



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE MAÍCES HÍBRIDOS EN AMATEPEC

ESTADO DE MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL

P R E S E N T A:

JOSÉ ORLANDO JAIMES BENÍTEZ

(N° DE CUENTA: 1322469. GENERACIÓN 43)

ASESORES:

M. DAES ING. ANDRÉS V. MORALES OSORIO

DR. MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO

DRA. LIZBETH ESMERALDA ROBLES JIMÉNEZ

CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS,

MUNICIPIO DE TOLUCA, ESTADO DE MEXICO

I. Tabla de contenido

RESUMEN	4
III. 4	
I. JUSTIFICACIÓN.....	7
II. HIPÓTESIS.....	7
III. OBJETIVO GENERAL	7
Objetivos específicos.....	7
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	7
Fisiología del maíz	12
Etapas de desarrollo.....	13
Factores que afectan el rendimiento de grano.....	17
Factores que afectan la absorción del agua	20
Factores externos afecta la absorción de las sales minerales	21
P.....	22
Aporte nutricional del maíz	25
Fuente de fertilizantes	38
Potencial de germinación de maíz híbridos.....	42
Plagas y enfermedades.....	42
Enfermedades del maíz	44
Enfermedades sistémicas	46
Pudrición gris por Physalospora	50
Híbridos de maíz	51
Sistemas de labranza.....	53
Rendimiento de grano de diversos maíces.....	55
Potencial productivo de poblaciones nativas.....	56
Producción y consumo del maíz	57

Producción de maíz en México	57
V. MATERIALES Y MÉTODOS	58
Descripción del área de estudio.....	58
Material genético.....	58
Diseño, fertilización y tamaño de la parcela experimental.....	58
Manejo agronómico	61
Control de plagas y maleza.....	61
Rendimiento	62
Variables medidas:.....	62
Análisis estadístico	64
VI. RESULTADOS	64
VII. DISCUSION.....	67
VIII. CONCLUSIONES.....	68
IX. REFERENCIAS	68
X. ANEXOS:.....	78

II. RESUMEN

En la región sur del Estado de México, el grano de maíz juega un papel importante en la alimentación de consumo humano y animal. El objetivo del presente estudio fue la evaluación del rendimiento forrajero y productivo de 11 variedades de maíces híbridos (blancos y amarillos) y 1 maíz criollo en la región de Amatepec Estado de México. Para ello se evaluaron los maíces DK 410, PIONER P4, DK 7500, PIO P396, DK 357, DK 6018, BREV 3916, DK 7508, BREVANT B, TORNADO, PIONER P3 y se utilizó el maíz criollo de testigo. Se tomaron tres muestras de

forraje de cada variedad de maíz, para determinar el rendimiento en materia fresca y en materia seca (ton/ha), además del número semillas sembradas (Ss), plantas germinadas (Pg), plantas a cosecha (Pc), número de mazorcas (N° M), rendimiento en toneladas de grano por hectárea (RTGrano/Ha), porcentaje de germinación (PG), porcentaje de plantas a cosecha (PPC), porcentaje de mazorca (PM), porcentaje de Materia seca en ensilaje (PMSE). Los datos de rendimiento forrajero y productivo se analizarán utilizando un diseño completamente al azar. Las variedades DK410, PIONERP4 y DK7500 presentaron el mayor contenido de grano (9.9, 8.7 y 8.5 ton/ha) (figura 2) con respecto a maíces nativos (6.21 ton/ha).

INTRODUCCIÓN

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas, su nombre científico es (*Zea mays L.*) (FAO, 2004).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogoneae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays*

México, cultiva más de 8.5 millones de hectáreas al año, siendo el cultivo agrícola más importante en el país (Espinosa Calderón et al., 2019).

Los sistemas de producción son tradicionales, muy pocos incorporan materia orgánica; asimismo, pocos integran residuos de cosecha. Los rangos de rendimiento van de 4,5 toneladas a 7 toneladas por hectárea, con densidades de población entre 55,000 y 65,000 plantas por hectárea. Las densidades varían de 40,000 plantas por hectáreas para ejemplares grandes, hasta 120,000 plantas por hectáreas para maíz forrajero (Caballero-García, 2019; Jaspeado et al., 2020) .

La producción de maíz en México depende en gran medida de las condiciones climáticas y de las características del suelo además de otros factores como la economía local, de las políticas

que las rigen y de las tradiciones culturales y sociales de la población rural. Estos factores influyen en el rendimiento anual de maíz (Osorio-García et al., 2015).

El estado de México es el tercer estado productor de maíz a nivel nacional, destinado 516 ha para su producción, lo que representa 67% de la superficie agrícola y el quinto en la producción de maíz forrajero producción de 1,276,271 toneladas, no obstante, es el segundo consumidor del grano a nivel nacional, presentando un déficit del 31% (Cruz y Leos, 2019). Para poder cubrir la deficiencia de maíz que se presenta a nivel nacional se tiene que importar entre 5 y 6 millones de toneladas de grano al año (Espinosa Calderón et al., 2019).

Para reducir esta falta de grano el estado de México ha promovido el uso de semillas mejoradas y fertilizantes desde hace más de 50 años, como se observa en dos de las 11 leyes de las legislaciones para el estado México; la ley para el estímulo de la producción y el empleo de semillas mejoradas de 1956 y la ley de fertilización y mejoradores agrícolas (1956), el seguimiento a estas leyes se estableció en 1987 el instituto de investigación y capacitación agropecuaria, acuícola y forestal del estado de México (ICAMEX, 2019) .

La mayoría de los productores se muestra satisfecha con el uso de semillas mejoradas ya que una de las principales ventajas es que son más resistentes al acame y se puede incrementar la densidad de siembra, por tanto, aumentar los rendimientos (Gómez, 2016).

En la región del valle de México la siembra se realiza bajo temporal limitado. En estos ambientes aún se utiliza un alto porcentaje de maíces criollos y la tecnología de producción es deficiente (Narro-Garza, 2012), lo anterior implica la necesidad de buscar nuevas alternativas utilizando las heterosis para su incremento en el valor nutricional ya sea de forraje o del grano, que tengas las siguientes características: menor variabilidad, porte bajo o intermedio, mayor densidad de población, alto potencial de rendimiento (Rueda, 2013).

I. JUSTIFICACIÓN

Se necesita identificar cuáles son los maíces híbridos con mayor producción de grano para poderlos implementar en la región de Amatepec Estado de México y reducir el déficit está relacionado.

II. HIPÓTESIS

Todos los híbridos de maíz blanco y amarillo tienen el mismo potencial de producción de grano en la región de Amatepec Estado de México.

III. OBJETIVO GENERAL

Evaluación del rendimiento forrajero y productivo de 11 variedades de maíces híbridos (blancos y amarillos) comparados con un maíz criollo en la región de Amatepec Estado de México.

Objetivos específicos

Evaluar el rendimiento de grano.

Evaluar el rendimiento forrajero de las 11 variedades de maíz.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

El maíz es uno de los cereales que más importancia ha tenido en varios sectores de la economía a escala mundial durante el siglo XX y en los inicios del XXI. En los países

industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol (Hernandez,2009).

Es sistema agroalimentario industrial es producto del mundo moderno y empezó a emerger a finales del siglo XVIII con la invasión que permitió producir alimentos enlatados a gran escala (Fardet y Roca, 2019).

El maíz es un bien básico para los mexicanos, pero para las familias rurales es un grano especial porque ha garantizado su producción biológica y cultural; además la venta de excedentes de maíz es un eslabón económico para que obtengan otros recursos destinados, en parte, para comprar otros alimentos. Por esta razón se asume que el maíz ha sido de vital importancia para general una seguridad alimentaria familiar, sobre todo en secano donde se ha manejado asociado con otros cultivos y arvenses, sistema agrícola conocido como milpa (Scientia, 2007).

México se posiciona en el quinto y séptimo lugar como productor de maíz a nivel global, pero el tercero como importador del mismo cereal para cubrir la demanda interna. SAGARPA informo que en el estado de Aguascalientes se destinó para la producción de maíz para el grano en el ciclo primavera verano 5 533 ha con riego y 33 451 ha de temporal.

Cruz (2007) indica que la tortilla es considerada como un alimento de primera necesidad para el 94% de la población mexicana, principalmente en las zonas rurales, donde el consumo es de 328 g diarios pre cápita y sean los principales consumidores de tortilla en el mundo, con una producción y consumo cercano a los 12 millones de toneladas de tortillas por año.

En el año 2016, la superficie sembrada en México fue de 7,794,917 ha, con una producción de 23,273,257 t y un rendimiento de 3,28 t ha (SIAP., 2018); en 2017 la producción aumento 7.72% con respecto al año anterior, pero el incremento no fue suficiente para cubrir la demanda de grano,

lo que se reflejó en el aumento de las importaciones y decremento en las exportaciones (FAO, AMIS,2018).

De acuerdo con los estudios recientes el rendimiento de cereales en el mundo necesita aumentar 1000 millones de toneladas para cubrir la demanda del año 2030 debida al aumento de población y al aumento de consumo de productos de origen animal (FAO,2015).

Warman (2001), plantea que una familia mexicana campesina de cinco miembros consume en promedio cerca de 2,500 kg de maíz al año, es decir, la seguridad alimentaria de las unidades familiares campesinas se garantizará cuando cosechen, al menos, 500 kg *per cápita*.

Conseguir la seguridad alimentaria requiere aumentar el potencial productivo de maíz, medido en rendimiento por hectárea de forma sostenida en el tiempo (Turrent, 2012).

A mediados del siglo XX se trataba de mejorar las semillas de maíz para incrementar los rendimientos lo cual fue logrado en el año de 1960 en donde los rendimientos se duplicaron (Hazell, 2009).

A este incremento se le llamo o nombro la revolución verde en la década de los sesenta, esto impulso el desarrollo de países que se encontraban en hambruna, esto llevo a fundaciones a proveer recursos para investigación y nuevas tecnologías para incrementar la producción de los principales cereales (Hazell, 2009).

Al desarrollo de nuevas variedades de maíz trigo y arroz generado por inversiones en investigación agrícola mencionadas, aunado a la aplicación más generalizada de fertilizantes, insecticidas, maquinaria y crédito para adquirir insumos se le conoce como la revolución verde (Borlaug, 1972).

Entre 1910 y 1940 hubo un aumento apreciable en el rendimiento por acre de maíz en los estados unidos, pero en 1940 a 1955 los rendimientos promedio aumentaron a un 50% y ha habido un aumento adicional del 50% durante la última década.

El mejoramiento de la productividad se debe al desarrollo de variedades híbridas, y el avance reciente es resultado de mejoras en las técnicas de producción de cultivos.

El desarrollo de variedades híbridas ha sido ampliamente documentado, pero solo recientemente se han publicado relatos completos de las innovaciones en los métodos de producción de cultivos (Aldrich, 1965).

El Cuadro 4. compara los rendimientos promedio por década entre México y otros países y regiones del mundo. En él se observa que en la década de los sesenta los países de la Unión Europea y los Estados Unidos de Norteamérica contaban con rendimientos superiores a dos toneladas por hectárea en el cultivo del grano, mientras que diversos países en desarrollo, incluyendo México, no lograban llegar a dicha cifra.

La actividad agrícola en México es caracterizada por la baja constante de los precios de su producción, ejemplo de ello es el cultivo de maíz, el más utilizado para consumo humano y animal.

Cuadro 4. Rendimiento promedio de maíz por periodo

País	Año				
	1961-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2012
EE. UU.	4.5	5.6	6.6	7.7	9.2
México	1.1	1.3	1.8	2.3	3.0
Unión Europea	2.6	3.9	5.2	5.7	6.6
China	1.6	2.4	3.6	4.8	5.2

India	1	1.1	1.3	1.6	2.1
Brasil	1.3	1.5	1.8	2.4	3.7
Argentina	1.9	2.7	3.3	4.5	6.5

Cifras en toneladas por hectárea. Fuente: elaboración propia con base en los datos de la División de Estadística de la FAO (FAOSTAT).

Los rendimientos regionales son heterogeneidades, donde los rendimientos más altos se concentran en el noroeste y bajío del país, situación que contrasta con las regiones centro y sur, donde en algunos estados los rendimientos promedio no rebasaron las tres toneladas por hectárea entre 2000 y 2010 (Figura 1).

Figura 1. Mapa de rendimiento de maíz en la republica mexicana.

AGRICULTURA, SOCIEDAD Y DESARROLLO, JULIO - SEPTIEMBRE, 2018



Fuente: elaboración propia con base en los datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta de SAGARPA. ♦ Source: Authors' elaboration based on data from SAGARPA's Agrifood Consult Information System.

Según los datos del Censo Agropecuario 2007 publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se cuentan con más de dos millones de productores dedicados al cultivo del maíz. La producción de maíz grano en México se lleva al cabo tanto en temporal como en sistemas de riego. Los sistemas de riego sean unidades de riego para el desarrollo rural o distritos de riego propiamente dichos, se construyeron en las regiones áridas y semiáridas del país (INEGI, 2007).

Fisiología del maíz

Los tipos de maíz más importantes son duro, dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso y tunicado. Una buena descripción de los tipos de granos maíz con ilustraciones se encuentra en *Maize* publicado por Ciba Geigy en 1979 (FAO, 2005).

Económicamente, los tipos más importantes de maíz cultivados para grano o forraje y ensilaje caen dentro de las tres categorías más importantes de duro, dentado y harinoso.

El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de los carbohidratos y de las proteínas sintetizadas por esta especie fotosintéticamente eficiente. En los tipos de maíces comunes, el endospermo comprende cerca del 84% del peso seco del grano, el embrión abarca el 10% y el pericarpio y el escutelo componen el restante 6%. Si bien la producción de grano es la razón principal del cultivo del maíz, todas las partes de la planta -hojas, tallos, panojas y olotes- son utilizadas para diversos fines (Fuseell, 1992; Watson, 1998).

Cerca de la mitad de las proteínas del maíz son de zeína, con bajo contenido de aminoácidos esenciales, especialmente lisina y triptófano; El maíz es superior a muchos otros cereales excepto en su contenido de proteínas (Fuseell, 1992).

Etapas de desarrollo

Siembra de grano y formación de la plántula se caracteriza por una dependencia de la temperatura del suelo de su grado de humedad y de las reservas alimenticias acumuladas en el grano.

Desarrollo de la plántula

La planta pasa de ser dependiente a autosuficiente. Durante el periodo inicial de esta etapa se requiere una cantidad limitada de agua en el suelo. Si hay sequía, las raíces penetran profundamente en el suelo. Los periodos subsiguientes son muy sensibles a una deficiencia de humedad y de elementos nutritivos, igual que a bajas temperaturas. Durante esta etapa de la planta forma y desarrolla su sistema radicular. Las hojas primarias desaparecen dando paso a las hojas definitivas, las raíces seminales pierden su importancia y el tallo inicia su desarrollo (FAO, 1993).

Germinación de maíz

La germinación de maíz es considerada un método simple y de bajo costo para mejorar la calidad de la materia proteica y el valor nutrimental del grano, ya que en las primeras etapas de la germinación del maíz la concentración de lisina y triptófano aumenta considerablemente. La formación, dispersión y germinación de semillas, son eventos fundamentales en el ciclo de la vida de las plantas gimnospermas y angiospermas. La propagación sexual de las plantas se da las plantas por medio de las semillas, las cuales tienen la función de multiplicarse y perpetuar la especie (Watson, 1988; Jackson y Shandera, 1995).

Las semillas son estructuras complejas que consiste, en:

El embrión: Que es el producto de la fusión entre el ovulo con el núcleo espermático.

