuautitlán.

El balance hídrico concuerda con las estaciones de crecimiento en cuanto a la fecha de siembra, dado que el periodo húmedo está comenzando en el mes de julio, las labores culturales como la preparación del suelo pueden realizarse desde principios del mes de junio para aprovechar al máximo el período de lluvias de julio a septiembre, en las primeras etapas fenológicas del maíz.

Las comparaciones de los balances hídricos al igual que las estaciones de crecimiento con los datos de las Normales Climatológicas difieren de los balances hídricos interanuales puesto que existe una diferencia de hasta 100 mm menos en cuanto a la precipitación y el déficit de humedad en el suelo. Tener a consideración estas diferencias resulta importante a la hora de monitorear el desarrollo del cultivo y de determinar los momentos adecuados para el uso de maquinaria ya sea para siembra o posteriores labores culturales en el maíz.

Para ayudar a determinar adecuadas fechas de siembra de maíz forrajero en la FES Cuautitlán se calcularon los grados-día de desarrollo, lo que definió que híbridos de ciclo corto como H1 tienen un requerimiento de madurez de 1,078.6 grados-día acumulado. Esta información puede funcionar como antecedente para futuras plantaciones de maíz forrajero y predecir el crecimiento, así como la duración de sus etapas fenológicas.

VI. LITERATURA CITADA

- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 1–9.
- Aleman-Ramirez, J. L., Pérez-Sariñana, B. Y., Torres-Arellano, S., Saldaña-Trinidad, S., Longoria, A., y Sebastian, P. J. (2020). Bioethanol production from Ataulfo mango supplemented with vermicompost leachate. *Catalysis Today*, 353(July 2019), 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2019.07.028>
- Almaguer, J. L., y Díaz, D. M. (2012). Evaluación del residuo sólido del humus de lombriz lixiviado en condiciones de maceta utilizando maíz (*Zea mays*) como planta indicadora. *Facultad Agropecuaria de Montaña Escambray*, 1–11.
- Alvarez, J., Martínez, D., y Guridi, F. (2020). Efecto de un extracto húmico en indicadores productivos en *Zea mays* L. *Revista Amazónica*, 9(2), 19–28.
- Arista-Cortes, J., Quevedo-Nolasco, A., Zamora-Morales, B. P., Bauer-Mengelberg, R., Sonder, K., y 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. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1507>
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., y Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7–14. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00017-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00017-2)
- Ávalos de la Cruz, M. A., Figueroa Viramontes, U., García Hernández, J. L., Vázquez Vázquez, C., Gallegos Robles, M. A., y Orona-Castillo, I. (2018). Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova Scientia*, 10(20), 170–189. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1285>
- Bertoia, L. (2006). Algunos conceptos sobre el cultivo de maíz para ensilaje. *Cátedra de*

Cerealicultura y Manejo de Pasturas, 1–7.

Bidabadi, S. S., Afazel, M., y Poodeh, S. D. (2016). The effect of vermicompost leachate on morphological, physiological and biochemical indices of *Stevia rebaudiana* Bertoni in a soilless culture system. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(3), 251–262. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0135-5>

Bonilla, N. (2009). Manual de recomendaciones técnicas: cultivo de maíz (*Zea mays*). *Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)* (p. 68). <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xisyB1=Buscaryformato=1ycantidad=50yexpresion=ZEA>

Bustamante, L. (2016). *La Lombricultura como alternativa en la producción agrícola utilizando la lombriz roja californiana*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cabrales, R., Montoya, R., y Rivera, J. (2007). Evaluación agronómica de 25 genotipos de maíz (*Zea mays*) con fines forrajeros en el valle del sinú medio. *Revista MVZ Córdoba*, 12(2), 1054–1060. <https://doi.org/10.21897/rmvz.427>

Cadena, L. M. O. (2014). *Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de lixiviado de humus de lombriz y dos formas de aplicación en el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) bajo ambiente protegido*. Universidad Mayor de San Andrés.