El endospermo: Que provee de nutrientes al embrión para el desarrollo y el crecimiento de la plántula.

Para que la semilla cumpla con su objetivo, es necesario que el embrión se transforme en una plántula que sea capaz de valerse por sí misma, mediante mecanismos metabólicos y morfogénéticos, conocidos como proceso de germinación. El proceso de germinación está influenciado tanto por factores internos como externos. Dentro de los factores internos está la viabilidad del embrión, la cantidad y calidad del tejido de reserva y los diferentes tipos de dormancia (Watson, 1988; Jackson y Shandera, 1995).

Factores externos que regulan el proceso son el grosor de la testa, disponibilidad de agua, temperatura y tipo de luz.

Imbibición: es el proceso de absorción de agua por la semilla. Se da por diferencias de potencial hídrico (matric) entre la semilla y la solución de imbibición.

Este proceso consta de tres fases: incremento rápido en la absorción de agua, fase de estabilización y movilización de nutrientes, absorción de agua que generalmente coincide con el proceso de germinación (Probert, 2010).

Movilización de nutrientes: durante el proceso de germinación, en cereales, por ejemplo; las reservas de nutrientes principalmente almidón y cuerpos proteicos son convertidos en compuestos básicos como azúcares simples y aminoácidos que son transportados y oxidados para cumplir el crecimiento y la elongación del embrión (Taiz y Zeinger 2006).

Viabilidad del embrión: una de las primeras pruebas en el trabajo con semillas es evaluar la viabilidad del embrión, una vez corroborada la capacidad de la semilla para germinar es importante estudiar y evaluar algunos factores internos y externos que afectan el proceso de germinación. La capacidad de las semillas para retrasar el proceso de germinación hasta que las

condiciones ambientales sean ideales, que permitan ellos mecanismos de sobrevivencia de las plántulas.

Dormancia primaria: es el tipo de dormancia más común en el que se puede encontrar las semillas, está dado por factores exógenos y endógenos (Probert, 2010).

Dormancia exógena: hace referencia a las condiciones ambientales básicas que determinar el proceso de germinación como disponibilidad de agua, luz y temperatura (Takaki 2001).

La temperatura está asociada con el proceso de germinación por afectar el porcentaje de germinación, la tasa diaria de germinación, la tasa de absorción de agua, a velocidad de las reacciones enzimáticas y el transporte de las sustancias de reserva (Probert, 2010).

En referencia a los requisitos de la luz necesarios para el proceso de germinación, las semillas se clasifican en tres grupos. El primer grupo corresponde a las semillas fotoblasticas positivas, ellas germinan como respuesta a la luz.

En segundo grupo están las fotoblasticas negativas, en las semillas solo germinan en oscuridad. En tercer grupo están las semillas insensibles a la luz, germinan indistintamente bajo condiciones de luz u oscuridad (Takaki 2001).

Dormancia endógena: la dormancia inherente a las características internas de la semilla es la de: dormancia por embriones rudimentarios, dormancia por inhibición metabólica y dormancia por inhibición osmótica (Probert 2010).

Dormancia por embriones rudimentarios: en algunas especies el proceso de maduración morfológica del embrión ocurre después del proceso de dispersión, lo cual se convierte en un tipo de dormancia porque inmaduro es incapaz de germinar.

Inhibición metabólica: algunos compuestos de las semillas inhiben vías metabólicas específicas; por ejemplo, el cianuro en algunas semillas actúa inhibiendo la germinación porque bloquea el transporte de electrones en el proceso respiratorio (Takaki 2001).

El ácido abscísico (ABA), es una de las hormonas de crecimiento que regula el proceso de maduración, desecación y el mantenimiento de la dormancia de la semilla, como mecanismos para evitar la germinación precoz. Reguladores de crecimiento como auxinas, Giberelinas y citoquininas son conocidos como sustancias que ayudan a desequilibrar las concentraciones endógenas de ABA, ayudando a romper la dormancia (Probert 2010).

Algunos compuestos fenólicos también están involucrados en la inhibición del proceso de germinación. Inhibición osmótica: algunas sustancias poseen alta presión osmótica que inhiben el proceso de germinación de semillas. Compuestos como azúcares o sales en concentraciones altas pueden ser buenos competidores por la disponibilidad de agua con las semillas lo cual lleva que el proceso de inhibición en las semillas no se complete y esta no pueda germinar (Takaki 2001).

Dormancia secundaria: algunas semillas no dormantes encuentran condiciones que generan posteriormente la inducción de la dormancia. Estas situaciones pueden ser causadas por la exposición de las semillas a condiciones que favorecen la germinación y la exposición a un factor que bloquea y restringe el proceso de germinación. En el cuadro 1 se presenta el tiempo de la germinación de algunas semillas sometidas en remojo (Fuseell, 1992).

Cuadro 1. Germinación de algunas semillas sometidas en remojo

Especie	Tiempo de un periodo de remojo	Temperatura del agua de remojo	Tiempo que tardan en germinar	Condiciones de germinación	Temperatura de germinación
Maíz	8-12 horas	15-20 °C	3-4 días	Baja luz	20°C

(FAHN, 1978).

Factores que afectan el rendimiento de grano

El rendimiento de maíz depende de factores controlables (Nutrición, densidad de siembra, selección de híbridos, manejo agronómico), y otros no controlables como es el caso el clima.

Fecha de siembra: Se recomienda la siembra temprana cuando la temperatura y humedad lo permita, para que la emergencia de estigmas y liberación de polen coincidan con las condiciones adecuadas de luz, temperatura y humedad posteriores. Las siembras tardías ocasionan que el maíz tenga menos días para madurar y se enfoque más en producir semillas viables que en lograr una mayor cantidad de semillas(Reyes C., 1990).

Influencia de factores climáticos en la producción de maíz: el maíz es una planta que presenta un buen crecimiento cuando la temperatura ambiente se encuentra entre 18 y 28 °C, con temperatura promedio entre 20 y 22 °C y máximas no superiores a 30°C se logra su mejor rendimiento. El periodo de establecimiento de las bajas temperaturas (< 8 °C) asociadas a escasa luminosidad afecta el desarrollo inicial de las plantas limitando la absorción de nutrientes (Sánchez et al., 2014)..

Las temperaturas superiores a 32 °C reduce la capacidad de producción de grano, provocando el enrollamiento de los estilos (pelos de los choclos) y con ello la reducción de la

polinización fecundación. En estas condiciones, las mazorcas presentan espacios en los que no existe grano. La expresión de una planta es multifactorial, pero existen situaciones complejas al inicio del desarrollo del cultivo que se pueden mantener hasta la cosecha afectando la producción y calidad. Una vez que se cumplen los requerimientos térmicos, el agua pasa a ser el elemento determinante en el logro de un adecuado requerimiento. Los cambios en el clima han generado eventos de sequía importantes en el área templada y esta ha obligado a los productores a implementar sistemas de riego tecnificado con el objetivo de optar en forma regular a un rendimiento adecuado para cada zona donde se establece el maíz. Mediciones realizadas por 25 años en zona templada han determinado que por cada milímetro de agua caída sobre el cultivo se produce entre 30 y 40 kg MS/Ha de maíz para ensilaje (Sánchez et al., 2014).

Movilización de sustancias de reserva: Las semillas contienen cantidades relativamente importantes de reservas alimenticias, estas reservas se encuentran en mayor parte, formando cuerpos intracelulares que contienen lípidos, proteínas, carbohidratos y compuestos inorgánicos. Los compuestos de reserva pueden estar almacenados en el embrión (cotiledones) o en tejidos extraordinarios, principalmente en el endospermo (Barcelo, 1984).

Carbohidratos: El hidrato de carbono más extendido en las semillas, como principal reserva energética, es el almidón. Estos granos muestran una apariencia característica en cada especie, pudiendo tener formas esféricas, elípticas, poligonales. En la hidrólisis del almidón sus componentes (la amilosa, y la amilopectina) son hidrolizados por la α -amilasa y la β -amilasa para liberar glucosa (Jackson y Shandera, 1995).

Lípidos: Los lípidos de reserva predominantes en las semillas son los triglicéridos. En la movilización y metabolismo de las reservas lipídicas están implicados tres tipos de orgánulos: las

vesículas que contienen aceites almacenados (cuerpos lipídicos), los glioxisomas y las mitocondrias (Weber, 1993).

Proteínas: La hidrólisis de las proteínas de reserva está catalizada por diferentes tipos de enzimas proteolíticas, agrupadas bajo el nombre de proteasas. A medida que progresa la germinación, las fracciones proteínicas de reserva se transforman en otras de menor peso molecular, especialmente pequeños péptidos y aminoácidos liberados pueden ser utilizados en la síntesis de nuevas proteínas en la plántula en desarrollo o para proporcionar energía mediante la oxidación de su esqueleto carbonado (Barcelo, 1984).

Las proteínas son sustancias complejas, formadas por la unión de ciertas sustancias más simples llamadas aminoácidos; en la molécula proteica, estos aminoácidos se unen en las largas hileras (cadenas polipeptídicas) mantenidas por enlaces peptídicos, que son enlaces entre grupos amino

(-NH₂) y grupos carboxilo (-COOH).

El ser humano necesita incluir en su dieta ocho aminoácidos esenciales para mantenerse sano: leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina. Todos ellos se encuentran en las proteínas de las semillas vegetales, pero como las plantas suelen ser pobres en lisina y triptófano, los especialistas en nutrición humana aconsejan complementar la dieta vegetal con proteína animal presente en la carne, los huevos y la leche, que contiene todos los aminoácidos esenciales (Martínez, 1997).

Aminoácidos: Es una molécula que contiene un grupo carboxilo (-COOH) y un grupo amino (-NH₂) libres. Existen aproximadamente 20 aminoácidos distintos componiendo la proteína. La unión química entre aminoácidos en las proteínas se produce mediante un enlace peptídico. Esta

reacción ocurre de manera natural en los ribosomas, tanto del retículo endoplasmático como del citosol (Mertz, 1975).

Absorción de agua: Bajo condiciones naturales, toda la absorción de agua se hace por las raíces y la zona radical que más absorbe es la de los pelos radicales.

Mecanismo osmótico: es donde pasa el agua a través de una membrana semipermeable, desde una solución hipotónica a otra hipertónica. Por ejemplo: si tuviéramos dos agua y sal separadas por una membrana semipermeable (que solo permita pasar el agua); el agua se movería de la disolución de menor concentración a la mayor concentración sin necesidad de aportar energía (Mertz, 1975).

Factores que afectan la absorción del agua

Temperatura del suelo; si la temperatura el suelo es bajo, el agua es más viscosa y las membranas celulares menos permeables. Por lo consiguiente la absorción será más lenta y difícil.

Concentración de sales en el suelo: al aumentar la concentración de sales en el suelo disminuye la absorción de agua. Esto se debe principalmente a mecanismos osmóticos. Por ello es importante la aplicación de fertilizantes.

Aireación del suelo: si el aire del suelo es reemplazado por agua (encharcamiento o inundación), el crecimiento y el metabolismo celular disminuye considerablemente, por lo que la absorción de agua y minerales del suelo disminuye.

Disponibilidad de agua en el suelo: No toda el agua del suelo es disponible para la planta. A medida que la planta consume el agua disponible cerca a la raíz la absorción de la restante se hace más difícil.

Características del sistema radical: En el maíz, esta forma una densa red de raíces que no penetra mucho en el suelo, pero cubre una gran área cercana a la planta y próxima a la parte superior del suelo.

Absorción de nutrientes: hasta hace poco tiempo se suponía que las sales minerales incorporadas en la raíz en forma pasiva con el agua absorbida. Además, se pensaba que la movilización dentro de la raíz dependía de la transpiración. Hoy se sabe que la absorción de sales minerales depende en gran parte de la energía metabólica. O sea que es un proceso metabólico. Los iones absorbidos a las superficies celulares (paredes, membranas), puede intercambiar lugares con una solución del suelo. Además, en este intercambio otros mecanismos (flujo de masas), que ocurren en ausencia de energía metabólica pueden ser responsables en pequeña parte de la absorción de sales minerales por la planta. Varios mecanismos complejos en los que hay gasto de energía son, aparentemente los que determinan en mayor proporción la entrada de los nutrientes en la planta a esto se conoce como absorción activa (Copeland y McDonald, 1995).

Factores externos afecta la absorción de las sales minerales

Temperatura: Si la temperatura del suelo aumenta, la absorción de nutrientes aumenta. Esto se debe principalmente a un incremento en la actividad de los iones y moléculas del suelo, y a una mayor actividad metabólica de la raíz.

Luz: La energía es usada por la planta para la fotosíntesis y la energía química derivada de ella es usada por la raíz para absorber nutrientes del suelo.

Oxígeno: La fase de la absorción de sales es inhibida por la ausencia de oxígeno. El oxígeno es indispensable para la respiración de la raíz.

pH: la aprovechabilidad de los nutrientes es profundamente afectada por el pH. Valores de pH fuera del rango físico lógico (4.0 a 8.0), dañan la planta e impiden la absorción de elementos nutritivos.

Estado de desarrollo de la planta: Cuando la planta está pequeña la demanda de nutrientes no es grande. Al aumentar el desarrollo, aumenta la necesidad de mayor cantidad de sales minerales. En el caso del maíz, esta alcanza su máximo cuando se llega a la etapa de formación de los órganos reproductivos.

Almidón: El almidón es el principal constituyente del maíz (*Zea mays* L.) y las propiedades fisicoquímicas y funcionales de este polisacárido están estrechamente relacionadas con su estructura. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina (Narváez-González et al., 2004).

La amilosa y amilopectina son dos moléculas que constan en el almidón (carbohidratos complejos). Ambas se componen de cadenas largas de moléculas de glucosa. En el cuadro 2 se presenta el peso y composición nutricional del grano de maíz.

Cuadro 2. Peso y composición de las distintas partes del grano de maíz.

Composición (%)	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

(Watson, 1987).

Amilopectina: Molécula del almidón que tiene ramificaciones y está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí para formar largas moléculas con numerosas ramificaciones laterales cortas.

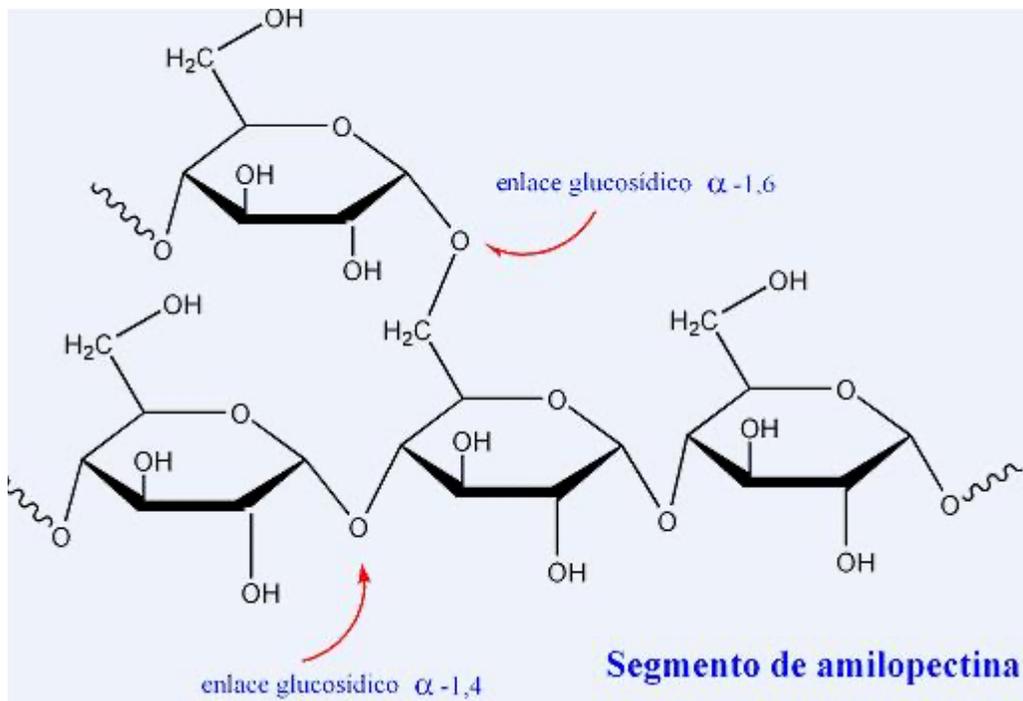


Imagen 3. Cadena de amilopectina.

Grasas: El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van del 3 al 18 por ciento. La composición media de ácidos grasos del aceite de variedades seleccionadas de Guatemala se indica en el Cuadro 3. Dichos valores difieren en alguna medida, y cabe suponer que los aceites de distintas variedades tengan composiciones diferentes. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11 por ciento y el 2 por ciento, respectivamente (Weber, 1993).

En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoleico, con un valor medio de cerca del 24 por ciento. Sólo se han encontrado cantidades reducidísimas de ácidos linolénico y araquidónico. Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico

(0,7 por ciento) y niveles elevados de antioxidantes naturales. El aceite de maíz es muy famoso por la distribución de sus ácidos grasos, fundamentalmente ácido oleico y linoleico (Watson, 1988).

Ácido oleico: Es un ácido graso monoinsaturado de la familia de los ácidos grasos omega 9. El aceite de oliva está compuesto por ácido oleico entre 61 y 83%, según la variedad y el clima. Características: es más estable a la oxidación que los ácidos grasos poliinsaturados (omega 6 y omega 3). Es más estable a altas temperaturas que los ácidos graso-poliinsaturados, por ello el aceite de oliva es más estable que el aceite de girasol para las frituras, ya que este último está compuesto principalmente por ácido linoleico (omega 6) (Weber, 1993; Jackson y Shandera, 1995).

Ácido linoleico: Es un ácido graso esencial muy frecuente en aceites vegetales y en la grasa animal. Es el más conocido de los ácidos grasos omega 6, y cumple funciones destacables en el crecimiento y el desarrollo. Es tal su importancia que su déficit puede causar problemas como lesiones cutáneas o retraso del crecimiento, aunque un exceso puede tener efectos inflamatorios e incrementar el riesgo cardiovascular o la presión sanguínea (Watson, 1988).

Proteínas: Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 por ciento del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. El maíz y los cereales no son proteínas nutricionalmente equilibradas. Lo anterior se debe a que las principales proteínas de almacenamiento del maíz conocida como prolaminas o zeínas (ricas en aminoácidos (AA) prolina y glutamina), carecen de aminoácidos esenciales para la nutrición humana como la lisina y triptófano (Dickerson, 1996).

Aporte nutricional del maíz

El cereal rico en carbohidratos, además de contener niacina, fósforo y calcio, que permite el buen funcionamiento del sistema respiratorio, nervioso y cardiovascular; intervienen en la información y mantenimiento de huesos y dientes y además de ayudar en la coagulación de la sangre (CONAL, 1990).

Con respecto al contenido de nutrientes, una ración de 100 g de maíz contiene 356 kcal y 8.1 g de proteínas en promedio; ubicándose en un punto intermedio respecto al trigo y arroz que aportan 330 y 360 kcal, y 10.2 y 7.4 g de proteínas respectivamente. En cuanto al contenido de grasa el maíz es superior a estos cereales con 4.8 g mientras que en carbohidratos es ligeramente inferior con 71.3 g (SIEPA, 1987).

Para facilitar la descripción, el desarrollo y la morfología de la planta de maíz se presentan seis subtítulos; plántula, sistema radicular, sistema caulinar-vegetativo, sistema caulinar-reproductivo, granos de polen y estigmas, y frutos y semillas (CONAL, 1990).

Plántula: cuando la semilla se siembra en suelos húmedos, absorbe rápidamente el agua y comienza a hincharse, un proceso que procede más rápidamente a temperaturas altas como las que prevalecen en muchos ambientes tropicales en la estación húmeda; bajo estas condiciones, la semilla empieza a germinar en dos o tres días (SIEPA, 1987).

Cuando se inicia la germinación, la coleorriza se alarga y sale a través del pericarpio: después aparece la radícula a través de la coleorriza. Justo después de la emergencia de la radícula aparecen tres o cuatro raíces seminales. Al mismo tiempo o muy pronto después, la plúmula cubierta por el coleóptilo emerge en el otro extremo de la semilla; el coleóptilo es empujado hacia arriba por la rápida elongación del mesocotilo, el cual empuja al naciente coleóptilo hacia la superficie de la tierra (CONAL, 1990).

La planta de maíz: es una planta hermafrodita, lo que significa que produce flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. La panoja (Flor masculina) produce polen (Imagen 1). Mientras que la mazorca (Flor femenina) produce los óvulos que se convierten en la semilla (Imagen 2).

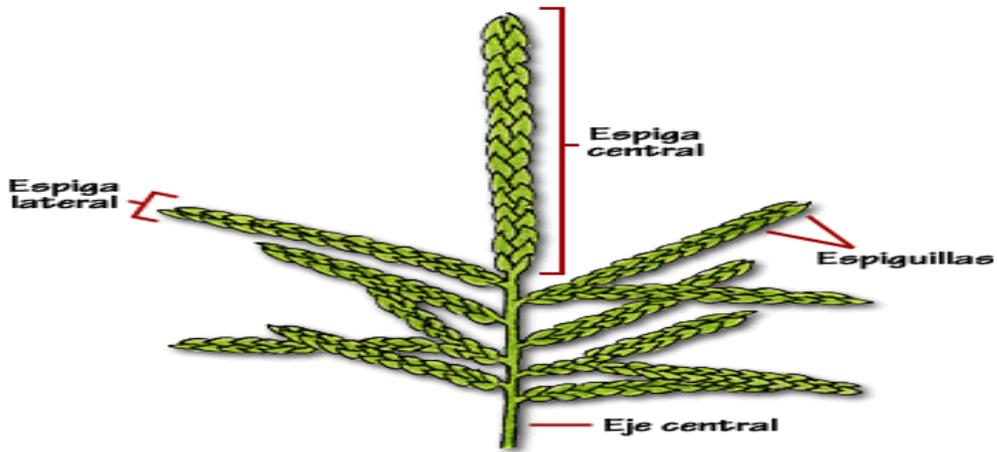


Imagen 1. Panoja de maíz completamente emergida (flor masculina).



Imagen 2. Mazorca de maíz inmadura (flor femenina) que muestra estigmas emergentes.

En términos de reproducción, la panoja puede producir más de 1 000 000 de granos de polen, y la mazorca puede producir más de 1 000 estigmas. En consecuencia, hay aproximadamente de 1000 a 1500 veces más granos de polen que de estigmas producidas. En teoría, de 20 a 30 plantas podrían fertilizar todos los estigmas en 1 acre (0,405 hectáreas), pero no todo el polen desprendido por una planta cae en un estigma.



Imagen 3. Separación vertical entre las flores masculinas y femeninas en una planta de maíz.

El desprendimiento de polen se produce de forma discontinua durante un periodo de aproximadamente cinco a ocho días, y solo sucede cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables (Imagen 3).

La hora pico para que el polen se desprenda es desde la mitad hasta el final de la mañana.

La vida útil promedio de un grano de polen

Frutos y semillas:El grano o fruto del maíz es un cariopse. La pared del ovario o pericarpio está fundida con la cubierta de la semilla o testa y ambas están combinadas conjuntamente para conformar la pared del fruto. El fruto maduro consiste en tres partes principales: la pared, el embrión diploide y el endospermo triploide. La parte más externa del endospermo en contacto con la pared del fruto es la capa de aleurona.

Nutrición de maíz:El maíz cultivado es una planta completamente domesticada y el hombre y el maíz han vivido y han evolucionado juntos desde remotos. El maíz no cree en forma salvaje y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre (Wilkes, 1985; Galinat, 1988).

El maíz tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo tal como se pone en evidencia en la bien documentada historia del maíz híbrido en los estados unidos de América y posteriormente en Europa.

El cultivo de maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar.es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después del trigo, en producción total (FAO, 2004).

El maíz tiene usos múltiples y variados. Es el único cereal usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. Las espigas jóvenes del maíz cosechado antes de la floración de la planta son usadas como hortaliza. Las mazorcas tiernas de maíz dulce son un manjar refinado que se consume de muchas formas. Las mazorcas verdes de maíz común también son usadas en gran escala, asadas o hervidas, o consumidas en el estado de pasta blanda en numerosos países. La

planta de maíz, que esta aun verde cuando se cosechan las mazorcas verdes proporcionan un buen forraje (FAO, 2004).

Según la latitud y el ambiente se cultiva, el maíz se clasifica en dos tipos distintos. El maíz cultivado en los ambientes más cálidos, entre la línea ecuatorial y los 30° de latitud norte es conocido como maíz tropical, mientras que aquel se cultiva en climas más fríos, más allá de los 34° de latitud sur y norte es llamado maíz de zona templada; lo maíces subtropicales crecen entre las latitudes de 30° y 34° de ambos hemisferios. El maíz tropical a su vez está clasificado en tres subclases, también basado en el ambiente: de tierras bajas, de media altitud y de zonas altas (Dowswell, 1996).

El rendimiento medio del maíz en los trópicos es de 1 800 kg/ha comparado con un medio mundial de más de 4 000 kg/ha. El rendimiento medio del maíz en las zonas templadas es de 7 000 kg/ha (CIMMYT, Datos y tendencias mundiales del maiz en 1993., 1994).

Los sistemas de producción son tradicionales, muy pocos incorporan materia orgánica; asimismo, pocos integran residuos de cosecha. Los rangos de rendimiento van de 4,5 toneladas a 7 toneladas por hectárea, con densidades de población entre 55,000 y 65,000 plantas por hectárea. Las densidades varían de 40,000 plantas por hectáreas para ejemplares grandes, hasta 120,000 plantas por hectáreas para maíz forrajero (Gómez, 2016).

La producción de maíz en México depende en gran medida de las condiciones climáticas y de las características del suelo además de otros factores como la economía local, de las políticas que las rigen y de las tradiciones culturales y sociales de la población rural. Estos factores influyen en el rendimiento anual de maíz (Osorio-García et al., 2015).

El estado de México es el tercer estado productor de maíz a nivel nacional, destinado 516 ha para su producción, lo que representa 67% de la superficie agrícola y el quinto en la producción

de maíz forrajero producción de 1,276,271 toneladas, no obstante, es el segundo consumidor del grano a nivel nacional, presentando un déficit del 31% (Cruz y Leos, 2019). Para poder cubrir la deficiencia de maíz que se presenta a nivel nacional se tiene que importar entre 5 y 6 millones de toneladas de grano al año (Espinosa Calderón et al., 2019).

Para reducir esta falta de grano el estado de México ha promovido el uso de semillas mejoradas y fertilizantes desde hace más de 50 años, como se observa en dos de las 11 leyes de las legislaciones para el estado México; la ley para el estímulo de la producción y el empleo de semillas mejoradas de 1956 y la ley de fertilización y mejoradores agrícolas (1956), el seguimiento a estas leyes se estableció en 1987 el instituto de investigación y capacitación agropecuaria, acuícola y forestal del estado de México (ICAMEX, 2019) .

El cultivo de maíz ha incrementado en productividad, gracias a prácticas implementadas, junto con el progreso del mejoramiento genético. Este incremento en productividad trae aparejado un aumento de la materia seca total y, en consecuencia, de la acumulación o absorción de nutrientes (Karlen, 1987).

Es bien conocido que pueden obtenerse respuestas variables a la aplicación de N debido a diferencias en las condiciones climáticas (temperatura, precipitación), de suelo (temperatura, materia orgánica, textura), y prácticas de manejo (irrigación, densidad, arreglo espacial, fertilización), como así también por el uso de diferentes genotipos (interacción Genotipo por Ambiente por Manejo). En lo que respecta al diagnóstico de fertilidad, en el caso del N, la dosis a emplear se puede determinar a través de la relación entre el nitrógeno (N) disponible (N-nitratos del suelo a presiembra, 0-60 cm, más N fertilizante) y el rendimiento del cultivo. Por otro lado, el requerimiento de N de maíz varía con el rendimiento del cultivo y los factores que gobiernan la determinación de este (clima, genotipo, prácticas de manejo). Para el caso del fósforo (P), la

fertilización fosfatada debería relacionarse con la capacidad del suelo para satisfacer la máxima demanda de este nutriente por el cultivo (Ciampitti T.J., 2010).

Nitrógeno (N): en la planta es quizá el nutriente más importante en los agroecosistemas, dada su participación en múltiples reacciones bioquímicas implicadas fisiológicamente en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos (Rao., 2009). Los suelos aptos para la agricultura de las regiones tropicales presentan severa deficiencia de N disponible y baja fertilidad natural (Sánchez, 1992).

Es esencial para el crecimiento y reproducción de las plantas. Es muy importante para el desarrollo y funcionamiento del protoplasma. Suele absorber en forma de ion nitrato o de ion amonio. Es un componente de los aminoácidos y por consiguiente de las proteínas. Hace parte de los ácidos ARN y ADN, esenciales para la síntesis de las proteínas. El nitrógeno entra en la composición de la clorofila y de las enzimas denominadas citocromos, muy importantes en la fotosíntesis y en la respiración. Es un poderoso estimulante del crecimiento vegetativo.

Síntomas de deficiencia: clorosis de las hojas inferiores que se inicia en las puntas y avanza a lo largo de la vena central. Bajo condiciones de deficiencia severa, las hojas inferiores se secan y se caen, y el desarrollo se reduce considerablemente.

El maíz al ser una gramínea requiere mucho de nitrógeno para poder realizar sus procesos fisiológicos, por eso es fundamental en una nutrición balanceada tenerlo disponible para cuando la planta lo requiera, dentro de nuestro mapa de fertilización debemos considerarlo para la administración en la fuente que lo requiera y según nuestro diagnóstico del suelo será la fuente que más se adapte a los requerimientos del cultivo (Borbón-García et al., 2011).

El suministro de N de síntesis química es justificado por la adopción de tecnologías que basan su máxima capacidad productiva en el uso de estos agroquímicos. En el cultivo de maíz se

ha demostrado un efecto proporcional de los rendimientos conforme se incrementan los niveles de fertilización (Álvarez et al., 2003).

Diferentes alternativas han sido implementadas con el fin de incrementar la eficiencia de la fertilización nitrogenada, una de ellas es la utilización de inhibidores de la nitrificación (Weiske et al., 2001 y Barth et al., 2001) que se añaden a los fertilizantes granulados, solubles o líquidos. Estos inhibidores contienen la molécula 3,4 - dimetilpirazolfosfato (DMPP), que inhabilitan temporalmente la acción de las bacterias nitrosomonas, de tal manera que retrasa la oxidación de NH_4^+ a NO_2^- , e imposibilita la transformación a nitrato, lo que permite la disponibilidad de NH_4^+ , fuente importante en la nutrición nitrogenada de las plantas (Zerulla et al., 2001), reduciendo las pérdidas por lixiviación (Irigoyen et al., 2003) y considerándose de lenta liberación (Carrasco-Martín, 2002). La disponibilidad adecuada de fuentes de nitrógeno, humedad y radiación, contribuyen al incremento de la tasa fotosintética de las plantas, ya que se logran sintetizar los carbohidratos que posteriormente se distribuyen entre los diferentes órganos; esto permite el crecimiento vegetativo en las primeras etapas del cultivo, después en la floración y finalmente en el llenado de fruto, lo que se refleja en el rendimiento del cultivo (Maddonni y Otegui, 2006).