Carbajal, S. L. F. (2018). *Productividad de grano, rastrojo y forraje de híbridos de maíz, de la UNAM e INIFAP, en dos densidades de población*. Tesis de Licenciatura [Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM]. <http://132.248.9.195/ptd2018/marzo/0772036/Index.html>

Casco, C. A., y Iglesias, M. C. (2005). *Producción de biofertilizantes líquidos a base de lombricompost* (p. 4). Universidad Nacional del Nordeste.

Cedeño, C., Torres, A., y Ardisana, E. (2020). Respuestas de crecimiento, contenido de

clorofila y rendimiento a la aplicación de lixiviado de vermicompost de estiércol bovino en el pimiento (*Capsicum annum* L. híbrido Quetzal). *Revista de Las Agrociencias*, 11–20.

Chávez, G. L. A. (2019). *Calidad de forraje y rastrojo de los híbridos Tsíri Puma, H 47 AE y H 53 AE, bajo dos densidades de población*. Tesis de Licenciatura. [Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM]. <http://132.248.9.195/ptd2019/febrero/0785544/Index.html>

Chávez, J., Torres, C., Espinosa, E., Diego, Z., Villafuerte, A., Zambrano, F., y Velázquez, J. (2020). Efectos de la cepa nativa de *Trichoderma* sp. y lixiviado de vermicompost bovino sobre el crecimiento foliar y contenido de clorofila en arroz (*Oryza sativa* L.) en fase de semillero. *ECUADOR ES CALIDAD: Revista Científica Ecuatoriana*, 7, 23–31.

Demagnet, F. R., y Canales, C. C. (2020). *Cultivo del maíz para ensilaje* (Watt's S.A).

Deras, H. (2012). Guía técnica, El cultivo de maíz. *Guía Técnica, El Cultivo Del Maiz* (Vol. 1). <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

Elizondo, J., y Boschini, C. (2001). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), 181–187. <https://doi.org/10.15517/am.v12i2.17231>

Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., DeBruin, J., Clausen, C., y Carter, P. (2015). Maíz. Crecimiento y desarrollo. *DuPont Pioneer*, 1–20.

Escobar, A. (2013). Usos potenciales del humus (abono orgánico lixiviado y sólido) en la empresa Fertilombriz. *Redes de Ingeniería*, 4, 3.

<https://doi.org/10.14483/2248762x.6360>

Fassio, A., Ibañez, W., Fernández, E., Cozzolino, D., Pérez, O., Restaino, E., Pascal, A., Rabaza, C., y Vergara, G. (2018). *El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua*. INIA.

Fernández, P. G. (2017). *Rendimiento y calidad de forraje en híbridos de maíz con diferentes fechas de corte, en el Estado de México*. Tesis de Licenciatura. [Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM]. <http://132.248.9.195/ptd2017/julio/0761290/Index.html>

Fornaris, S. A. (2009). Influencia de dosis creciente de lixiviado de abonos mixtos microbianos y lixiviado humus de lombriz sobre algunas variables morfoagronómicas en el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Ciencia En Su PC*, 2, 100–114.

Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Castillo, I. O., García-Salazar, J. A., García-Hernández, J. L., y Orozco-Vidal, J. A. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *SciELO*, 329–336.

Gabriel, P., Loza-Murguía, M., Mamani, F., y Sainz, H. (2011). Effect of the californian red worm (*Eisenia foetida*) during the composteo and vermicomposteo in properties of the Experimental Station of the Academic Rural Unit Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research*, 2(2), 24–39.

García-Gómez, R. C., Luc, D., y Gutiérrez-Miceli, F. A. (2008). Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(4), 360–367. <https://doi.org/10.3923/ajps.2008.360.367>

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de la clasificación climática de Köppen. *Patología general veterinaria*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1xxv3n.2>

- García, V. N. (2018). *Análisis geoespacial para determinar la dosis óptima de fertilización en maíz en el municipio de Ahuazotepec, Puebla*. Tesis de Licenciatura. [Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM].
- González-Ulibary, F. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. *Asesoría Técnica Parlamentaria*, 1–5. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Granados, R. R., y Sarabia, R. A. A. (2018). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 435–446. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i3.1204>
- Guardiola-Márquez, C. E., Pacheco-Moscoa, A., y Senés-Guerrero, C. (2019). Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México. *Agro Productividad*, 12(3), 53–61. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1348>
- Guevara, A., Barcenas, G., Salazar, F., González, E., y Suzán, H. (2005). Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia*, 39(4), 431–439. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30239407.pdf>
- Guillermo, G. A. (2016). *Evaluación de la calidad Liliium cv Pensacola abonado con lixivios de lombrihumus*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., García-Gómez, R. C., Rincón Rosales, R., Abud-Archila, M., María Angela, O. L., Cruz, M. J. G., y Dendooven, L. (2008). Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Bioresource Technology*, 99(14), 6174–6180. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.043>
- Han, Z., Zeng, X., y Wang, F. (2008). Effects of autumn foliar application of 15N-urea on nitrogen storage and reuse in apple. *Journal of Plant Nutrition*, 12(6), 675–685.

<https://doi.org/10.1080/01904168909363983>

Hernández, J. A., Ramiro, A., Maya, V., Jasso, C., y Martínez, M. A. (2001). *El cultivo de maíz para elote en la zona media de San Luis Potosí* (Issue 26).

Hoyos, D., Morales, J. G., Ardila, H., Ríos, A. P., Correa, G., y Jaramillo, C. (2012). Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L .) en un Modelo de Producción Aeropónico. *Phenology, Base Temperature, Physiological Time, Climate.*, 65(1), 6389–6398. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n1/v65n1a09.pdf>

INIFAP, y SAGARPA. (2004). *Guía para cultivar maíz y sorgo para forraje bajo riego en la Planicie Huasteca Potosina* (Issue 7).

Jurado, G. P., Lara, M. C. R., y Saucedo, T. R. A. (2014). *Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua*.

Kato, Y. T. Á., Mapes, S. C., Mera, O. L. M., Serratos, H. J. A., y Bye, B. R. A. (2009). *Origen y diversificación del maíz*.

Keskin, B., Ibrahim, H., Yilmaz, y Osmetullah, A. (2005). Determination of Some Yield Characters of Grain Corn in Eastern Anatolia Region of Turkey. *Journal of Agronomy*, 4(1), 14–17.

Kukal, M. S., y Irmak, S. (2018). U.S. Agro-Climate in 20th Century: Growing Degree Days, First and Last Frost, Growing Season Length, and Impacts on Crop Yields. *Scientific Reports*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25212-2>

Kuttel, W. D. (2017). *Cátedra de Mecanización Agrícola. Cosecha de forrajes*.

López, C. (2014). *Productividad de grano y forraje en dos densidades de población de híbridos de maíz androestériles y fértiles*. Tesis de Licenciatura. [Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM].

- Lozada, B. I., y Sentelhas, P. C. (2003). Relaciones entre deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir de los balances hídricos normal y secuencia. *Bioagro*, 15(3), 209–215.
- Luna-Ortega, J. ., García-Hernández, J. ., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Espinoza-Banda, A., Gallegos-Robles, M. A., y Chavarría-Galicia, J. A. (2013). Evaluation of hybrids from simple crosses using maize elite landraces with forage outstanding characteristics for a mexican arid land. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(1), 119–126.
- Martín, J. G. (2007). *Evaluación y caracterización de maíces criollos en el occidente de México*. Universidad de Guadalajara.
- Martínez-Scott, M. M., y Ruiz-Hernández, J. (2018). Efecto de la aplicación de lixiviados de lombriz y ácidos húmicos en la producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* var. Annumm). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 5(15), 19–24.
- Martínez, D., Huelva, R., Portuondo, L., y Guridi, F. (2012). Evaluación del efecto protector de las Sustancias Húmicas Líquidas en plantas de maíz cultivar P-2928 en condiciones de salinidad. *Centro Agrícola*, 39(1), 29–32.
- Medina, F. M. F. (2018). *Rendimiento y valor nutricional de forraje en híbridos de maíz*. Tesis de Licenciatura. [Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM]. <http://132.248.9.195/ptd2018/mayo/0774059/Index.html>
- Mengel, K., Kirkby, E. a., Kosegarten, H., y Appel, T. (2001). *Principles of Plant Nutrition* (Springer S, Vol. 5th).
- Noriega, L. A., Preciado, R. E., Andrio, E., Terrón, A. D., y Covarrubias, J. (2011). Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz qpm h-374c*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 489–500.