Fósforo: Es esencial para la división celular y el desarrollo de los meristemos apicales. Lo absorben las plantas casi totalmente de forma inorgánica. Los fosfatos afectan mucho la formación y desarrollo de los granos, aceleran la maduración de estos, al igual que a la formación y desarrollo de las raíces (INIFAP, 2010).

El fósforo es un constituyente de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos y las coenzimas NAD Y MADP. Además, forma parte de trifosfato de adenosina (TPA), es importantísima fuente de energía para el metabolismo vegetal.

Síntomas de deficiencia: Se presenta una pigmentación roja o púrpura en las hojas debida a la presencia de antocianinas. Hay reducción en el tamaño de la planta y el color de las hojas se torna azul-verde oscuro.

La alta movilidad de este elemento dentro de la planta determina que los primeros síntomas de deficiencia aparezcan en las hojas inferiores. Provoca la formación de áreas necróticas muertas en las hojas y caída de estas, retardo en la maduración de los frutos y pobre desarrollo radical.

El fósforo (P) es quizá el macronutriente más complejo de manejar, ya que, a diferencia del nitrógeno y potasio, el P es fácilmente fijado en el suelo. Hay múltiples casos donde los agricultores omiten el análisis de suelo y llegan a ampliar fósforo cuando el suelo tiene excesos de este nutriente.

El fósforo (P) es el segundo nutrimento mineral en importancia en la agricultura nacional y mundial; el fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo y pasa a formas más complejas de difícil absorción para las plantas. En otras palabras, gran parte de la supervisión agrícola mundial tiene un alto potencial de retención del fósforo. Por ejemplo, el fósforo es fuertemente enlazado a partículas del suelo o fijado en las partículas de la materia orgánica, lo que limita su disponibilidad para los cultivos.

Una vez que la planta absorbe el fósforo, ya sea como $H_2PO_4^-$ o HPO_4^{2-} , desempeña las siguientes funciones esenciales en la planta: 1. Forma parte de fosfoproteínas, fosfolípidos

(membranas), reserva; 2. Es parte esencial de los ácidos nucleicos; 3. Es constituyente esencial de los nucleótidos; 4. Estimula el desarrollo radicular; 5. Promueve la formación de semilla; y, anualmente es demandado por las plantas para la fijación biológica del nitrógeno (N). Un suministro bajo de fósforo en la planta causa severos daños en: crecimiento vegetativo, expansión de las hojas, órganos reproductivos, formación de semillas y germinación de semillas. Por lo general, la deficiencia de fósforo en los cultivos se manifiesta con coloración púrpura en las hojas maduras, ya que es un nutrimento móvil. La disponibilidad del fosforo se es afectada por el pH del suelo (INIFAP, 2010).

Potasio:La presencia de potasio en la planta está ligada a funciones tan importantes como la fotosíntesis, la respiración, la formación de clorofila y la turgencia de las hojas. Además, es un activador de varias enzimas involucradas en el metabolismo de los carbohidratos. El maíz es exigente en este elemento. El contenido de potasio en el grano es bajo, pues no se acumula en el cómo el fosforo. Síntomas de deficiencia: pueden reconocerse fácilmente en el maíz. Debido a la gran movilidad de este nutriente, se presenta en las hojas inferiores una clorosis moteada, seguida por el desarrollo de áreas necróticas en las puntas y en las márgenes (Borbón-García et al., 2011).

Calcio:es un constituyente de la lámina media en las células. En pequeñas cantidades es necesario para una mitosis normal, pues parece estar involucrado en la organización de la cromatina, al igual que en la estructura y estabilidad de los cromosomas. Los síntomas de deficiencia se manifiestan en las regiones meristemáticas de los tallos, hojas y puntas de las raíces, las que eventualmente mueren, determinando la cesación del crecimiento de dichos orgánicos (Borbón-García et al., 2011).

Magnesio:es un componente de la clorofila, sin la cual el proceso de la fotosíntesis no puede hacerse. Muchas enzimas que participan en el metabolismo de los carbohidratos requieren el

magnesio como activador. También lo requieren las enzimas involucradas en la síntesis de los ácidos ribonucleico y desoxirribonucleico. La deficiencia se manifiesta en el maíz en forma de una clorosis intervenal en las hojas inicialmente hay un amarillamiento de las hojas inferiores y a medida que la deficiencia es más aguda se extiende a las hojas superiores (INIFAP, 2010).

Requerimientos generales de nutrientes para el maíz: una concentración relativamente alta de nutrientes en la planta especialmente de nitrógeno es necesaria para un máximo crecimiento durante el periodo vegetativo. En el proceso de la formación del grano buena parte del Nitrógeno, Fosforo y del Potasio absorbidos es movilizadas hacia la mazorca. Si la fertilidad del suelo es baja casi todos los nutrientes de las partes vegetativas se desplaza hacia los granos. En la madurez, dos terceras partes del nitrógeno absorbido pasan a la mazorca y el resto permanece en el follaje. Mientras la planta está en periodo de crecimiento activo hay absorción continua de fosforo, aunque al comienzo de la floración solo ha sido absorbido un 15% del total requerido. La absorción de potasio llega a un máximo mucho primero que en el caso del nitrógeno. Antes de la floración la planta ya ha absorbido 30% del total necesario y el resto se completa antes de la formación del grano (Aldrich, 1965).

La situación del azufre (S), la información disponible acerca del manejo de este nutriente y los requerimientos de este por el cultivo de maíz es más escasa. Un programa de fertilización balanceada, que incluya la aplicación de N, P y S, es esencial para optimizar el rendimiento del cultivo, incrementar la rentabilidad y mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes (provenientes del suelo y del fertilizante) por parte del cultivo, minimizando el impacto sobre el ambiente. En todas las situaciones, los fertilizantes fueron aplicados mediante mezclas físicas antes o al momento

de siembra, incorporándolos a una distancia de por lo menos 5 cm de la semilla para evitar posibles efectos fitotóxicos (Ciampitti, 2010).

Fuente de fertilizantes

La elección de la fuente de fertilizante fosfatado a utilizar dependerá de la disponibilidad en el mercado, costo, catión acompañante y el pH del suelo. En el cuadro 4 se presentan la cantidad de nutrientes requeridos para la fertilización del maíz.

Cuadro 2. Fertilizantes para el maíz

Fertilizante	N-P-K
Superfosforo de calcio triple	00-46-00
fósforo Monoamónico (MAP)	11-52-00
Fosfato Diamonico (DAP)	18-46-00
Super fosforo de calcio triple	00-20-00
Polifosfato de Amonio	11-37-00
Triple 17	17-17-17

MAP (Fosfato Monoamónico).

Fertilizante de adecuada solubilidad y pureza que suministra nitrógeno en forma de amonio (NH₄) Y Fosforo para la nutrición eficiente de cultivos tecnificados y establecido en suelo. MAP Greenhow es un producto con bajo contenido de insolubles, por ello es ideal para elaborar soluciones nutritivas, limpias, eficientes y rentables para todos los sistemas de producción.

Fosfato Diamónico: es un fertilizante granulado que contiene fosforo-nitrógeno, de color marrón claro. El fosforo es insoluble en agua en su totalidad, y todo el nitrógeno está en forma amoniacal. El DAP puede utilizarse para todo tipo de cultivo y toda clase de suelo. Se recomienda aplicarse durante la fertilización nitrogenada, en l primavera o el otoño (distribuido sobre la superficie del suelo o localizado), lo que permite aportar al cultivo el fosforo disponible en conjunto al nitrógeno. Los filamentos de los hongos micorrizas en los suelos actúan como extensiones de los sistemas radicales y son más efectivos en la absorción de nutrientes y agua que en las propias raíces. En el cuadro 3 se muestran la cantidad (%) de óxido de fosforo (P2O5), encontrado en diferentes abonos orgánicos (INTAGRI, 2017).

Cuadro 3. Oxido de Fosforo presente en diferentes abonos orgánicos.

Abono	% P2O5
Gallinaza	4.9
Estiércol de porcino	3.5
Estiércol de bovino	1.8
Paja de maíz	0.4
Paja de trigo	0.2

Fuentes Orgánicas Fosfatadas.

Abonos orgánicos: en realidad, es un término que se refiere a cualquier material animal o vegetal que puede usarse para aportar nutrientes y mejorar la fertilidad de los suelos. Podemos decir que es una sustancia hecha con residuos o desechos vegetales o animales que hacen nuestra tierra mejor para las plantas. Los abonos orgánicos deben prepararse adecuadamente o pueden resultar perjudicables para nuestras plantas (Hernández Navarro, 2018).

Tipos de abonos orgánicos.

Compost: es el más básico de los abonos orgánicos y también uno de los más utilizados por lo más fácil que resulta obtenerlos. Para prepararlo solo se necesitan residuos vegetales y un lugar en que fermentarlos durante 3 a 5 meses.

Humus de lombriz: este es uno de los abonos más ricos en nutrientes que hay. También es muy popular ya que para producirlo solo es necesario hacerse con lombriz.

Cenizas de madera: si tienes chimenea en casa, guarda las cenizas de la madera quemada. Diluidas en agua, son un excelente aporte de fósforo y potasio para el suelo.

Posos de café: los más cafeteros pueden sacar doble partido a su bebida favorita si aprovechan los posos del café, ya que mezclados con tierra aportan una gran cantidad de nitrógeno, que las plantas agradecerán.

Cáscaras de huevo: molidas lo más fina posibles, las cáscaras de huevo trituradas y espolvoreadas alrededor de la base de las plantas pueden ayudar a mantener alejadas a algunas plagas, como caracoles y orugas.

Ramas y hojas trituradas: los restos de poda y las hojas caídas, adecuadamente trituradas y esparcidas, también son una gran fuente de nutrientes para la tierra.

Estiércol: esto no es nada nuevo, el estiércol ha sido siempre uno de los fertilizantes más usados, los residuos animales deben tratarse realizando un compostaje antes de poder usarse como estiércol, y deben provenir de animales que no hayan sido alimentados con antibióticos.

Bocashi o bocashi: esta es una variedad del compost usada tradicionalmente por los campesinos japoneses, y tienen su principal ventaja en que su elaboración es mucho más rápida que la de este, ya que se puede completar en unas dos semanas (Acosta B, 2023).

Técnica de aplicación: Es otro aspecto técnico, ya que la planta absorbe la mayor parte del fósforo mediante difusión, a través de un gradiente de concentración, por lo que la cercanía del fósforo con las raíces será crucial para su absorción. Es recomendable aplicar los fertilizantes fosfóricos lo más cercano a la semilla o zona de raíces, intentando impedir el fenómeno de fijación. De preferencia se debe aplicar en banda que, al voleo, y es mejor inyectada que en aspersión o en agua de riego. La mayoría de los productores se muestra satisfecha con el uso de semillas mejoradas ya que una de las principales ventajas es que son más resistentes al acame y se puede incrementar la densidad de siembra, por tanto, aumentar los rendimientos (Hernández Navarro, 2018).

En la región del valle de México la siembra se realiza bajo temporal limitado. En estos ambientes aún se utiliza un alto porcentaje de maíces criollos y la tecnología de producción es deficiente (Narro-Garza, 2012), lo anterior implica la necesidad de buscar nuevas alternativas utilizando las heterosis para su incremento en el valor nutricional ya sea de forraje o del grano, que tengas las siguientes características: menor variabilidad, porte bajo o intermedio, mayor densidad de población, alto potencial de rendimiento (Rueda, 2013).

Potencial de germinación de maíz híbridos

Hay factores que regulan la absorción de agua y la germinación de las semillas. Se han identificado genes que contribuyen al debilitamiento de la pared celular, otros involucrados en el metabolismo energético (Bradford, y otros, 2000) y los que pueden jugar un papel importante en la protección contra patógenos de la radícula que está emergiendo durante la germinación (Wu, Leubner-Metzger, & Meins, 2001).

Los ácidos giberélico (GA) y abscísico (ABA) son de fundamental importancia en el proceso de germinación (Ritchie y Gilroy, 1998); Koornneef *et al.* (2002) destacaron la acción antagónica del GA y ABA. El papel del agua es importante en la germinación.

Según Vertucci (1989), la cinética de la imbibición de las semillas es un proceso muy complejo ya que involucra dos procesos, adsorción (humedecimiento) y flujo hidráulico, los cuales presentan distinta dinámica y las variables que controlan estos fenómenos cambian durante cada una de estas dos fases. Vertucci y Leopold (1987) demostraron que existe una relación exponencial entre el Ψ_A y el contenido de agua en semillas de soya.

Plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades de maíz deben ser controladas eficazmente, sobre todo cuando existen condiciones de sequía como las experimentadas en el país. El estado vegetativo del cultivo es fundamental para que logres altos rendimientos (Reséndiz et al., 2016).

Gallinita ciega (*Phyllophaga spp.*): La larva también conocida como gusano blanco, nixticuitl o yupo, en tanto que los adultos se les conocen como mayates de junio. En estado de larva es de hábitos subterráneos y se alienta de las raíces de varias plantas cultivadas como maíz.

El maíz es uno de los cultivos con más daños principalmente por terrenos con mínima labranza. Algunos de los daños causados por las larvas de gallinas ciega es que las plantas retrasan su crecimiento y muestran un amarillamiento, seguido de marchitez, debido a la destrucción parcial o total del sistema radical. Cuando el ataque es severo en plantas chicas estas pueden morir.

Si las plantas más desarrolladas son atacadas se inclinan, debido al deficiente desarrollo radicular (Marín Jarillo, y Bujanos Muñiz, 2008).

Gusano de alambre: El nombre de gusano de alambre "*Agriotes spp*" alude a la apariencia recia, similar a la de un alambre, que tiene larvas que miden 20 a 30 mm de largo y a menudo son lisas, duras y muy brillantes (Cortez-Mondaca, 2019).

El gusano de alambre daña al maíz en varias partes de su boca. Estos son atraídos por el bióxido de carbono que suelta el grano del maíz durante su germinación. Perforan los granos antes y durante la germinación, se alimentan del germen y dejan una perforación al grano.

También hacen perforaciones a las plántulas por debajo del suelo, dañando el punto de crecimiento y matando la planta. En las plantas más grandes el gusano de alambre se alienta de las raíces y hacen un túnel de varias pulgadas por arriba del suelo (Quiroga-Murcia, y Posada-Flórez, 2013).

Gusano cogollero: esta planta causa daños de consideración como barrenados en la base del tallo de las plántulas de maíz causándoles la muerte de los cogollos y provocando con esto que tengan

que hacerse resiembras de maíz. Son las larvas medianas y grandes desarrolladas en plantas d maíz voluntario que germinaron y crecieron en verano y que no se destruyeron a tiempo.

Estas larvas están escondidas en el suelo durante el día, penetran por la base del tallo y construye un túnel ascendente, provocando con ello la muerte de la plántula cuando es pequeña.

En las plantas más desarrolladas, que tienen el tallo bien formado, únicamente ocurre la muerte del cogollo y estas tienden a amacollar (Sader, 2020).