- Núñez, G., Faz, R., González, F., y Alfonso, P. (2005). Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Técnica Pecuaria En México*, 43(1), 69–78. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61343107>
- Ortigoza, J., López, C., y Gonzalez, J. (2019). Guia tecnica del cultivo de maiz. *Guia Tecnica, El Cultivo Del Maiz* (Vol. 1). <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Ortiz, M. J. ., Rodríguez, L. J. ., Arreola, Á. J. ., Méndez, R. J. ., Santamaría, C. E., y Cisneros, V. J. . (2008). Comportamiento reproductivo de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) en diferentes sustratos. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7(1), 15–19.
- Pájaro, D., y Ortiz, C. A. (1992). Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la Republica Mexicana. In *Revista de Geografía Agrícola* (Vol. 5, Issue January, pp. 119–125).
- Pascale, A. J., y Damario, E. A. (1983). Variacion del agua edafica disponible para los cultivos en la region oriental de la Argentina. *Revista - Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomia*, 4(2), 141–181.
- Peña, A., González, F., Núñez, G., y Maciel, L. H. (2006). Producción y calidad forrajera de híbridos precoces de maíz en respuesta a fecha de siembra, nitrógeno y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(3), 207–213.
- Peña, Núñez, H. G., y González, C. F. (2002). Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Técnica Pecuaria En México*, 40(3), 215–228.
- Peña, R. A., González, C. F., Núñez, H. G., y Maciel, P. L. H. (2006). Producción y calidad forrajera de híbridos precoces de maíz en respuesta a fecha de siembra, nitrógeno y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(0187–7380), 207–213. <http://www.redalyc.org/pdf/610/61029304.pdf>

- Pérez, H. E. (2015). *Aplicaciones foliares de líquido de lombriz enriquecido con harina de lombriz (Eisenia fetida) en plántulas de maíz (Zea Mays L.)*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Perlo, A., Corró, A., y Ghironi, E. (2021). Ensayos Comparativos de Rendimiento de Maíz 2020/21. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 1–14.
- Quaik, S., Embrandiri, A., Rupani, P., y Ibrahim, M. (2012). Potential of vermicomposting leachate as organic foliar fertilizer and nutrient solution in hydroponic culture: A Review. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 44(1), 43–47. <https://doi.org/10.7763/IPCBEE>
- Rangel, P. P., Luis, J., Hernández, G., Ángel, M., Castruita, S., Pérez, L. S., Velia, A., Garay, A., Ramón, J., Rivera, E., y Diéguez, T. (2014). Efecto del lixiviado de vermicomposta en la producción hidropónica de maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 333–338.
- Ransés, V. O. S., Menéndez, J. A., y Martín, M. E. (2002). Modelo agroclimático de balance hídrico del suelo. formulación y representación espacial. *Instituto de Meteorología*, 13.
- Rivas-Jacobo, M. A., Carballo-Carballo, A., Quero-Carrillo, A. R., Hernández-Garay, A., Rojas-García, A. R., y Mendoza-Pedroza, S. I. (2018). Comportamiento de componentes agronómicos y su productividad en híbridos trilineales de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *Agroproductividad*, 11(5), 93–99.
- Rojas, M. I. (2006). Informe Técnico: Evaluación Agronómica del maíz SB-102 en Tlaxcala. *INIFAP Campo Experimental Tlaxcala*, 7. <https://doi.org/10.1038/ncomms3530>
- Ruiz, C. J. A., Medina, G. G., González, A. I. J., Flores, L. H. E., Ramírez, O. G., Ortiz, T. C., Byerly, K. F., y Martínez, P. R. A. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición*. (INIFAP).