Rata algodonera: Es una especie endémica de México, su distribución se extiende en el oeste de México desde el sur de Nayarit y oeste de Puebla y noreste de Oaxaca. En general, hay pocas cantidades en vegetación natural y el mayor número en sitios perturbados y en tierras de cultivo, por ejemplo, en palma de coco se han capturado hasta 77 individuos en 3 hectáreas en campo de maíz de 50 a 100 por hectárea. En bosques tropicales caducifolios se encuentra 0.64 individuos por hectárea. Los roedores son mamíferos con altos índices de población, si hay condiciones favorables del hábitat, tienden a reproducirse en los agroecosistemas y se convierte en una plaga para los cultivos más susceptibles de la región agroecológica donde están presentes. Los roedores tienen diversas formas de causar daños al sector agrícola, iniciando desde la siembra, ya que algunas especies especializadas en semillas escarban el suelo sembrado para consumirla, ocasionando demoras en la siembra, posteriormente la planta que germine puede ser consumida generando pérdidas económicas al productor (Sader, 2020).

Enfermedades del maíz

La mayoría de las enfermedades foliares en el cultivo del maíz son causadas por organismos fungos, los cuales están influenciados por el medio ambiente, algunos requieren días cálidos y noches frías con bastante rocío, además tienen alta capacidad de reproducción y disminución. Por

estar en el trópico los hongos pueden sobrevivir por mucho tiempo en el suelo o en los residuos de cosecha mediante estructuras de resistencia.

Las estructuras de los patógenos son diseminadas por el viento y el agua y son depositadas en las hojas, donde ocurre la germinación, penetración e infección. Es una enfermedad muy agresiva que sobrevive en los residuos de cosecha. Con frecuencia el patógeno produce una toxina (Cercosporina) que induce amarillamiento. Las lesiones iniciales, están restringidas por las nervaduras secundarias y presentan forma rectangular, lo que permite su diagnóstico. Al coalescer las lesiones, toda la lámina foliar se seca prematuramente (Paliwal, 2012, FAO).

Mancha de asfalto: Es una enfermedad muy agresiva que sobrevive en los residuos de cosecha. Con la alta precisión de la enfermedad, el secamiento puede darse en muy pocos días. Sin manejo oportuno, se afecta sustancialmente la calidad de granos y el rendimiento. El diagnóstico es posible por la presencia de pequeños puntos negros erupentes en la lámina foliar y en el capacho de la mazorca. Alrededor del punto negro se desarrolla un halo pajizo. Cuando las lesiones se unen, originan zonas necróticas que causan el secamiento prematuro de las hojas y con frecuencia la muerte de las plantas (Marino et al., 2008).

Mancha por diplodia: Es una enfermedad distribuida en las diferentes zonas maiceras. Puede infectar la mazorca cuando existe turgencia en la planta, factores asociados a la infección; excesos de nitrógeno, diferencia de potasio. Inicialmente, se presenta pequeños puntos amarillos que se desarrollan lesiones en forma de ojo de pollo, que permite diagnosticar la enfermedad. Al madurar la lesión, el hongo esporula y en el centro se forma puntos negros. En infecciones severas, las lesiones están a lo largo de las hojas y paralelas a la nervadura central, con diferentes grados de amarillamiento inducido por la toxina que libera el hongo (Varón de Agudelo).

Enfermedades sistémicas

Los virus son partículas de ácidos nucleicos recubiertas de una capa proteica. Las enfermedades causadas por virus se caracterizan por ser sistémicas, cuando ocurre la infección, el patógeno se disminuye por todos los órganos de la planta. A medida que la infección avanza, los síntomas se hacen más severos. La severidad de los síntomas depende de la concentración del patógeno en los tejidos y de la edad de la planta al infectarse.

Los virus son parásitos obligados y requieren de un agente vector para la planta. En el caso del maíz, los insectos vectores son los encargados de adquirir el virus en una planta enferma para luego llevarlo a una planta sana, después de un corto periodo de incubación(Varón de Agudelo, et al., 2022).

Mosaicos y necrosis de nervaduras:

Su periodo de incubación oscila entre 5 a 15 días aproximadamente. Su importancia depende de la fuente de inóculo, la época de infección (estado fenológico del cultivo) y la presencia de los vectores, si no se realiza el control de los vectores, la presencia alta de la enfermedad puede causar pérdidas económicas. Zonas cloróticas que contrastan con el verde normal de las plantas (mosaico), manchas aceitosas en forma anillo, rayado irregular y necrosis de nervaduras (Sevik, 2018).

Rayados finos y acortamiento de entrenudos: en enfermedades muy tempranas no hay formación de mazorca, haciendo plantas improductivas, independiente del momento de la infección, los virus causan pérdida de área fotosintética activa (Varón de Agudelo, et al., 2022).

Rayas finas y gruesas paralelas a la nervaduras y acortamiento de entrenudos.

Rosetas y marchitamiento: En épocas secas son más comunes y severas estas enfermedades, el manejo inapropiado de las medidas de control puede generar epidemias de estos virus. Cogollo

en formas de roseta, hojas blancas y marchitamiento. La mayoría de las plantas no producen mazorca. Estos virus pueden inducir esterilidad masculina y muerte de las plantas (Paliwal, 2021).

Rayado en hojas, forma de bailarina:

Las enfermedades en los estados fenológicos iniciales del cultivo (VE-V4), pueden causar mayores pérdidas económicas (Varón de Agudelo, et al., 2022).

Todos los estados de desarrollo (ninfas adultas) del vector (*Dalbulus maidis*), son capaces de adquirir y transmitir estas enfermedades. Bandas blancas o amarillas en la base de las hojas las cuales se extiende a lo largo de la lámina foliar o medida que la infección avanza. Con frecuencia las hojas no abren y se quedan amarradas, se presenta esterilidad masculina. En cada nudo se forma un brote o una mazorca.

Plantas con infecciones muy tempranas son totalmente improductivas. El manejo inapropiado de las medidas de control puede generar epidemias de estos patógenos. Se presenta acortamiento de entrenudos y, por lo general, hay mazorcas y brotes en cada nudo. Las mazorcas se alargan y en ellas se observan todas las estructuras de una planta en miniatura (hojas, espigas, granos) (Valarezo et al., 2013).

Insectos vectores de virus y fitoplasma en el maíz: son aquellos capaces de adquirir el patógeno en una planta enferma, y luego de incubarlo en su cuerpo, lo transmiten a una planta sana. Se ha identificado los insectos vectores de las enfermedades causadas por virus y fitoplasma que afecta al maíz. Se trata de insectos chupadores que pueden llegar a los haces vasculares de la planta para inocular el patógeno.

Estos insectos además de transmitir las enfermedades pueden causar daño a las plantas. El mal se presenta inicialmente como lesiones cloróticas en los que la hembra coloca sus posturas.

Cuando eclosionan los huevos, las ninfas, al alimentarse, extraen sustancias azucaradas que se cubren de hongos saprofitos causantes de fumagina, lo cual interfiere con la actividad fotosintética de hojas (Paliwal, 2021).

Áfidos o pulgones: los áfidos pueden atacar cualquier órgano de la planta como hojas, tallos, inflorescencias y mazorcas. Aunque existen varias especies vectores, la más frecuente en el maíz es el *Rhopalosiphum maidis*. las mudas del insecto, las sustancias azucaradas, la fumagina y el polvo le dan una apariencia sucia e interfieren con la actividad fotosintéticas de la planta (Valarezo et al., 2013).

Delfacido del maíz:

En los sitios de alimentación, el insecto extrae sustancias azucaradas que suelen colonizar hongos como la fumagina. Las hembras de *P. maidis* colocan sus huevos principalmente en las nervaduras de las hojas bajas. En una planta, especialmente en el cogollo y en los sitios donde se acumula el agua, se puede encontrar muchos individuos. El cuerpo del insecto es oscuro y los élitros son transparentes con rayas oscuras. Cuando se desplazan lo hace de lado con movimientos lentos. Son comunes en la especie estados alados y ápteros (Rodríguez-Vélez et al., 2019).

Saltahojas del maíz: Es un cicadélido. Las hembras colocan los huevos en las nervaduras de las hojas y en la lámina foliar y los insectos adultos se localizan principalmente en el cogollo.

Los élitros son transparentes y el abdomen de color crema. Es un insecto muy nervioso y de movimientos rápidos.

Enfermedades causadas por cromista: Los oomycetos han sido incluidos por los taxónomos de hongos en el reino cromista. En el caso del maíz, se encuentra *Phythium sp*, *Sclerothora sp.* y *Peronosclerospora sp.*

La infección primaria en el campo puede ser a través de la germinación de las estructuras que se encuentran en el suelo. Estos patógenos requieren de humedad relativa alta y temperaturas entre 14 y 7 °C para germinar.

Mildiu vellosa: Común en suelos con alta humedad o mal drenados, las afecciones se distribuyen de manera aleatoria en el cultivo. Las plantas afectadas por esta enfermedad son improductivas.

El primer síntoma visible es el de la media hoja; luego, en las hojas subsiguientes, aparecen bandas blancas o amarillas paralelas a las nervaduras. En las mañanas frías con bastante rocío, el patógeno esporula o germina en forma de un polvillo blanco. El tejido afectado se necrosa o seca, se rompe y se desgarran originando látigos. Este tejido necrosado presenta estructuras de resistencia (oosporas) que permanecen en el suelo y se convierten en fuente de inóculo para las siembras siguientes.

Esta enfermedad puede disminuirse por el agua y el viento, si se presenta la enfermedad asegúrese de eliminar residuos de cosecha. Es una enfermedad endémica restringida a ciertas geografías, márgenes de ríos, zonas bajas, zonas de encharcamiento.

Las plantas infectadas por mildios vellosos sufren desequilibrio en los órganos reproductivos. En lugar de espigas se representa proliferación de brotes y hojas (filodia) y las mazorcas se alargan semejantes a brotes (Kwang et al., 2013).

Pudriciones de la mazorca: Las pudriciones de mazorcas o de granos es uno de los factores más importantes en la economía del cultivo, ya que el tema se presenta cuando la mayoría inversión se ha hecho y dificulta o imposibilita la comercialización del grano.

Alta humedad relativa y climas cálidos. La demora en cosecha y el volcamiento de las plantas. El daño de insectos y pájaros, porque las heridas que ellos causan son puerta de entrada para los microorganismos asociados a las pudriciones.

Las variedades o híbridos de maíz con punta descubierta son más susceptibles al ataque de los hongos causantes de pudrición de mazorcas. El desbalance nutricional especialmente la deficiencia de potasio y el exceso de nitrógeno.

Condiciones de estrés por sequías o exceso de lluvia, especialmente durante el llenado del grano. Mal manejo agronómico en cualquiera de las etapas de desarrollo del cultivo (Paliwal, 2021).

Pudrición de mazorca por *Fusarium*: las toxinas causadas por este hongo dificultan su comercialización, el manejo eficaz de insectos en la mazorca disminuye el riesgo de infección. Los excesos de urea contribuyen a la presencia la enfermedad.

Los granos muestran coloración blanca o rosada en estados tempranos de infección. Después se desarrolla un micelio blanco o rosado sobre y entre los granos, que puede cubrir toda la mazorca (Valarezo et al., 2013).

Pudrición gris por *Physalospora*: Es una enfermedad restringida a ciertas geográficas, la favorecen ambientes e humedad relativa muy alta.

El capacho, los granos y la tusa son negros por los esclerocios negros producidos por el patógeno. El maíz afectado en estado de choclo adquiere una apariencia acuosa. Los esclerocios presentes en los residuos sobreviven en el suelo (Paliwal, 2021).

Pudrición de mazorca por *Diplodia*: es una enfermedad muy limitante en la producción de maíz. Se encuentra en la mayoría de los ambientes de producción maicera, si se presenta *Diplodia*

foliar y se suma con excesos de urea en el cultivo, la enfermedad puede entrar a la mazorca por turgencia.

El capacho primero se cubre de micelio blanco luego se forma los picnidios, por último, presenta coloración pajiza, dando la apariencia de haber alcanzado su madurez, aunque la planta permanezca verde. El micelio penetra a la mazorca y se ubica debajo de los granos y entre las hileras. En estados avanzados las mazorcas se oscurecen y en condiciones de alta humedad los granos se germinan (Valarezo et al., 2013).

Pudrición de mazorca por *Rhizoctonia*: Esta enfermedad puede presentarse en diferentes órganos de la planta, por lo cual es importante su monitoreo. El patógeno sobrevive en el suelo y se asienta en la yagua de las hojas antes de migrar a la mazorca.

En estados iniciales el capacho se cubre de motas de color blanco de diferentes formas y tamaños (esclerocios). Sobre y entre los granos de las mazorcas se desarrollan un micelio blanco algodonoso. También es posible observar los esclerocios maduros de color café sobre el capacho de las mazorcas enfermas (Lupque, 2022).

Híbridos de maíz

Los híbridos de maíz modernos tienen poca semejanza con el ancestro más lejano del maíz, la teocinte. Un híbrido de maíz se produce cuando el polen de la línea endogámica se usa para polinizar los estigmas de otra línea endogámica. Una vez que ocurre esto, se produce la heterosis, o vigor híbrido, y las plantas producidas a partir de las semillas híbridas

suelen ser más resistentes y con características mejoradas, lo que incluye un mayor rendimiento del grano. Cuanto menos relacionadas están las dos endogamias, más heterosis se produce.

La producción de semillas híbridas depende del uso de las líneas endogámicas, que se desarrollan mediante la autopolinización de estigmas por el polen producido en la misma planta.

Líneas endogámicas: la polinización de maíz por medio de cruces en cadena es un método sumamente sencillo por que se hace conforme las plantas van floreciendo. Como objetivo fundamental es la reproducción de germoplasma es necesario saber cuánta endogamia se genera y como se compara con otros métodos de incremento de germoplasma para estar en condiciones de reducir cual método seguir; será el que cause menos endogamia o una cantidad similar a la de esos métodos (Guamán Guamán et al., 2020).

Antes de la década de 1930, las razas o variables de maíz eran polinizadas abiertas. En la cosecha, los granjeros seleccionaban visualmente las mazorcas más grandes y de mejor aspecto y guardaban los granos para sembrarlos en la próxima estación.

Este método dio como resultado una selección involuntaria de ciertas características, favorables o no favorables. A medida que este proceso se realizó ciertas razas y variedades se seleccionaron con características definidas en diferentes regiones y se le dieron nombres locales.

En los Estados Unidos se comenzó a usar maíz híbrido a principios de la década de 1920. El rendimiento de maíz fue demostrado en los años adversos de la década de 1930, cuando la demanda agrícola de semillas híbridas ha aumentado considerablemente (Troyer, 2019)

Teocinte: es una gramínea anual originaria de México y América central. Aproximadamente hace 9000 años, los granjeros comenzaron a seleccionar plantas con ciertas

mutaciones y a través de una serie de selecciones que consistieron en solo unas cinco mutaciones genéticas, se desarrolló el moderno *Zea Mays* (Guamán Guamán et al., 2020).

Sistemas de labranza

Los sistemas de labranza ejercen efectos diferenciales en el rendimiento de los cultivos, en las características físicas, químicas e hidráulicas de los suelos. Bajo el sistema de labranza convencional, el uso del arado y la rastra modifica la estructura de la capa superficial del suelo, la continuidad del espacio poroso y reduce el contenido de materia orgánica (Paustian et al., 1997).

En los estudios de (Ureste & Campos, 1995), se manifiesta la respuesta del cultivo de maíz a la labranza de conservación en cuatro diferentes suelos tropicales bajo condiciones de temporal en comparación a los sistemas de labranza convencional reducida y labranza cero. En el suelo Fluvisol de textura fina y de textura media se obtuvo la mayor y más uniforme densidad de población y el mayor rendimiento de grano, pero no difiere entre los dos suelos y los cuatro sistemas de labranza.