- Ruiz, O., Beltrán, R., Salvador, F., Rubio, H., Grado, A., y Castillo, Y. (2006). Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(1), 91–96. <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193017708013.pdf>
- Ruíz, O. D. A. (2010). *Diferenciación de características agronómicas de maíz forrajero (Zea mays, L.) con diferentes tratamientos de fertilización orgánica*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- SADER. (2020). Maíz forrajero, también es maíz. *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*, 7–10.
- SADER. (2021). La identificación temprana, primera barrera contra plagas y enfermedades del maíz. *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-identificacion-temprana-primera-barrera-contra-plagas-y-enfermedades-del-maiz>
- Sánchez-Hernández, M. A., Aguilar-Martínez, C. U., Valenzuela-Jiménez, N., Joaquín-Torres, B. M., Sanchez-Hernández, C., Jiménez-Rojas, M. C., y Villanueva-Verduzco, C. (2013). Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 4(3), 271–288. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242013000300002
- Santillán-Fernández, A., Cruz- Ramírez, S. Z., Calva-Castillo, A., Ireta-Paredes, A. del R., y Bautista-Ortega, J. (2020). Balance hídrico climático de bosque mesófilo de montaña en la huasteca. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.19136/era.a7n1.2016>
- Santillán, G. E., Davila-Vazquez, G., de Anda, S. J., y Díaz, T. J. de J. (2013). Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazones, Veracruz, México. *Revista Ambiente e Agua*, 8(3), 104–117. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1147>

- Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L. A., y Mayo, J. P. (2007). Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(8), 1–10. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612734015.pdf>
- Sentelhas, P., Dos Santos, D., y Machado, R. (2008). Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. *Revista Ambiente e Agua*, 9(3), 445–458. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Shim, D., Lee, K. J., y Lee, B. W. (2017). Response of phenology- and yield-related traits of maize to elevated temperature in a temperate region. *Crop Journal*, 5(4), 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.01.004>
- Shirani Bidabadi, S. (2018). Waste management using vermicompost derived liquids in sustainable horticulture. *Trends in Horticulture*, 1(3), 1–9. <https://doi.org/10.24294/th.v1i3.175>
- SIAP. (2021). Avance de Siembras y Cosechas 2021. *Gobierno de México*. https://hube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Singh, R., Gupta, R. K., Patil, R. T., Sharma, R. R., Asrey, R., Kumar, A., y Jangra, K. K. (2010). Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, 124(1), 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.002>
- Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González, B., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Cárdenas-Marcelo, A. L., López-López, C., Arteaga-Escamilla, I., y Valdivia-Bernal, R. (2018). Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 33–43. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i1.737>
- Thornthwaite, C. ., y Mather, J. . (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance* (p. 66).

- Trejo-Escareño, H. I., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D., y Vázquez-Vázquez, C. (2018). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 727–738. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i5.1171>
- Tucuch-Cauich, C. A., Rodríguez-Herrera, S. A., Reyes-Valdés, M. H., Pat-Fernández, J. M., Tucuch-Cauich, F. M., y Córdova-Orellana, H. S. (2011). Índices De Selección Para Producción De Maíz Forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 123. <https://doi.org/10.15517/am.v22i1.8676>
- Valdez-Torres, J. B., Soto-Landeros, F., Osuna-Enciso, T., y Báez-Sañudo, M. A. (2012). Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). *Agrociencia*, 46(4), 399–410.
- Velasco, J., Aguirre, G., y Ortuño, N. (2016). Liquid humus and microorganisms to promote the production of Lettuce (*Lactuca sativa* var. Crespa) in hydroponic crop. *Selva Andina Biosphere*, 4(2), 1–13.
- Zamora, K., Castro, L., Wang, A., Arauz, L. F., y Uribe, L. (2017). Uso potencial de lixivados y tés de vermicompost en el control del ojo de gallo del cafeto *Mycena citricolor*. *Agronomía Costarricense*, 41(1), 33–51.
- Zandonadi, D. B., y Busato, G. (2012). Vermicompost humic substances: technology for converting pollution into plant growth regulators. *International Journal of Environmental Science and Engineering Research (IJESER)*, 3(2), 73–84. www.journal-ijeser.com
- Zaragoza-Esparza, J., Medina-Fernández, M. F., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., Canales-Islas, E., Chávez-Gordillo, A., y Alonso-Sánchez, H. (2021). Productividad y calidad de forraje de híbridos trilineales de maíz para Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 537–544.
- Zaragoza-Esparza, J., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C.,

García-Espinosa, J. C., Zamudio-González, B., Turrent-Fernández, A., y Rosado-Núñez, F. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 101–111.