Labranza tradicional o convencional:

Se realiza con máquina, como arados, que cortan y giran, de forma parcial o completa. Los primeros 15 cm del suelo, el cual se airea, afloja y mezcla, facilitando la entrada de agua, la mineralización de nutrientes y la disminución de plagas, animales y vegetales. Este tipo de labranza contribuye a que se reduzca rápidamente la capa superficial y se acelere la degradación de la materia orgánica. Habitualmente, la labranza convencional requiere más de una maniobra con corte y alteración del suelo. En este caso la erosión del suelo es elevada.

Labranza mínima o convencional:

Involucra un mínimo paso de la máquina, estimulando la ventilación del suelo, con un menor cambio y mezclando de este. La mineralización de nutrientes se estimula a un compás menor que el método anterior. En la superficie permanecen más residuos vegetales ferrados a la masa del suelo, lo que conlleva a que la erosión sea menor.

Labranza cero o siembra directa:

No se trabaja el suelo, si no que se planta directamente. La semilla se coloca en un corte vertical de escasos centímetros efectuando con una cuchilla circular o zapata de corte. Se compacta la semilla con una rueda en el surco de siembra, permitiendo su contacto con el suelo húmedo. Esta técnica requiere el control de las malezas con herbicidas antes de sembrar y fertilizar, porque la mineralización natural de los nutrientes del suelo es muy lenta. Es excelente para evitar la erosión del suelo. La limitación mayor, reside en el uso de las sustancias químicas que impurifican las aguas (Vázquez y Terminiello,2008).

Agricultura de precisión:su intención es usar mejor los insumos: productos agroquímicos, combustibles, semillas y otros. Trata de impedir el uso excesivo o defectuoso en áreas de poco potencial o de gran productividad. Se fundamenta en mapas de aptitud y de rendimiento. Los mapas de aptitud, de origen estático, detallan el potencial del campo en función de su topografía y la calidad de suelo. Los mapas de rendimiento se consiguen directamente en la cosecha, con instrumentos conectados a satélites que rastrean la capacidad de lotes, de modo instantáneo y preciso. La intención de la labranza es acondicionar el suelo para la siembra, de cierta forma favorece la formación de las semillas, así como la evolución, progreso y producción de las plantas sembradas.Otra función de la labranza son permitir que el agua de riego lluvia circule correctamente y haya filtraciones de agua. Acaba con las malas hierbas, ablanda la tierra para que

puedan penetrar las raíces de las plántulas y permita una mayor absorción de nutrientes, impiden encharcamientos (Hernández, 2021).

Rendimiento de grano de diversos maíces

El rendimiento de grano de maíz en ton/ha promedio es afectado por factores ambientales (Andrade, 1996), sin embargo, las poblaciones nativas mostraron potencial para producir 4.852 t ha en promedio, rendimientos que resultaron similares a los de los híbridos de Pioneer, indica que el material genético nativo tiene capacidad de expresar su potencial genético a las condiciones de suelos de ladera y lomerío, a altitudes de 400 a 8000 m, mismas que han sido adaptadas por los agricultores.

Los híbridos de empresas trasnacionales produjeron un rendimiento de grano aceptable, debido a que fueron sembrados en condiciones de suelos planos con profundidad de 1.2 m, los cuales se consideran como suelos agrícolas de alto potencial productivo con pendientes menores a 1.5% (Espejel-Garcia, 2015), sin embargo, existen poblaciones nativas del agricultor e híbridos nacionales como el H507, H516, H562 y H 565 de INIFAP que presentan similar rendimientos de grano respecto a los híbridos transnacionales cuando son sembrados bajo las mismas condiciones de terreno del agricultor tradicional. En cambio, los híbridos, tanto nacionales como trasnacionales, disminuyen su potencial productivo y son superados por las poblaciones nativas cuando son sembrados en suelos de ladera con pendiente superior a 20% y profundidad menos de 20 cm (Espejel-Garcia, 2015).

(Bergamaschi, y otros, 2006), menciona que el cultivo del maiz esta firmemente influenciado por el comportamiento de la precipitacion y el deficit hidrico que causa mayor impacto sobre el rendimiento del grano cuando ocurre la floracion.

Para determinar su influencia se establecio un balance hidrico del suelo a 20 cm de profundidad cuyos resultados manifiestan que el deficit hidrico durante la floracion repercute sobre el rendimiento. Otros componentes que influyen en el rendimiento y produccion de maiz son los abonos organicos, por aportar nutrientes y microorganismos que favorecen a la fertilidad del suelo y nutricion de las plantas como lo manifiesta (Eghball et al., 2004).

En contexto, los sistemas de labranza ejercen efectos diferenciales en el rendimiento de los cultivos, en las características físicas, químicas e convencionales, en el uso del arado y rastras modifica la estructura de la capa superficial del suelo, la continuidad del espacio poroso y reduce el contenido de materia orgánica. Los residuos de cosecha se mezclan y se exponen a los ciclos acelerados de aireación, humedecimiento, secado y enfriamiento, que sumados favorecen la descomposición de la materia orgánica, guardando estrecha relación con la porosidad y humedad; componentes que influyen directamente en la recuperación de la estructura y estabilidad cuando los suelos se exponen a diferentes tipos de manejo.

Potencial productivo de poblaciones nativas

Se identificaron poblaciones nativas con aceptable potencial genético, cuyos rendimientos de grano promedio oscilaron entre 4.940 a 7.758 t ha. Además, se detectaron poblaciones nativas de las razas Pepitilla (Arrocillo) y Vandeño (Ciudad Mante), que predominan en la región Tierra

caliente, Guerrero, donde expresaron buen potencial productivo (Carrera, 2006). En el caso de los maíces blancos, no fue posible clasificarlos en alguna raza en particular debido a que los agricultores desgranaron las mazorcas por separado (Palemón FA, 2017).

En el Estado de México existen zonas agrícolas con gran potencial productivo para la explotación de maíz. Amatepec Estado de México podría ser una de las regiones con buen potencial para la producción de Maíz, sin embargo, la información proporcionada por agricultores de esta región, los rendimientos de maíz criollo y maíces híbridos son contradictorios, por lo cual se necesita generar más información al respecto.

Producción y consumo del maíz

Los principales países productores de maíz a nivel mundial son los Estados Unidos, china y Brasil; sin embargo, la producción mundial de maíz blanco relativamente pequeña si se encuentra dominado por los Estados Unidos, que es el principal exportador, siendo China quien ocupa la segunda posición y Brasil (FAO, 2013).

Producción de maíz en México

La producción oscila anualmente entre 12 y 14 millones de quintales dependiendo de las condiciones climáticas prevalecientes, siendo la sequía el principal factor que incide en las bajas producciones que se registran en algunos años.

En los estados productores, durante el periodo de 2006 a 2008, el maíz represento en promedio 45.5 % de la superficie agrícola de Sinaloa, 43.1% de Jalisco, 64.5% de la superficie agrícola de Sinaloa, 43.1% de Jalisco, 64.2 % del Estado de México, 51.4% de Chiapas, 44.1% de Michoacán, 36.3% de Guanajuato y 56% de Guerrero.

En el Estado de México, la producción es de 1,398,333 t y rendimiento de 3.49 t ha⁻¹ (SIAP, 2020). En estas áreas agrícolas, los agricultores prefieren el uso de poblaciones nativas de maíz,

sin embargo, genera bajos rendimientos de grano (Aguilar, 2016). En algunas áreas, las empresas productoras de maíz han introducido híbridos que muestran amplia adaptación a las condiciones ambientales de la localidad. Por lo cual, se debe explorar el tipo de variedades que conviene sembrar en cada agroecosistema y el manejo más apropiado para una mayor producción de este. Dentro del manejo agronómico, los fertilizantes a base de nitrógeno son los más utilizados en la agricultura, por ser determinante en el incremento del rendimiento en maíz. No obstante, representa una inversión de alto costo y riesgo ambiental (Aguilar-Carpio, 2015).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El estudio se llevo a cabo en Amatepec, estado de México que se localiza a 139 kilómetros de la capital del estado de Mexico, se ubica entre los paralelos 18° 40' 58" de latitud norte y entre los meridianos 100° 11' 11" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, al suroeste de la ciudad de México y Toluca. Rango de precipitación 1,100 -2,000 mm cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (58.66%) (García,2005)

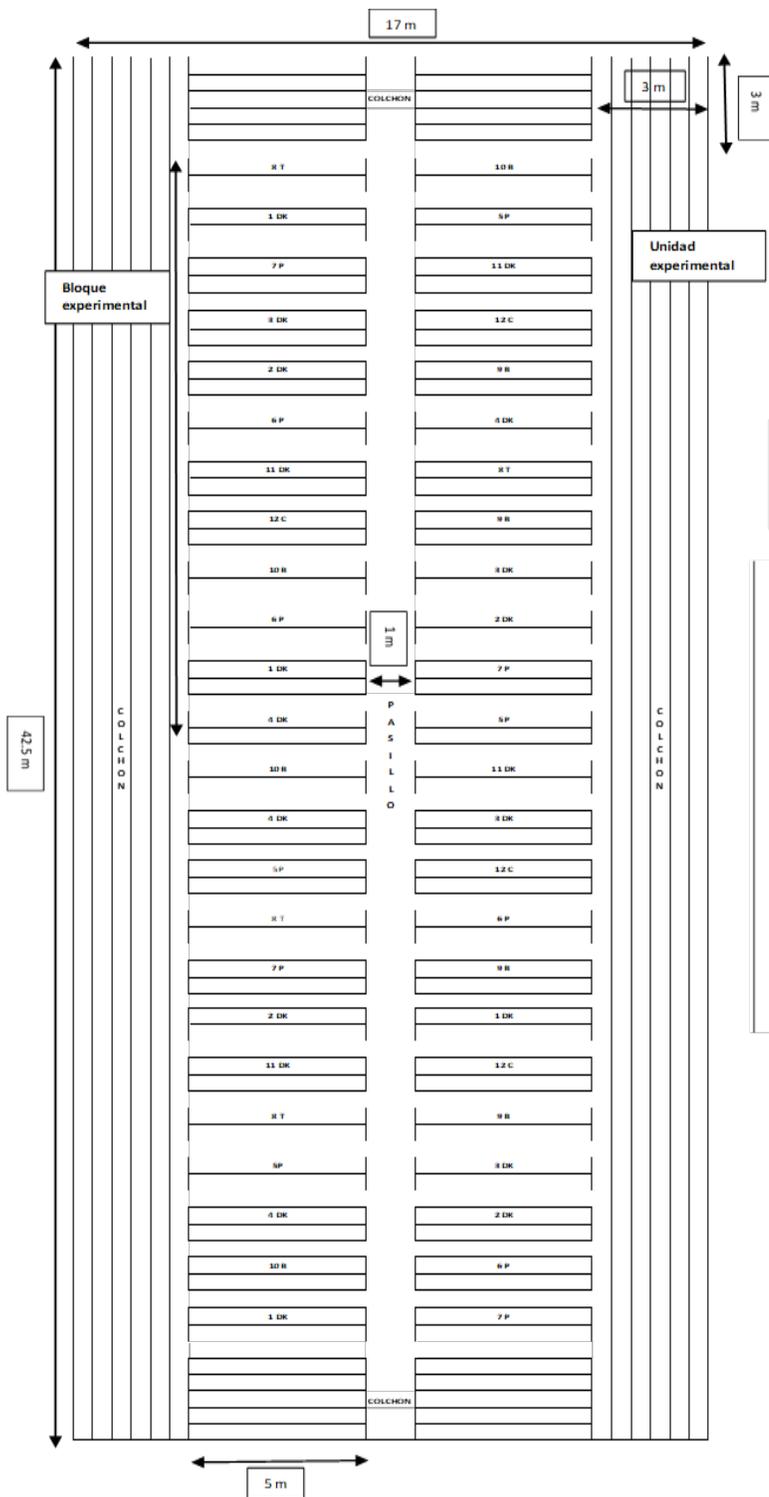
Material genético

Se evaluaron once variedades de maíces híbridos blancos y amarillos los cuales son: *DK 410*, *PIONER P4*, *DK 7500*, *PIO P396*, *DK 357*, *DK 6018*, *BREV 3916*, *DK 7508*, *BREVANT B*, *TORNADO*, *PIONER P3* y se utilizó el maíz *criollo* de testigo.

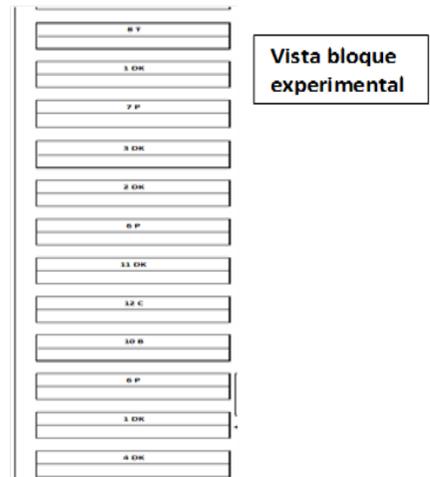
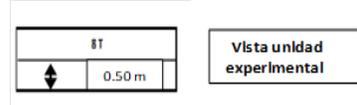
Diseño, fertilización y tamaño de la parcela experimental

Se utilizó una parcela de $17 \times 42.5 \text{ m}^2$ la cual se dividió en 4 subparcelas experimentales (llamados bloques en la fig 2), cada subparcela experimental contenía las 12 variedades de maíz, las cuales fueron aleatoriamente distribuidas al azar, con un colchón perimetral de 3 m alrededor de la parcela. En cada subparcela ($n=4$) se sembraron las 12 variedades de maíz, cada variedad de maíz se considera una unidad experimental, la cual constó de 5 surcos de 0.8 m ancho por 5 m de largo, con una densidad de siembra de 80 mil plantas por hectárea.

Figura 2. Plano de campo. Diseño de la parcela al azar con doce tratamientos y cuatro repeticiones (subparcelas o Bloques).



Numero	Variedades	Nomenclatura
1	DK-6018	1 DK
2	DK 7508	2 DK
3	DK 7500	3 DK
4	DK 410	4 DK
5	PIONER, P3966	5 P3
6	PIONER, P4062	6 P4
7	PIONER, P30F35	7 P3 P
8	TORNADO R42	8 T
9	BREVANT, B3916	9 B
10	BREVANT, B2928	10 B
11	DK 357	11 DK
12	CRIOLO	12 C



Manejo agronómico

Se realizó una labranza manual a 5 cm de profundidad usando una coa, donde se introdujo el fertilizante y semilla con dos centímetros de separación quedando la semilla en la parte superior, que se distribuyó para lograr la densidad mencionada. La fecha de siembra fue el 04 de Julio del 2021. Posteriormente de la siembra se aplicaron los herbicidas Atrazina y glifosato a una concentración 1.2 L/ha y 3 L/ha respectivamente haciendo uso de una bomba de mochila.

La siembra se realizó en terrenos con pendiente muy pronunciada dada la región geográfica, donde el uso de maquinaria no puede realizar dichos trabajos de labranza, por ser terrenos pedregosos ni los animales pueden entrar, la SEMARNAT (2002) reporta 48.8% de suelos con degradación, de la cual 31.3% es por erosión hídrica, (25.9% con afectación superficial y 5% con presencia de cárcavas), y un 14.5% de degradación química, que conlleva a la pérdida de extensas superficies de suelos, declinación de la calidad de la tierra y la capacidad productiva (Baumann, 2000).

Control de plagas y maleza

Para lograr el control de plagas se formularon de acuerdo con las necesidades y condiciones de la localidad. La maleza se controló con Faena (glifosato) 3 L/ha, Gesaprim calibre 90 (Atrazina) 2 Kg/ha, las plagas como gusanos cogollero (*Spodopera frugiperda*) y gallinita ciega (*Phyllophaga spp.*) se aplicó la marca comercial "Alicante" (clorpirifos etil +permetrina) 4 a 5 kg/ha. A los 30 días de siembra se aplicó Hierbamina (2-4 D) 1 L/ha.

La fertilización se determinó de acuerdo con los resultados del análisis de suelo obtenidos previo a la siembra, teniendo como meta 10 toneladas de grano por hectárea ajustado a 14% de humedad.

Para las mediciones de las variables se utilizaron los tres surcos de cada unidad experimental. La cosecha destinada a la evaluación se realizó a mano.

La cosecha de la parcela experimental se realizó el 03-ene-2022.

De cada unidad experimental de los maíces evaluados para grano se tomaron registró (el peso del grano tal cual como fue cosechado). Posteriormente, el rendimiento de grano de todos los híbridos se ajustó a un 14% de humedad.

Rendimiento

En el sitio de corte se tomaron tres muestras de forraje de cada variedad de maíz. de cada parcela experimental, para determinar su rendimiento en materia fresca y en materia seca (ton/ha), tomando 3 m lineales por triplicado del centro de los surcos cuatro y cinco, el cual se pesó para determinar el rendimiento en fresco (ton MF/ha), se tomaron 1000 gramos de la muestra en fresco y se secaron en una estufa a 60°C, 48 h para determinar la cantidad de materia seca (por triplicado). Y así calcular el rendimiento por hectarea (ton MS/ha).

Variables medidas:

Semillas sembradas (Ss): Total de semillas sembradas en la parcela experimental por unidad experimental.

Plantas germinadas (Pg): Total de semillas germinadas en el área de estudio por unidad experimental.

Plantas a cosecha (Pc): El número de plantas que llegaron a final de su madurez fisiológica, esta se determino contando el numero de plantas, tomando 3 m lineales por triplicado del centro de los surcos cuatro y cinco

Numero de mazorcas (N° M): El número de mazorcas cosechadas en la parcela experimental por unidad experimental, esta se determino contando el numero de plantas, tomando 3 m lineales por triplicado del centro de los surcos cuatro y cinco

Rendimiento en toneladas en materia fresca (RTMF): Es la cantidad en kilos de plantas en verde triturada por unidad experimental, esta se determino contando el numero de plantas, tomando 3 m lineales por triplicado del centro de los surcos cuatro y cinco

Rendimiento de toneladas en materia seca (RTMS): Es la cantidad en kilos de plantas al final de su madurez fisiológica para determinar su mayor cantidad de materia por unidad experimental, esta se determino contando el numero de plantas, tomando 3 m lineales por triplicado del centro de los surcos cuatro y cinco

Rendimiento en toneladas de grano por hectárea (RTGrano): Es la cantidad en kilos de grano por unidad experimental, esta se determino contando el numero de mazorcas , tomando 3 m lineales por triplicado del centro de los surcos dos y tres, se pesaron las. Mazorcas y se desgranaron, y se calculo el RTGrano.

Porcentaje de germinación (Pg): Es el resultado de semillas que emergieron en cada unidad experimental con respecto a las semillas sembradas, para ello se tomaron 3 cajas de petri, y se sembraron 10 semillas por caja y se evaluo el Pg.

Porcentaje de plantas a cosecha (PPC): Es el resultado de plantas que llegaron a su madurez fisiológica con relación a las semillas sembradas.

Porcentaje de mazorcas (PM): Es la cantidad de mazorcas que llegaron a su producto final que son útiles. Con relaciona a las plantas a cosecha. esta se determino contando el numero de mazorcas , tomando 3 m lineales por triplicado del centro de los surcos dos y tres, y se pesaron las Mazorcas para el calculo de PM.

Análisis estadístico

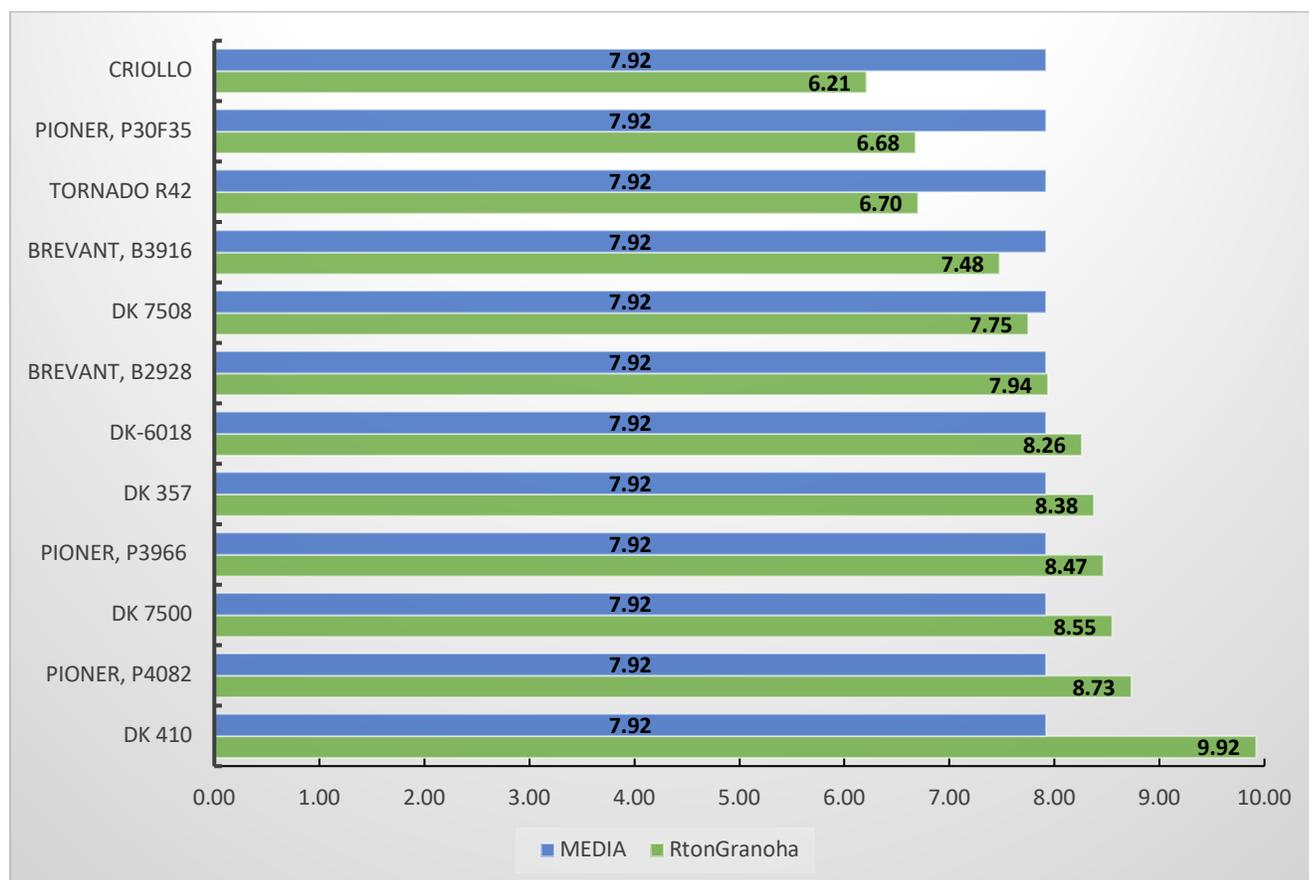
Los datos de rendimiento forrajero (ton MS/ha, Ton MF/ha) y productivo (Semillas sembradas; Plantas germinadas; Plantas a Cosecha; Numero de mazorcas; Rendimiento en toneladas de grano por hectárea; Porcentaje de germinación, Porcentaje de plantas a cosecha y Porcentaje de mazorca), se analizaron utilizando un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones cada una (Parcelas o bloques). La información fue computada mediante análisis de varianza con el programa SAS (1999), y las diferencias significativas se analizaron por una prueba de Tukey a $P < 0.05$.

VI. RESULTADOS

Se evaluaron materiales genéticos de 4 diferentes empresas: CERES, PIONNER, BREVANT y DEKALB, además de un material genético nativo como testigo.

Las variedades DK410, PIONERP4 y DK7500 presentaron el mayor contenido de grano (9.9, 8.7 y 8.5 ton MF/ha, respectivamente) (imagen 18) con respecto a los maíces nativos (6.21 ton MF/ha).

Grafica 1. Rendimiento de grano de maíz de 12 diferentes variedades de diferentes empresas evaluadas en la región sur del Estado de México.



Los híbridos evaluados presentaron un rendimiento de 23.83 a 48.71 ton/ha de forraje en materia fresca (MF) y de 13.35 a 21.11 t ha en materia seca (MS) (Cuadro 5).

En el Cuadro 1 se presentan los resultados agronómicos de los maíces evaluados. De todas las variedades de maíces evaluadas en este estudio se cultivó el mismo número de semillas, sin embargo, el maíz híbrido DK410 destacó por ser el que presentó el mayor número de plantas germinadas ($P < 0.0001$) y en consiguiente fue el que obtuvo el mayor número de plantas cosechadas ($P < 0.0001$) y número de mazorcas, además de obtener el mayor rendimiento en toneladas de grano por hectárea ($P < 0.0001$). El maíz criollo obtuvo el mayor rendimiento de materia fresca por hectárea ($P < 0.0001$) y el maíz híbrido DK357 fue el que presentó el rendimiento de materia seca por hectárea mayor con respecto a los otros maíces evaluados ($P < 0.0001$).

Cuadro 5. Resultados de variables agronómicas en el municipio de Amatepec Estado de México 2021 en condiciones de temporal.

VARIABLES	DK7508	BREV3916	DK6018	DK410	PIO396	DK7500	DK357	BREVANTB	PIONERP4	TORNADO	CRIOLO	PIONERP3	P< value
Ss	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	0.9870
Pg	58.00 ^h	67.00 ^e	61.00 ^g	82.00 ^a	65.00 ^f	77.00 ^b	75.00 ^c	77.00 ^b	70.00 ^d	65.00 ^f	77.00 ^b	65.00 ^f	0.0001
Pc	53.00 ^k	64.00 ^f	59.00 ⁱ	81.00 ^a	62.00 ^g	75.00 ^b	74.00 ^c	75.00 ^b	66.00 ^e	61.00 ^h	68.00 ^d	56.00 ^j	0.0001
N° M	55.00 ^j	64.00 ^e	59.00 ^h	80.00 ^a	61.00 ^g	73.00 ^b	72.00 ^c	71.00 ^d	62.00 ^f	57.00 ⁱ	62.00 ^f	51.00 ^k	0.0001
RTMF/Ha	24.91 ^k	29.40 ^g	34.33 ^d	39.21 ^b	28.98 ^h	33.48 ^e	39.10 ^c	28.82 ⁱ	32.93 ^f	26.66 ^j	48.71 ^a	23.83 ^j	0.0001
RTMS/Ha	14.20 ^j	14.11 ^k	16.48 ^e	20.39 ^c	15.94 ^g	18.08 ^d	21.11 ^a	15.56 ^h	16.46 ^f	15.46 ^j	20.46 ^b	13.35 ^j	0.0001
RTGrano/Ha	7.750 ^h	7.480 ⁱ	8.260 ^f	9.920 ^a	8.470 ^d	8.550 ^c	8.380 ^e	7.940 ^g	8.730 ^b	6.700 ^j	6.210 ⁱ	6.680 ^k	0.0001
PG	65.91 ^h	76.14 ^e	69.32 ^g	93.18 ^a	73.86 ^f	87.50 ^b	85.23 ^c	87.50 ^b	79.55 ^d	73.86 ^f	87.50 ^b	73.86 ^f	0.0001
PPC	60.23 ^k	72.73 ^f	67.05 ⁱ	92.05 ^a	70.45 ^g	85.23 ^b	84.09 ^c	85.23 ^b	75.00 ^e	69.32 ^h	77.27 ^d	63.64 ^j	0.0001
PM	103.8 ^a	100.0 ^b	100.0 ^b	98.8 ^c	98.4 ^d	97.3 ^e	97.3 ^e	94.7 ^g	93.9 ^h	94.3 ⁱ	91.2 ^j	91.1 ^k	0.0001

(Ss) Semillas sembradas; (Pg) Plantas germinadas; (Pc) Plantas a Cosecha; (N° M) Número de mazorcas;

(RTMF/Ha) Rendimiento en toneladas de Materia Fresca por hectárea; (RTMS/Ha) Rendimiento en toneladas de Materia seca por hectárea; (RTGrano/Ha) Rendimiento en toneladas de grano por hectárea; (PG) Porcentaje de germinación (PPC) Porcentaje de plantas a cosecha; (PM) Porcentaje de mazorca

VII. DISCUSION

Los resultados de este estudio mostraron una variación fenotípica entre los híbridos evaluados, lo cual permite seleccionar a los más sobresalientes.

En el presente estudio, el rendimiento de materia fresca mostró diferencias estadísticas para todas las variedades evaluadas. Es de notar que los maíces híbrido evaluados fueron los que presentan el menor rendimiento, La producción para los maíces híbridos Pioneer y DK fue baja si se compara con la estimada de 55,8 Ton/Ha (Pioneer) y de 50 Ton/Ha (Dk) por Wenholz y Vivas (2007). Lo anterior puede ser porque el maíz híbrido expresa mejor su potencial genético en condiciones de riego controlado, a diferencia de los criollos, que se adaptan mejor al clima (Turrent et al., 2012).

De acuerdo con los resultados del maíz criollo con una densidad de 77 mil plantas lograron rendimientos superiores a los híbridos. Estos resultados se asemejan a los encontrados por Antolín et al., (2009) que evaluaron la variedad de maíz Cacahuacintle y otros materiales híbridos, encontrando que, con una densidad de 85,000 plantas por hectárea, se obtienen de 52.5 ton/ha de biomasa. Sin embargo, son inferiores a lo reportado por Elizondo (2011) que van desde 131.9 a 82.6 ton/ha de materia verde para una variedad criolla y un híbrido, respectivamente. Lo anterior nos sugiere que los maíces criollos tienen tanto potencial para ser usados en la producción de forraje, ya que pueden ser igual o mejor que las variedades híbridas forrajeras.

Estas diferencias se pueden explicar debido a que cada maíz presenta diferentes características genéticas (Cervantes et al., 2016). Si juntamos el componente genético, los efectos ambientales y la interacción que existe entre el genotipo dan como resultado la expresión de la varianza fenotípica (Rocandio- Rodríguez et al., 2014).

Cuando observamos la producción del rendimiento de grano se puede notar que todos los híbridos superan al maíz criollo hasta en un 50 % (Cuadro 8). Los maíces híbridos si son favorecidos por humedad residual y temperatura, presentan rendimientos favorables (Tadeo-Robledo et al., 2015), lo cual puede verse en los resultados obtenidos en el presente estado. Aunque la producción no fue similar del criollo y las variedades, se tiene que resaltar la importancia de conservar la diversidad de estos materiales, adaptados a la región, comparativamente con respecto a las variedades mejoradas (Espinosa et al., 2012). Sierra et al. (2008), menciona que los maíces híbridos están diseñados para tener mayor rendimiento de semilla.

VIII. CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre genotipos de maíz para todas las variables evaluadas. El maíz híbrido DK410 destacó por ser el que presentó el mayor número de plantas germinadas, plantas cosechadas, y de mazorcas, además de obtener el mayor rendimiento en toneladas de grano por hectárea, sin embargo, el maíz criollo obtuvo el mayor rendimiento de materia fresca por hectárea. Podemos concluir que el maíz híbrido DK410 puede ser una buena alternativa para su cultivo en la región de Amatepec, estado de México, con respecto a los maíces evaluados en el presente estudio.

IX. REFERENCIAS

Andrade, F. A. (1996). Ecofisiología del cultivo de Maíz. Editorial la Borrosa y Dekalb Press. Buenos Aires, Argentina. 292 pp.

Antolín, D.M., González, R.M., Goñi, C.S., Domínguez, V.I.A., Arciaga, G.C. (2009). Rendimiento y producción de gas in vitro de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. *Técnica Pecuaria en México* 47: 413-423 p.

Acosta B. (2023). Abono orgánico: qué es, tipos, beneficios y cómo hacerlo. (Consulta: 17 de mayo de 2022) Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/abono-organico-que-es-tipos-beneficios-y-como-hacerlo-1992.html>

Agrotterra. (2021). Herbicidas, clasificación y uso. *Agrotterra Tecnologías Agrarias S.L.*

Aguilar, C. C. (2016). Eficiencia agronomica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maiz en funcion del nitrogeno. *Terra Latinoamericana.*, 1-11.

Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., Mejía-Contreras, J. A., Conde-Martínez, V. F., & Trinidad-Santos, A. (2015). Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 18(2), 151-163.

Baumann, J. (2000). La degradación de suelos: procesos, causas y su combate. En: Quintero-Lizaola, R., Reyna-Trujillo, T., Corlay-Chee, L., Ibáñez-Huerta A., García-Calderón, N.E. La Edafología y sus Perspectivas al Siglo XXI. Tomo I. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Chapingo. Méx., México. 145-154 pp

Borlaug, N. E. (1972). La revolucion Verde, Paz y Humanidad. *Serie de Reimpresos y Traducciones CIMMYT* , 3. 37.

Borbón-García, A., González-González D., Macías-Cervantes, J., Pérez-Márquez, J., CortezMondaca, E., Ureta-Téllez, J., Astengo-Cázares, H., Valdez-Amaya, J. (2011). Recomendaciones para el Cultivo de Maíz Durante el Ciclo Otoño-Invierno en el Estado de Sinaloa. SAGARPA-INIFAP-CIRNO-CEVCul, Culiacán, Sinaloa, México. Folleto Técnico # 56

Barcelo, J. E. (1984). Fisiología Vegetal. *Ediciones Piramide, S.A.*

Cheng, P. C. (1994). Morphology and development of the tassel and ear. In M. *Freeling & V. Walbot, New York, NY, USA, Springer-Verlag.*, 456.

Carrera, V. J. (2006). Respuesta a densidad de población de cruzas de maíz tropical y subtropical adaptadas a Valles Altos. *Revista Fitotecnia Mexicana.*

Cervantes Adame, Y.F., Castillo, Gutiérrez, A., Carapia Ruiz, V.E., Andrade Rodríguez, M., Núñez Valdez, M.E., Villegas Torres, O.G., & López Santillán, J.A. (2016). Variabilidad genética y asociación morfológica entre poblaciones nativas de maíz y sus cruzas F1. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*,7(8), 1919-1931.

Caballero-García. (2019). validacion empirica de la teoria multicentrica del origen y diversidad en Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27.

Copeland L.O., and McDonald M. B. (1995). Principles of seed science and technology. 3^a. ed. Ed. Chapman Hall. Nueva York. 409 p.

Cruz, D., & Leos, J. A. (2019). La Producción de Maíz en Sinaloa, México, y sus Implicaciones para el Medio Ambiente. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*,(25), 100-118.

Dickerson, G. W. (1996). Nutritional Analysis of New Mexico Blue corn and Dent Corn Kernels, Extension Horticulture Specialist. (Consulta: 11 de junio de 2022) Disponible en: http://www.cahe.nmsu.edu/cahe/redtops/_h/h-233.html.

Eghball, B., Ginting, D., Gilley, J.E. (2004). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.*, 96: 442-447.

Espinosa, C.A., Turrent, F.A., y Tadeo, R.M. (2012). Recursos fitogenéticos, patrimonio biocultural, semillas y seguridad alimentaria. In: Políticas Agropecuarias, Forestales y Pesqueras. Calva, J. L. (Coord.). Análisis estratégico para el desarrollo. Consejo Nacional de Universitarios. 9:198-218 p.

Espinosa Calderón, A., Gómez Montiel, N., Sierra Macías, M., Betanzos Mendoza, E., Caballero Hernández, F. (2019). Variedades e híbridos de maíz de calidad proteínica en México. (Consulta: 12 de mayo de 2022) Disponible en: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-antteriores/ediciones-antteriores/7-vol-57-num-3-julio-septiembre-2006/comunicaciones-libres58/22-variedades-e-hibridos-de-maiz-de-calidad-proteinica-en-mexico>

Elizondo-Salazar, J.A., y Boschini-Figueroa, C. (2002). Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía mesoamericana* 13: 13-17 p.

FAO. (1993). El maíz en la nutrición humana. Ed. Colección FAO; Alimentación y nutrición, No. 25, Roma. 172 p.

FAO. (2004). Política de desarrollo agrícola. (Consulta: 23 de mayo de 2023) Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-y5673s.pdf>

Alberto, F. P., Reyes-García, G., Vargas-Álvarez, D., Damián-Nava, A., Hernández-Castro, E., Juárez-López, P., & Cruz-Lagunas, B. (2017). Rendimiento de maíces cultivados en la región Tierra Caliente, Guerrero, México. *Acta agrícola y pecuaria*, 3(1).

FAO.(2005). Tipos de maíz. (Consulta: 18 enero 2023). Disponible en: <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s07.htm>

FAHN, A. (1978). Anatomía Vegetal. *Blume, Madrid*.

García, E. (2005). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Talleres Larios. México, D.F. 220 p.

Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M., & Romero Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 47-56.

Gómez., O. S. (2016). Productores del Estado de México obtendrán mejores rendimientos de maíz en el ciclo PV 2016 (Consulta: 10 enero 2023). Disponible en: <https://idp.cimmyt.org/productores-del-estado-de-mexico-obtendran-mejores-rendimientos-de-maiz-en-el-ciclo-pv-2016/>

Galinat, W. (1959). The phytomer in relation to floral homologies in the American Maydeae. *Leaf. Harv. Univ.*, 1-32.

Galinat, W. (1988). El origen del maíz. En GF Sprague y JW Dudley, eds. Maíz y mejoramiento del maíz 3ra ed., p. 1-31. *Madison, WI, EE. UU., Sociedad Estadounidense de Agronomía*, 1-31.

Hernández, J. A. (2009). El origen y diversidad del maíz en el continente americano. Researchgate.

Hernández Navarro A. (2018). El abono fermentado bocashi permite mejorar la rentabilidad de la producción del cultivo de maíz. Consultado XX. (Consulta: 18 enero 2023). Disponible en: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/reciclaje-de-nutrientos-con-los-abonos-organicos-curso-para-productores-de-estado-de-mexico/>

Hernández, R. R. (2021). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *Ingeniería Agrícola*, 11(1).

ICAMEX. (2019). Antecedentes. (Consulta: 18 enero 2023). Disponible en: <https://www.icamex.edomex.gob.mx:icamex.edomex.gob.mx/antecedentes>

INEGI.(2007). Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. (Consulta: 18 enero 2023). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/default.html>

INIFAP-CIRNO. (2010). Guía Técnica para el área de Influencia del Campo experimental Valle de Mexicali. Maíz. SAGARPA-INIFAP-CIRNO-CEMEXI. Mexicali, Baja California México. Guía Técnica 1, 57-66

INTAGRI. (2017). Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.

Jackson D. S., and Shandera. J. R. (1995). Corn Wet Milling: Separation Chemistry and Technology, *Advances in Food and Nutrition Research*. 38:271-297.

Jaspeado, R. R., Salazar, J. A. G., Mata, R. G., Bueno, L. E. G., Escalona-Maurice, M. J., & Vásquez, M. P. (2020). Determinación de las regiones más competitivas de maíz en el estado de México en función de la producción potencial. *Interciencia*, 45(3), 150-157.

Kwang, S.K., Beresford, R.M., and Walter M. (2013). Development of a disease risk prediction model for downy mildew (*Peronospora sparsa*) in boysenberry. *Phytopathology*. 58: 1-30.

Marino, G.C., Gómez M.N, O.,Pereyra H. J., Muñoz E. (2008). Híbridos de maíz elotero tolerante al complejo “Mancha de asfalto” en el estado de Guerrero. CEIGUA-CIRPAS-INIFAP. Folleto técnico Núm. 17. 36 p.

Martínez F. H. (1997). Estudios Bioquímicos y Nutricionales en Tortillas de Maíz Elaboradas por un Proceso de Extrusión. Tesis de Doctorado. Centro de investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Biotecnología y Bíoingeniería. México, pp.7-35.

Marín Jarillo, A., & Bujanos Muñiz, R. (2008). Especies del complejo " gallina ciega" del género *Phyllophaga* en Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 349-355.

Mistrik, I. &. (1995). Uptake, transport and metabolism of photophates by individual roots of *Zea mays* L. *Biologia (Bratislava)*, 419-426.

Mertz, E. J. (1975). Use of small animals for evaluation of protein quality in cereals. En High-quality-protein maize, CIMMYT-Purdue International Symposium on Protein Quality in Maize. *Stroudsburg, Pa., EE.UU. Dowden Hutchinson & Ross.*, 306-329.

Narro-Garza, H. (2012). la diversidad de especies útiles y sistemas agroforestales.11

Poething, R. (1994). The maize shoot. In M. Freeling & V. Walbot, eds. The maize handbook. *New York, NY, USA, Springer-Verlag.*, 11-17.

Narváez-González E.D., Figueroa J.D., Gaytán, C. M., Véles, J.J. (2004). Relación entre el tamaño del gránulo de almidón y las propiedades funcionales de maíz mexicanos. In: Memorias del 1er. Congreso Nacional de Nixtamalización del maíz a la tortilla. García R. J. M. E. Rodríguez. G.C. A. Gómez. A. y M.A. Cornejo. V. (eds). Querótaró, 17-21 de octubre. FATAUNAM. México, pp. 66-67.

Paliwal R.L. (2021). En Fermedades del maíz. Fecha de consulta XX. (Consulta: 18 enero 2023). Disponible en: <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s10.htm>

Quiroga-Murcia, D., & Posada-Flórez, F. J. (2013). Daño ocasionado por el falso gusano alambre *Eleodes pos. omissoides* Blaisdell (Coleoptera: Tenebrionidae) en semillas de gramíneas y leguminosas. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 391-400.

Reséndiz, R. Z., López, S. J. A., Osorio, H. E., Estrada D. B., Pecina, M. J. A., Mendoza, C. M. C., Reyes, M. C. A. (2016). Importancia de la resistencia del maíz nativo al ataque de larvas de lepidópteros. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 20(59):3-14.

Reyes Castañeda, P. (1990). *El Maíz y su Cultivo*. AGT editor. México, D.F. Pp. 460.

Rocandio-Rodríguez M, Santacruz-Varela A, Córdova-Téllez L, López-Sánchez H, Castillo-González F, Lobato-Ortiz R, ... & Ortega-Paczka R. (2014). Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Revista fitotecnia mexicana*,37(4), 351-361.

Rodríguez-Vélez, B., Suaste-Dzul, A., Gallou, A., Rodríguez-Vélez, J. M., Sarmiento-Cordero, M. A., & Arredondo-Bernal, H. C. (2019). Pulgones (Hemiptera: Aphididae) y sus parasitoides (Hymenoptera) en cultivos de sorgo en los estados de Colima y Tamaulipas, México. *Acta zoológica mexicana*, 35.

Romero, P. J. (1993). *El Ajonjolí su tecnología y problemática en la región sureste de Tierra Caliente, Michoacán. geografía agrícola*.

Rueda, M. (2013). producción de Semilla de líneas progenitoras de maíz. scielo.

Ritchie, R. S. (1992). How a corn plant develops. *Ames, IA, USA, Iowa State University.*, 17.

Sanchez Berta, A. R., and Porter J. (2014). Temperatures and the Growth and Development of Maize and Rice: A Review. *Global Change Biology* 20:408-417 doi:10.1111/gcb.12389.

SAS. (1999). Statistical Analysis system Institute. User's Guide: Statistics version 8, Cary, NC.USA.

SEMARNAT. (2002). Evaluación de la degradación inducida por el hombre, es la 1,250,000 México. Pag.68 p.

Sevik, M. A. (2018). CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS Y SEROLÓGICAS DEL VIRUS MOSAICO AMARILLO DEL CALABACÍN AISLADO DE CALABACÍN (Cucurbita pepo), CALABAZA DE INVIERNO (C. maxima) Y CALABAZA (C. moschata). *Agrociencia*, 52(7), 1005-1011.

Sierra, M.M, Palafox, C.A., Rodríguez, M.F., Espinosa, C.A., Gómez, M.N., Caballero, H.F., Barrón, F.S., Zambada, M.A., Vázquez, C.G.(2008). H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México* 34(1):119- 122.

Tadeo-Robledo M., Zamudio-González, B., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Cárdenas-Marcelo, A. L., López-López, C., ... & Valdivia-Bernal, R. (2015). Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(1), 33-43.

Torres-Espejel B., Félix-Crescencio J., Espejel-García A., Romero-Domínguez J., Barrera-Rodríguez A.I., Ximha R. (2015). Determinación del uso potencial agrícola mediante modelación geoespacial y análisis multicriterio para la cuenca Balsas Mezcala. *Ra Ximha*. 11-15pp.

TA y Garvey E. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mexican Rural Development Research Reports*. 24: 1-36 p.

Varón de Agudelo, F., Rodríguez-Chalarca, J., Villalobos-Saa, J. C., & Parody-Restrepo, J. (2022). *Manual de enfermedades y plagas del maíz*. Dubai: Advanta Seed International 75 p. ISBN: 978-958-53980-1-6

Valarezo, O., Intriago, M., & Muñoz, X. (2013). Biología de la “chicharrita” *Dalbulus maidis* (Homoptera: Cicadellidae) y confirmación de su capacidad como vector del complejo viral de la Cinta Roja del maíz. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, (9), 36-39.

Vázquez, M., & Terminiello, A. (2008). Recuperación de suelos degradados de pequeños productores del cinturón hortícola del Gran La Plata. Valoración del problema y estrategias correctivas. FCAyF, UNLP. (Consulta: 30 de mayo de 2023) Disponible en:
https://www.agro.unlp.edu.ar/sites/default/files/paginas/2008._manual_cinturon_horticola_la_plata_directora_mabel_vazquez.pdf

Warman, A. (2001). *El campo mexicano en el siglo XX*. México: Editorial Fondo de Cultura Económica, 262 p

Watson S.A. (1988). Structure and composition, in *Corn: Chemistry and Technology*. Ed. Published by the American Association of Cereal Chemists. Inc St. Paul, MN. pp. 53-82.

Watson S.A. (1987). Structure and composition, in *Corn: Chemistry and Technology*. Ed. Published by the American Association of Cereal Chemists. Inc St. Paul, MN. pp. 53-82.

Wenholz C.O, Vivas Quila, N.J. (2007). Evaluación de dos híbridos y una variedad de maíz (*Zea mays*) en monocultivo y en asociación con frijol (*Phaseolus vulgaris*), para ensilaje. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*. 29-35 p. ISSN-e 1909-9959.

Weber C.W., E. Kohlhepp A., A. Idouraine and L. Ochoa J. (1993). Nutritional composition of tamales and corn and wheat tortillas. *Journal of Food Composition and Analysis* 6: 324-335.

Wilkes, H. (1985). Teosinte: el pariente mas cercano del maiz revisado. *Maydica*, 209-22.

X. ANEXOS:





