



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**EFECTO DE LA POSICIÓN DE
LA SEMILLA EN LA MAZORCA
SOBRE EL DESARROLLO DE
PLÁNTULA DE MAÍZ (*Zea
mays* L.)**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Agrícola

P R E S E N T A N

POZOS PÉREZ TANIA
SEVILLA GARCÍA PATRICIA

ASESORA DE TESIS

Dra. GLORIA MARIA SOLARES
DÍAZ

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

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

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

**EFFECTO DE LA POSICIÓN DE LA SEMILLA EN LA MAZORCA SOBRE EL DESARROLLO DE
PLÁNTULA DE MAÍZ (Zea mays L.)**

Que presenta la pasante: **Tania Pozos Pérez.**

Con número de cuenta: **417056928** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

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

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 11 de agosto de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Gloria Maria Solares Díaz	
VOCAL	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
SECRETARIO	Biol. Areli Castillo Ibarra	
1er. SUPLENTE	Ing. Fernando Ortiz Salgado	
2do. SUPLENTE	Mtro. Francisco Sebastián Martínez Díaz	

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

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



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

**EFFECTO DE LA POSICIÓN DE LA SEMILLA EN LA MAZORCA SOBRE EL DESARROLLO DE
PLÁNTULA DE MAÍZ (Zea mays L.)**

Que presenta la pasante: **Patricia Sevilla García.**
Con número de cuenta: **314295839** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 11 de agosto de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Gloria Maria Solares Díaz	
VOCAL	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
SECRETARIO	Biol. Areli Castillo Ibarra	
1er. SUPLENTE	Ing. Fernando Ortiz Salgado	
2do. SUPLENTE	Mtro. Francisco Sebastián Martínez Díaz	

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

AGRADECIMIENTOS

A nuestra alma máter, la Universidad Nacional Autónoma de México, por formarnos en sus aulas como profesionistas que honran el pasado, responden al presente y miran al futuro.

A la comunidad de Ingeniería Agrícola, que ha sembrado en nosotras semillas de consciencia.

A nuestra asesora, la Doctora Gloria Maria Solares Díaz, por su compromiso y apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A Sandra Luz y Honorio, por preservar en sus parcelas los maíces chinantecos.

A las y los miembros de nuestro jurado, por sus aportaciones y orientación.

A la Maestra Laura, por ser un ejemplo a seguir, “que todo lo bueno te encuentre, te siga y se quede contigo”.

Al Dr. Enrique Martínez Manrique responsable del Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos y a la Ingeniera Verónica Jiménez Vera por su apoyo y orientación.

A nuestras amigas, mujeres de ciencia.

DEDICATORIA

A mi madre, María Antonia, mujer fuerte y feminista.

A mi padre, Enrique, hombre de lucha.

A mi prima, María Eugenia, por sus cuidados.

A mi hermana, Libertad, por su ejemplo.

Para las niñas de ciencia, ahora mujeres de ciencia.

Tania Pozos Pérez

«De todos los riesgos que he corrido, el único que no hubiera corrido nunca; es el de no haberlos corrido todos».

-Ángeles Mastretta

A Enedina y Anselmo, mis padres, quienes con su amor y valores me han formado y a quienes les debo esto. ¡Lo logramos!

A Jano y Ricardo, mis compañeros de vida. Les amo inmensamente.

A Braulio y Rafaela. Nunca supe lo profundo que podía amar hasta que les conocí.

A Valeria, mi hermana. Tu cariño ha sido mi fortaleza desde siempre.

A Tania, Sayra y Lupita. Juntas todo ha sido mejor, gracias por salvarme.

A Sergio Alonso, ser de luz.

Patricia Sevilla García

ÍNDICE

RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	1
I. REVISIÓN DE LITERATURA	2
1.1 ORIGEN E IMPORTANCIA DEL MAÍZ	2
PRODUCCIÓN MUNDIAL	2
PRODUCCIÓN NACIONAL	2
1.2 MEJORAMIENTO GENÉTICO EN MAÍZ	3
MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL USO DE NITRÓGENO EN EL MAÍZ	3
MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE AMINOÁCIDOS	4
RESISTENCIA A INSECTOS	4
TOLERANCIA A LA SEQUÍA	4
DISMINUCIÓN DE ÁCIDO FÍTICO EN LA SEMILLA	4
1.3 LA SEMILLA DE MAÍZ	5
REPRODUCCIÓN SEXUAL	5
POLINIZACIÓN Y DOBLE FECUNDACIÓN	6
FORMACIÓN Y DESARROLLO DE GRANO	6
FORMACIÓN DEL ENDOSPERMO	7
<i>Síntesis de almidón</i>	8
<i>Síntesis de proteínas de reserva</i>	8
DESARROLLO DEL EMBRIÓN	8
DESARROLLO DEL PERICARPIO	9
1.4 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN	9
COMPOSICIÓN	10
<i>Carbohidratos</i>	10
<i>Proteínas</i>	10
<i>Aceite y ácidos grasos</i>	11
1.5 GERMINACIÓN	11
METABOLISMO DE CARBOHIDRATOS	12
METABOLISMO DE PROTEÍNAS	12
METABOLISMO DE LÍPIDOS	13
1.6 EMERGENCIA Y PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO	13
DESCRIPCIÓN DE LAS PRIMERAS ETAPAS FENOLÓGICAS EN MAÍZ	14
<i>Emergencia (VE)</i>	14
<i>Collar de 1° hoja (V1)</i>	14
VIGOR DE PLÁNTULA	14
II. JUSTIFICACIÓN	15
III. OBJETIVO	15
IV. HIPÓTESIS	15
V. MATERIALES Y MÉTODOS	16

MATERIAL GENÉTICO	16
LOCALIZACIÓN	17
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
MÉTODOS	19
VARIABLES EVALUADAS	19
VI. RESULTADOS	20
PRUEBA DE VIABILIDAD.....	20
ANÁLISIS DE VARIANZA	23
COMPARACIÓN DE MEDIAS	25
VII. DISCUSIÓN.....	26
VIII. CONCLUSIONES.....	29
IX. RECOMENDACIONES	29
X. LITERATURA CONSULTADA	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo del grano en cereales. Expansión de grano, (II): llenado de grano, (III): maduración de grano. Peso fresco (PF), peso seco (PS) y contenido de agua (CA). Fuente: Adaptado de Farooq et al. (2021).....	7
Figura 2. Representación de la composición del saco embrionario femenino (A) y esquematización de las fases del desarrollo del endospermo (B) de cereales. Fuente: Adaptado de Armario (2017).	8
Figura 3. Principales estructuras del grano de maíz. Fuente: Adaptado de Martínez y Jiménez (2013).	10
Figura 4. Representación de los procesos asociados a la germinación de las semillas de cereales. 1. Liberación de GAs por el embrión. 2. Estimulación de la síntesis de hidrolasas. 3. Degradación de las reservas. 4. Transporte de nutrientes al embrión. Fuente: Adaptado de Armario (2017).	12
Figura 5. Variedad de maíz blanco del Estado de México.....	16
Figura 6. Variedad de maíz amarillo de Tula, Hidalgo.....	16
Figura 7. Variedad de maíz amarillo de Oaxaca de la localidad de San Lorenzo, San Juan Lalana, Choapam	17
Figura 8. Descripción gráfica de la determinación de tratamientos.	18
Figura 9. Resultado de la prueba de Tetrazolio en E1-Maíz blanco del Estado de México. De izquierda a derecha se muestran los tratamientos tercio basal, tercio medio y tercio superior.	21
Figura 10. Resultado de la prueba de Tetrazolio en E2-Maíz amarillo de Tula, Hidalgo. De izquierda a derecha se muestran los tratamientos tercio basal, tercio medio y tercio superior.	21
Figura 11. Resultado de la prueba de Tetrazolio en E3-Maíz amarillo de Oaxaca. De izquierda a derecha se muestran los tratamientos tercio basal, tercio medio y tercio superior.	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción del análisis estadístico en las variedades de maíz criollo evaluadas.....	18
Tabla 2. Porcentaje de viabilidad de las tres variedades de maíz: blanco del estado de México, amarillo de Hidalgo y amarillo de Oaxaca	20
Tabla 3. Coeficiente de correlación entre tamaño y peso de semilla en tres variedades de maíz: blanco del estado de México, amarillo del Hidalgo y amarillo de Oaxaca.....	22
Tabla 4. Coeficiente de correlación entre peso seco de vástago y peso seco de raíz en el Experimento 1. Maíz blanco, Estado de México.	22
Tabla 5. Coeficiente de correlación entre peso seco vástago y altura en el Experimento 2. Maíz amarillo, Hidalgo.	23
Tabla 6. Coeficiente de correlación entre peso vástago y altura en el Experimento 3. Maíz amarillo, Oaxaca.....	23
Tabla 7. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en tres variedades de maíz: blanco del estado de México, amarillo de Hidalgo y amarillo de Oaxaca.	24
Tabla 8. Comparación de medias del Experimento 1-Maíz blanco del Estado de México, para evaluar el efecto de la posición de la semilla en la mazorca en el desarrollo de la plántula.	25
Tabla 9. Comparación de medias del Experimento 2. que evaluó una variedad de maíz amarillo de Hidalgo.	25

RESUMEN

Domesticado en Mesoamérica hace más de nueve mil años, el maíz es actualmente el principal grano consumido en el mundo. México es parte de los diez principales productores a nivel mundial y para los mexicanos, el maíz, además de ser el alimento base, es un símbolo de identidad. El tamaño de la semilla de maíz es una característica de suma relevancia para el mejoramiento genético y para la agricultura tradicional mexicana, ya que las semillas más grandes son seleccionadas como progenitores para el siguiente ciclo de cultivo, criterio que se ha compartido por generaciones y sigue persistiendo; prefiriendo en su mayoría las semillas del tercio central de la mazorca por su uniformidad y tamaño, ya que a estas características se les atribuye un mayor vigor de plántula y por tanto un exitoso establecimiento del cultivo. Pero, el tamaño de la semilla no indica la eficiencia en la conversión de energía. Por ello, en este trabajo se determinó el efecto de la posición de la semilla en la mazorca sobre el desarrollo de plántula de maíz de variedades criollas. El trabajo estuvo dividido en tres experimentos de acuerdo con las variedades evaluadas: (E1) maíz blanco del Estado de México, (E2) maíz amarillo de Hidalgo y (E3) maíz amarillo Oaxaca. Cada experimento se dividió en tres tratamientos correspondientes cada uno a tercio basal, medio y superior de la mazorca, y cada tratamiento constituido por 20 repeticiones. Las variables evaluadas fueron concentración de almidón y proteínas en semilla, altura de plántula, longitud de la primera hoja, longitud de raíz, peso fresco de raíz y vástago, biomasa de raíz y vástago, tasa de conversión del vástago, tasa de conversión de raíz, tasa de conversión total. Las cuales se analizaron a través de correlación, análisis de varianza y comparación de medias con una significancia del 0.05. Los resultados mostraron diferencias significativas en concentración de proteínas, días a emergencia, peso fresco y seco de raíz, tasa de conversión de vástago y tasa de conversión total. Por otro lado, las asociaciones entre las variables analizadas fueron significativas como: peso seco de vástago vs peso seco de raíz y peso seco de vástago vs altura. Se concluye que, de acuerdo con la variedad, los compuestos de reserva de la semilla se aprovechan para la producción de biomasa de acuerdo con la posición de la semilla en la mazorca. Sin embargo, para otras variedades, la posición de la semilla no es un factor que afecte el desarrollo y vigor de plántula bajo condiciones favorables, sino que el genotipo, el ambiente y la interacción genotipo-ambiente determinan estas características.

INTRODUCCIÓN

Domesticado en Mesoamérica hace más de nueve mil años, el maíz es actualmente el principal grano consumido en el mundo con una producción mundial anual promedio de 1200 millones de toneladas métricas (Bolsa de Valores de Chicago, 2021). En México, es un símbolo de identidad nacional y base de nuestra alimentación; tan solo en 2020, este cultivo fue el más importante por superficie sembrada con poco más de siete millones de hectáreas (SIAP, 2021), cuya producción se desarrolla en una gran diversidad de condiciones climáticas y altitudes que pueden ir desde el nivel del mar y hasta los 3,400 metros de altitud (Conabio, s.f.).

En el mejoramiento genético de este grano, el tamaño de la semilla ha sido una característica de gran relevancia para la selección de las mejores variedades, donde generalmente se han preferido los tamaños más grandes (Magdaleno *et al.*, 2016). Pero las semillas más grandes no son estrictamente las más eficientes en la conversión de reservas (Milla y Matesanz, 2017 cfr Vargas *et al.* 2020), de hecho, estudios realizados con frijol, han encontrado que existe una relación inversa entre el tamaño de la semilla y su rendimiento en grano, además de que semillas de mayores tamaños presentan una reducción en el crecimiento de la planta y una tasa de intercambio de carbono menor (Rodríguez *et al.*, 2005).

Por otra parte, la semilla de maíz está constituida principalmente por el pedicelo (1%), el pericarpio (5%), el embrión (12%) y en mayor medida por el endospermo (82%), este aporta el 87% del total de almidón y se conforma también por proteínas como albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas, y en menor cantidad de aceites, cenizas y azúcares (Pérez de la Cerda, *et al.* 2007 cfr FAO, 1993). Sin embargo, Duvick y Casman (1999 cfr Triboi y Triboi-Blondel, 2002) encontraron que el incremento en el potencial genético de rendimiento después de 1967 generó una disminución de 1.5% en la concentración de proteínas mientras que la concentración de almidón aumentó 2% aproximadamente.

Es por lo anterior que el objetivo de este trabajo es comparar el desarrollo de plántulas provenientes de semillas de maíz de 3 posiciones y de 3 variedades diferentes, así como determinar si existen diferencias en cuanto a la proporción de los compuestos almacenados en las distintas variedades.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 ORIGEN E IMPORTANCIA DEL MAÍZ

El sistema alimentario mundial actualmente es sostenido en más del 50% por únicamente siete especies agropecuarias donde el maíz tiene un lugar importante (Boege, 2009). Es considerado por algunos autores como una especie extraordinaria por sus diversas características, mismas que permitieron el auge de diversas sociedades durante su domesticación en Mesoamérica hace más de 6 mil años (Carrillo, 2009).

Sobre su origen, se piensa que fue domesticado a partir del teosinte, una planta silvestre del mismo género (*Zea perennis*) que comenzó a cultivarse en tres regiones diferentes del actual territorio mexicano alrededor del año 6 mil A.C.: Tehuacán, el Valle de Oaxaca y la sierra de Tamaulipas (Carrillo, 2009). A partir de entonces, el maíz se dispersó por Mesoamérica y los demás continentes donde, debido a las distintas condiciones ambientales en que se sembró y los intereses de los diversos grupos sociales, fueron modificando su constitución genética dando como resultado las diferentes razas y variedades de maíz que hoy se conocen (Perales, 2009) y que se cultivan, algunas de ellas, en 163 países diferentes. Específicamente en México, su cultivo está representado en casi todas las regiones agrícolas del territorio y su arraigo es tal que se tienen registros de unas 600 formas de preparar platillos y bebidas con base en esta gramínea (Caballero *et al.*, 2019).

PRODUCCIÓN MUNDIAL

Después de su domesticación en Mesoamérica, el maíz se extendió por el mundo como resultado del colonialismo europeo; ahora, es uno de los cultivos más importantes al ser un alimento básico en América Latina, África y Asia (Bradshaw, 2016), además de ser un alimento de consumo humano, se utiliza como forraje y para la producción de etanol, especialmente en los países desarrollados (Bekele *et al.*, 2011; U.S. Grains Council, 2019). De acuerdo con datos del FAOSTAT (2021), a partir de 1994 la producción de maíz a nivel mundial ha aumentado casi 50% alcanzando una producción de 1,200 millones de toneladas métricas (Bolsa de Valores de Chicago, 2021), con un precio que fluctúa alrededor de los 160 a 320 dólares por tonelada métrica desde el 2006; en este panorama, Estados Unidos de América, China, Brasil y Argentina son los mayores productores (International Monetary Fund, 2021).

PRODUCCIÓN NACIONAL

El maíz es el principal cultivo en México, a pesar de que a nivel mundial sea el séptimo productor (FAOSTAT, 2020). Sin embargo, debido a las políticas económicas, es el principal importador de maíz

amarillo en el mercado internacional, siendo Estados Unidos y Brasil sus principales proveedores. Por otro lado, el país logra exportar maíz blanco a países en diferentes regiones principalmente de América Latina (SIAP, 2020). A partir del 2019, México cuenta con el Programa de Precios de Garantía para Granos Básicos para pequeños productores de temporal (SEGALMEX, 2019). Para el año 2022, el precio de garantía para productores de pequeña escala en México es de 6 mil 278 pesos por tonelada más un apoyo de transporte de 160 pesos (SADER, 2021).

1.2 MEJORAMIENTO GENÉTICO EN MAÍZ

Los pueblos originarios y los campesinos fueron y siguen siendo los protagonistas de la domesticación y el mejoramiento genético del maíz quienes, de acuerdo a sus necesidades, han logrado la adaptación de este cultivo a distintas condiciones climatológicas o preferencias culturales resultando en un gran número de razas de maíz “nativas” (Márquez, 2008; Boege, 2009). La diversidad genética de estos materiales ha permitido el desarrollo de los híbridos actuales que hasta el día de hoy se han extendido por todo el mundo, los cuales no solo están adaptados a las condiciones climatológicas sino también a los diferentes sistemas de producción (Bradshaw, 2016). Instituciones como el INIFAP y el CIMMYT han sido las encargadas del mejoramiento genético del maíz en México. Como resultado, este cultivo es ahora clave en la seguridad alimentaria, lo que ha impulsado el desarrollo de diversas tecnologías con distintos enfoques pero que persiguen un objetivo común: mejorar la productividad (El-Esawi, 2018).

Aumentar el rendimiento de maíz por sí solo forma parte de un aumento en la productividad, pero en los últimos años también se han obtenido avances importantes con relación a otros aspectos como los que se indican a continuación:

MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL USO DE NITRÓGENO EN EL MAÍZ

Los rendimientos de maíz dependen fuertemente de la suplementación de Nitrógeno (N), pero la baja eficiencia en el uso de este elemento genera no solo un incremento en los costos de producción, sino que también contamina suelo y agua, por lo que ha sido necesaria la búsqueda de materiales con una mejora en la eficiencia del uso de nitrógeno (EUN). Actualmente, muchos de los procesos fisiológicos asociados con la EUN están bien caracterizados y los genes que participan favorablemente en estas vías metabólicas también han sido identificados, esto ha permitido el desarrollo de 2 materiales transgénicos capaces de modificar la expresión de genes relacionados en el metabolismo del N en maíz con un aumento del 30% en el rendimiento (Moose & Below, 2009).

MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE AMINOÁCIDOS

El aumento del rendimiento a través del mejoramiento genético ha modificado la composición del grano de maíz: mayor contenido de almidón, pero con una reducción del contenido de proteína. Esto, junto con una deficiencia natural de los aminoácidos lisina y triptófano, ha reducido la calidad nutricional de este cereal. Dada su importancia, se ha intentado abordar este problema mejorando la disponibilidad de aminoácidos. A través de la ingeniería genética, se ha logrado la obtención de materiales con una mejor disponibilidad de aminoácidos donde se combinan proteínas transformadas con alto contenido de lisina y una reducción de la proteína zeína en los granos (Kriz, 2009).

RESISTENCIA A INSECTOS

Los transgénicos de maíz resistentes a insectos son ampliamente utilizados en Estados Unidos, en donde han sido comercializados desde 1996. El evento más famoso es el llamado maíz Bt que al ser modificado genéticamente produce proteínas Cry1Ab provenientes de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt). Estas son altamente selectivas a ciertos lepidópteros, lo cual ha disminuido las pérdidas billonarias que causa el barrenador cada año. Los que promueven estos materiales aseguran que el uso de estos ha traído beneficios a los productores dado que disminuye drásticamente el uso de pesticidas y mejora la estabilidad del rendimiento, trayendo como consecuencia mayor rentabilidad. Ahora, también se comercializa maíz Bt que también es resistente a *Diabrotica spp.*, y con tolerancia a herbicidas (Head & Ward, 2009).

TOLERANCIA A LA SEQUÍA

El crecimiento demográfico y la variabilidad climática ponen en conflicto la disponibilidad de agua para la agricultura. En este sentido, los materiales tolerantes a la sequía toman gran importancia. En maíz, se ha logrado disminuir su alta sensibilidad al estrés hídrico durante la anthesis por medio de genotipos con un periodo de tiempo menor durante la misma. Pero todavía existe potencial para mejorar la tolerancia a sequía en maíz mediante diversas técnicas de mejoramiento genético (Mullet, 2009).

DISMINUCIÓN DE ÁCIDO FÍTICO EN LA SEMILLA

El ácido fítico representa alrededor del 80% del total del fósforo en la semilla y está relacionado con minerales importantes para la nutrición como lo son el calcio, el hierro y el zinc. Este no puede ser digerido eficientemente por humanos o ganado no rumiante como el porcino, así como aves. El maíz es un componente importante del alimento del ganado, el cual, al no poder digerir el fósforo en forma de ácido fítico en la semilla, este es excretado, lo que genera problemas de residuos que de no llevar un correcto manejo ocasionan daños al medio ambiente. Por otro lado, al no ser digerido por los humanos, puede resultar en deficiencia de minerales. En este sentido, pese a los esfuerzos por disminuir la síntesis

de ácidos fítico durante el desarrollo de la semilla, aunque no se han observado resultados importantes (Raboy, 2009).

Por otra parte, específicamente en México, la producción comercial de maíz transgénico no está permitida y es justificable debido a que representa un riesgo a la diversidad genética de esta especie ya que este territorio es centro de origen y domesticación. El país cuenta con la capacidad de alcanzar la autosuficiencia alimentaria en maíz a través de nuevos materiales generados por medio de técnicas de mejoramiento genético clásicas como la generación de híbridos o variedades sintéticas, por mencionar algunas.

1.3 LA SEMILLA DE MAÍZ

REPRODUCCIÓN SEXUAL

En la planta de maíz las flores femeninas y las masculinas están separadas. La inflorescencia masculina son anteras en forma de panoja apical y la femenina es una espiga originada a partir de meristemas axilares (Darrah *et al.*, 2019). Para la formación de los gametos masculinos y femeninos, se diferencian dos procesos, la microsporogénesis y la megasporogénesis, que dan lugar al gametofito masculino y femenino, respectivamente (Farooq *et al.*, 2021).

En la microsporogénesis, el polen se forma a partir del microsporocito (célula madre) que se divide por meiosis para generar cuatro microsporas con 10 cromosomas cada una (haploides). El núcleo de la microspora se divide por mitosis (sin citocinesis), generando un núcleo vegetativo y uno generativo. Cuando el polen (microspora) desarrolla el tubo polínico, el núcleo generativo se divide por mitosis (sin citocinesis), para formar dos núcleos, estos son los gametos masculinos (Darrah *et al.*, 2019; Guillén, 2018).

En la megasporogénesis, el megasporocito, que se encuentra dentro del megasporangio, se divide por meiosis para generar cuatro megasporas con 10 cromosomas cada una (haploides). De estas, tres son abortadas y la megaspora sobrante se somete a tres divisiones mitóticas, sin citocinesis, por lo que genera una célula con ocho núcleos haploides, el saco embrionario. Dentro de este, los núcleos se organizan quedando tres en cada hemisferio y dos en el ecuador. Uno de los tres núcleos del hemisferio basal del saco embrionario se agranda convirtiéndose en el óvulo. Al momento de la fecundación, el saco embrionario contiene una ovocélula con un núcleo y dos núcleos polares fusionados (Darrah *et al.*, 2019; Guillén, 2018).

POLINIZACIÓN Y DOBLE FECUNDACIÓN

El desarrollo de la semilla comienza con la doble fecundación donde un núcleo espermático se fusiona con la ovocélula y forman el cigoto mientras que el segundo núcleo espermático se une con los dos núcleos polares para formar el endospermo, de esta forma el embrión es diploide y tiene consigo la información genética para la siguiente generación; el endospermo, triploide, se convierte en un tejido de almacenamiento rico en nutrientes para alimentar al embrión durante la germinación (Guillén, 2018; Darrah *et al.*, 2019; Gu *et al.*, 2020).

FORMACIÓN Y DESARROLLO DE GRANO

La formación y desarrollo del grano es posible gracias a una serie de cambios moleculares y estructurales que son coordinados genéticamente en tiempo y espacio de acuerdo a cada especie y variedad en específico (Escaso *et al.*, 2010), pero también variaciones en las condiciones ambientales pueden afectar este proceso (Farooq *et al.*, 2021).

En los cereales como el maíz, el desarrollo del grano se puede dividir en tres fases (Figura 1) con relación al contenido de agua y su peso seco (Matilla, 2008; Farooq *et al.*, 2021):

- i. Expansión del grano: Esta es una fase de histodiferenciación y se caracteriza por una temprana y rápida división del cigoto y del núcleo triploide que además involucra consumo de agua, el cual permite el crecimiento de las células.
- ii. Llenado del grano: es controlado por el contenido de agua en el grano y es inversamente proporcional a la pérdida de la misma y a la deposición de biomasa. En esta fase, el crecimiento es principalmente por elongación celular. Durante esta fase se acumulan las sustancias de reserva y se sintetizan las auxinas y las giberelinas. Generalmente alcanza su punto máximo entre la tercera y cuarta semana después de la polinización, cuando las capas aleuronares rodean totalmente al endospermo.
- iii. Maduración del grano: Se lleva a cabo entre 40 y 70 días después de la polinización donde la tasa del llenado de grano disminuye y se alcanza la madurez fisiológica; en maíz se caracteriza esta etapa por la formación de una capa negra en el grano.

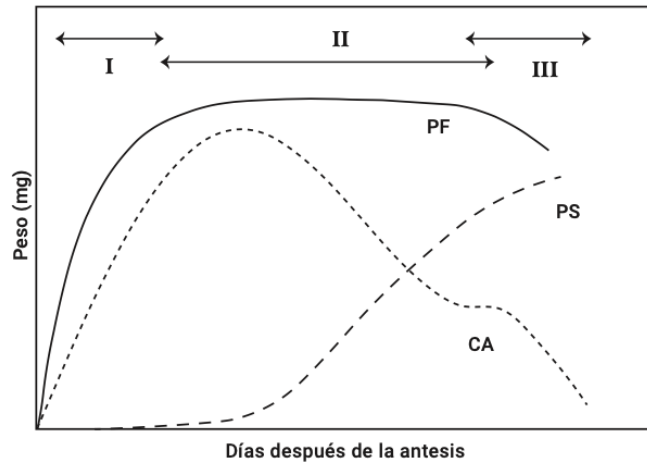


Figura 1. Desarrollo del grano en cereales. Expansión de grano, (II): llenado de grano, (III): maduración de grano. Peso fresco (PF), peso seco (PS) y contenido de agua (CA).
Fuente: Adaptado de Farooq *et al.* (2021).

FORMACIÓN DEL ENDOSPERMO

Una vez llevada a cabo la doble fecundación, el núcleo polar fecundado se convierte en el endospermo primario siendo un núcleo triploide que comienza a dividirse rápidamente por mitosis, pero sin citocinesis, dando lugar al sincitio alrededor de una vacuola central con ausencia de citoplasma, membranas o paredes celulares y con 512 núcleos en el caso de maíz (Farooq *et al.*, 2021; Armario, 2017). Enseguida, el sincitio comienza un proceso de celularización en el que los núcleos se dividen y migran hacia la periferia de la célula central para después dividirse en células independientes. Después de ello, las células nuevamente se dividen por mitosis generando un proceso de diferenciación dando lugar a los 4 tipos de células que constituyen el endospermo: de reserva, células de transferencia, zona circundante del embrión y capa de aleurona (Armario, 2017).

La formación del endospermo termina con su maduración, cuando las sustancias de reserva son acumuladas en su totalidad y se detiene la división celular (Figura 2) (Armario, 2017).

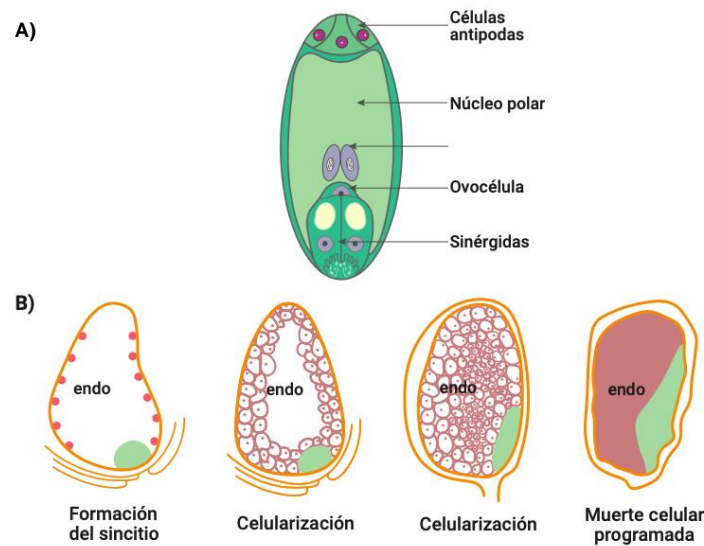


Figura 2. Representación de la composición del saco embrionario femenino (A) y esquematización de las fases del desarrollo del endospermo (B) de cereales. Fuente: Adaptado de Armario (2017).

Síntesis de almidón

Formado por los polímeros de glucosa, amilosa y amilopectina, la síntesis de almidón es clave en la actividad biosintética durante el desarrollo del grano (Irshad *et al.*, 2021) y procede tanto de la actividad fotosintética realizada después de la antesis como de la síntesis realizada en la semilla posterior a la descarga de fotoasimilados (Matilla, 2008).

Síntesis de proteínas de reserva

En las semillas maduras de maíz, la zeína corresponde alrededor de la mitad de las proteínas de reserva, siendo la más abundante en el endospermo. Se compone principalmente de aminoácidos como la prolina. Las proteínas de reserva son sintetizadas en el retículo endoplásmico rugoso para convertirse en cuerpos protéicos (Forato *et al.*, 2000; Farooq *et al.*, 2021). La concentración total de proteínas depende de la variedad, factores agronómicos y otros factores, por lo que varía entre 6 a 18%; la concentración más alta de proteínas se encuentra en el embrión, entre 17 a 20%, seguido del endospermo (8-9%) y el pericarpio (4-6%) (Lásztity, 1995).

DESARROLLO DEL EMBRIÓN

Para que una ovocélula fecundada (cigoto) se convierta en embrión, debe pasar por una serie de eventos coordinados caracterizados por la división celular, comunicación célula a célula y mecanismos de regulación genética. Este complejo proceso es mejor conocido como embriogénesis, el cual es de suma

importancia para la etapa postembrionaria y el desarrollo de la planta, debido a que al desarrollarse el embrión se establecen las células madre y los primeros tejidos precursores del patrón corporal de la planta. El proceso resulta en un embrión maduro con material genético materno y paterno, un eje embrionario bien diferenciado, raíces laterales y varias hojas desarrolladas (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1982; Palovaara *et al.*, 2016; Fontanet y Viciant, 2008).

DESARROLLO DEL PERICARPIO

El pericarpio es de suma importancia porque protege al embrión de factores externos (Palovaara *et al.*, 2016). Este se desarrolla a partir de las paredes del ovario, por lo que es puramente de origen materno (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1982; Armario, 2017; Farooq *et al.*, 2021). Las auxinas producidas durante la formación del endospermo son importantes para la regulación y desarrollo del pericarpio (Farooq *et al.*, 2021). En las primeras etapas de su desarrollo, el pericarpio es fotosintéticamente activo, al ir madurando la semilla pasa por un proceso de autólisis por lo que al final, este tejido está conformado por células muertas (Armario, 2017).

1.4 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN

Los granos de maíz son cariósides desnudas y sus partes fundamentales son el pericarpio, el endospermo y el germen o embrión (Figura 3). El pericarpio se ubica en la parte externa del grano y representa del 5-6% del peso total. El endospermo, dependiendo la variedad, conforma del 80-82% del grano y es la principal fuente de almidón y proteína en la semilla, mientras que el embrión constituye únicamente entre el 8 y 12% del peso del grano (Martínez y Jiménez, 2013).

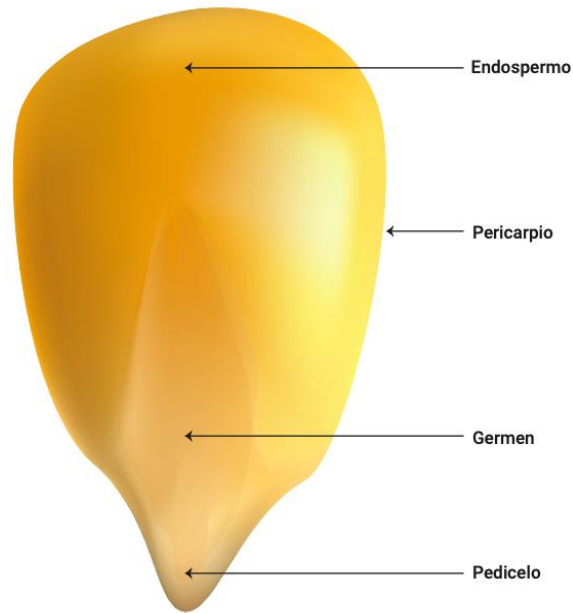


Figura 3. Principales estructuras del grano de maíz. Fuente: Adaptado de Martínez y Jiménez (2013).

COMPOSICIÓN

En las plantas, las semillas están diseñadas para transportar la información genética y los nutrientes requeridos para establecer la siguiente generación de plantas y la proporción de estos componentes almacenados difiere entre especies e incluso entre variedades de la misma especie (Ekman *et al.*, 2008). En el caso del maíz, diversos estudios se han llevado a cabo para comprender y evaluar la relación entre la composición química de las semillas y el elevado número de variedades existentes de esta especie (FAO, 1993) pero de forma general, en maíz se podrían señalar las siguientes proporciones (Benitez, 2006):

Carbohidratos

El almidón es el componente químico más abundante en el grano de maíz y puede oscilar entre el 71 y 73% del peso y está formado por dos polímeros: amilosa (25-30% del almidón) y amilopectina (70-75% del almidón). De igual forma, en los granos se puede encontrar también sacarosa y fructosa como otras formas de carbohidratos en cantidades que no rebasan el 3% del peso del grano.

Proteínas

Comúnmente, el contenido de proteína de los granos de maíz va del 8 al 11% y se localiza principalmente en el endospermo. La principal proteína en maíz es la zeína (50-60%), ricas en globulina, prolina, glutamina, leucina, alanina, entre otros aminoácidos.

Aceite y ácidos grasos

Localizados principalmente en el embrión, representa entre el 3 y 18% del peso total del grano y es constituido principalmente por ácidos grasos poli-insaturados y en menor medida por ácidos grasos saturados.

1.5 GERMINACIÓN

La germinación es el proceso fundamental que permite el desarrollo de una planta a partir de una semilla e involucra la reactivación del metabolismo dentro de la semilla. Este proceso está caracterizado por cambios fisiológicos y bioquímicos seguidos de cambios morfológicos (Ali & Elozeiri, 2017) que determinan la eficiencia en el uso de nutrientes y agua, por lo que tiene efectos sobre el rendimiento y la calidad de la cosecha (Xue *et al.*, 2021; García, 2015). El estudio de este tema es importante desde el punto de vista agronómico porque la germinación uniforme es una característica buscada en cereales y otros cultivos de importancia económica (Lásztity, 1995).

Este proceso se ha dividido en tres etapas para su estudio, las cuales se describen a continuación (Grajales, s.f.; Mayer y Poljakoff-Mayber, 1982; Debeaujon *et al.*, 2007; Matilla, 2008; Ali & Elozeiri, 2017).

- 1) Imbibición. Marca el inicio de la germinación y consiste en la toma de agua por la semilla seca; esta depende del gradiente de potenciales hídricos entre el medio exterior de la semilla y dentro de la misma semilla y el agua incorporada hidroliza las diferentes biomoléculas que componen las reservas de la semilla y da lugar a la siguiente etapa.
- 2) Reactivación del metabolismo. Es la fase más crítica porque es donde se producen una serie de procesos que cambian la composición así como el rompimiento de los metabolitos, el transporte de estos del endospermo al embrión y la biosíntesis de nuevos compuestos.
- 3) Morfogénesis de la radícula. Cuando el metabolismo ha sido reactivado, los metabolitos biosintetizados son transportados por el eje embrionario hacia el embrión para formar macromoléculas que posteriormente favorecerán el crecimiento de la radícula para emerger y atravesar las estructuras envolventes que la rodean, marcando así el final de la germinación.

La germinación es modulada por fitohormonas. La relación de las giberelinas (GAs) y el ácido abscísico (ABA) es de suma importancia debido a que regula la latencia y la germinación. También, las fitohormonas tienen un rol importante para la aclimatación al incidir en crecimiento, desarrollo, transiciones fuente/sumidero y distribución de nutrientes. (Ali & Elozeiri, 2017).

La germinación y las primeras etapas de la plántula requieren de nutrientes antes de que esta sea autótrofa, por lo que, al ser embebida la semilla, se activa la síntesis de enzimas hidrolíticas que inician la hidrólisis de carbohidratos, lípidos, proteínas, polifosfatos, entre otros materiales de reserva, en formas simples para poder ser asimilados por el embrión (Ali & Elozeiri, 2017).

METABOLISMO DE CARBOHIDRATOS

En la degradación del almidón, el principal carbohidrato presente en la semilla, están implicadas las GAs. Estas son liberadas por el embrión hacia el endospermo y su función es inducir la síntesis de las enzimas hidrolíticas alfa-amilasa y glucanasas para iniciar la degradación del almidón (Figura 4). Posteriormente, la degradación de estos compuestos de reserva es absorbido por el embrión como fuente de energía para la plántula que se está formando (Matilla, 2008; Armario, 2017).

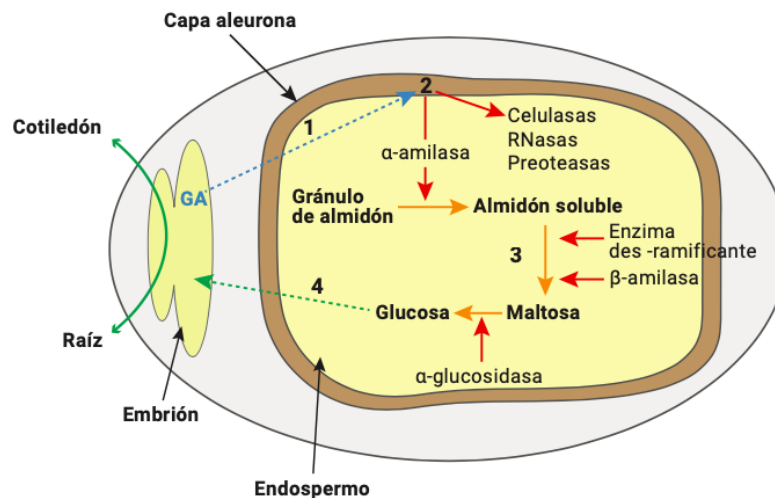


Figura 4. Representación de los procesos asociados a la germinación de las semillas de cereales. 1. Liberación de GAs por el embrión. 2. Estimulación de la síntesis de hidrolasas. 3. Degradación de las reservas. 4. Transporte de nutrientes al embrión. Fuente: Adaptado de Armario (2017).

METABOLISMO DE PROTEÍNAS

En los granos, las proteínas se encuentran en dos regiones separadas: en la capa de aleurona (clave para la movilización del endospermo) y en el endospermo y a diferencia de los carbohidratos que cuentan con diferentes fuentes alternas para su síntesis, los aminoácidos no se encuentran en cantidades suficientes en la semilla que aseguren la síntesis de proteínas hasta la emergencia de la radícula por lo que debe existir una movilización de proteínas durante la germinación y la post germinación (Bewley *et al.*, 2013).

De forma general, el metabolismo de proteínas en la semilla comienza con hidrólisis que da lugar a aminoácidos libres y requiere de una clase de enzimas llamadas proteasas, algunas de las cuales llevan a cabo totalmente la hidrolisis mientras otras producen pequeños polipéptidos que deben ser degradados posteriormente por las peptidasas. Los aminoácidos liberados podrán ser reutilizados para la síntesis de nuevas proteínas o desaminarse para proporcionar esqueletos de carbono para la respiración oxidativa o la conversión a otros metabolitos (Bewley *et al.*, 2013).

METABOLISMO DE LÍPIDOS

La degradación de las sustancias de reserva lipídicas, al igual que su síntesis, involucra muchas enzimas. Esta degradación comienza con la lipólisis que es catalizada por las lipasas para formar ácidos grasos libres. Estos últimos, ingresan al glioxisoma para convertirse en ácido oxaloacético, que después pasa a la mitocondria y posteriormente al citosol para convertirse en sacarosa, el azúcar que es transportado del endospermo hacia las regiones de crecimiento de la plántula (Matilla, 2008; Bewley *et al.*, 2013).

1.6 EMERGENCIA Y PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO

El crecimiento y desarrollo son procesos simultáneos e interdependientes codificados en el genotipo. Se dice crecimiento al aumento de tamaño y número de células mientras que el desarrollo es la diferenciación en tejidos y órganos, cambio morfológico progresivo durante el ciclo de la planta y que conjuntamente dan lugar a la morfogénesis. En 1982, Ritchie y Hanway publicaron la escala fenológica más ampliamente aceptada por utilizar caracteres morfológicos macroscópicos (Martínez D. , 2015), lo que facilita la observación de las etapas de desarrollo. Esta escala divide el desarrollo del maíz en fase vegetativa (V) y reproductiva (R), en donde en la primera se produce principalmente celulosa y en la segunda fase almidón (Andrade, *et al.*, 1996).

La fase vegetativa inicia con la emergencia (VE), cuando el coleóptilo sobrepasa la superficie del suelo, terminando con la aparición de la espiga, la antesis (VT). Los estados reproductivos inician con la aparición de los estigmas (R1) que capturan el polen proveniente de la espiga y termina con la madurez fisiológica (R6), cuando los granos o semillas han alcanzado la máxima acumulación de peso seco y cuentan con la capa negra (PIONEER, s.f.; Toledo, 2018).

DESCRIPCIÓN DE LAS PRIMERAS ETAPAS FENOLÓGICAS EN MAÍZ

De acuerdo con la escala fenológica del maíz propuesta por Ritchie y Hanway en 1982, las primeras etapas fenológicas de este cereal corresponden a la Emergencia (V_E) y Collar de 1° hoja (V_1) (INTA, 2015). A continuación, se describen estas etapas:

Emergencia (V_E)

Una vez que la semilla germina, es la radícula la primera en elongarse, seguida por el coleóptilo que encierra a la plúmula (Ritche *et al.*, 1986). En esta etapa la mayoría de los nutrientes son proporcionados por las proteínas y los almidones hidrolizados en el endospermo durante la germinación y es aquí donde comienza el desarrollo de la corona y la raíz principal. En maíz, la emergencia es de tipo hipógea ya que el cotiledón permanece debajo de la superficie y el mesocótilo o primer entrenudo se elonga y empuja la punta del coleóptilo hacia la superficie; cuando este rompe, la superficie del suelo se dice que ha emergido (PIONEER, s.f.).

Collar de 1° hoja (V_1)

Una vez que emerge el coleóptilo, las hojas embrionarias crecen a través de este y emerge la primera hoja verdadera, la cual se diferencia de las demás por tener una punta redondeada y caracteriza a esta etapa, que finaliza cuando emergen las siguientes hojas con extremos puntiagudos (Ritche *et al.*, 1986).

Durante las primeras etapas fenológicas la superficie foliar no es suficiente para captar la radiación incidente. La materia seca total producida está directamente relacionada con la cantidad de energía interceptada. (Andrade, *et al.*, 1996). Por lo que, durante las primeras etapas de desarrollo, al no captar la radiación incidente que es energía interceptada, la materia seca proviene de los fotosintatos de la semilla.

VIGOR DE PLÁNTULA

El vigor involucra la capacidad de biosintetizar moléculas elementales como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos, así como removilizar las sustancias de reserva (AOSA, 1983 cfr Alizaga *et al.*, 1992). Sin embargo, en la literatura no se reporta una definición para “vigor de plántula” pero diversos autores mencionan que es una fuente de información importante al ser una característica agronómica que permite observar el establecimiento del cultivo (Menard *et al.*, 2021). Para el caso específico de maíz, la medición de características como longitud de plántula (longitud de raíz y tallo), peso seco y porcentaje de germinación han sido aceptadas para estimar el vigor en plántula (de la Torre, 2012; Abdul-Baki y Anderson, 1973 cfr Itroutwar *et al.*, 2020; Arnott, 2021).

A partir de lo anterior, se propone la siguiente definición: el vigor de plántula es la capacidad de metabolizar las sustancias de reserva que se encuentran en las semillas para desarrollar y promover el crecimiento de las principales estructuras de la plántula, asegurando su supervivencia hasta que esta pueda convertirse en un organismo autótrofo (AOSA, 1983 cfr Alizaga, Sterling, y Herrera, 1992; de la Torre, 2012; Abdul-Baki y Anderson, 1973 cfr Itroutwar *et al.*, 2020; Arnott, 2021; Menard *et al.*, 2021).

Asimismo, otra forma de evaluar el desarrollo en plántulas y la utilización de sus reservas presentes en la semilla es a través de la tasa de conversión (Min *et al.*, 2022) que puede dividirse de tres formas como la tasa de conversión total (TCT) igual al peso seco de vástago entre el peso seco de raíz, la tasa de conversión de vástago (TCV) igual al peso seco de vástago ente el peso seco de semilla y la tasa de conversión de raíz (TCR) que es igual al peso seco de raíz entre el peso seco de semilla.

Y, aunque el efecto del tamaño de la semilla en el establecimiento de los cultivos ha sido ampliamente estudiado, reportando de forma general que los tamaños de semilla pequeña han mostrado un efecto negativo en el establecimiento de las plántulas, algunas investigaciones no han podido encontrar alguna relación entre estas variables (Gholami *et al.*, 2009) lo que indica que dicha relación es diferente entre especies e incluso dentro de la misma especie.

II. JUSTIFICACIÓN

En el mejoramiento genético de maíz, el tamaño de la semilla ha sido una característica de gran relevancia para los agricultores en la selección de los mejores individuos donde generalmente se han preferido los tamaños más grandes (Magdaleno *et al.*, 2016). Pero las semillas más grandes no son estrictamente las más eficientes en la conversión de reservas (Milla y Matesanz, 2017 cfr Vargas *et al.*, 2020). Trabajos realizados en diferentes especies han reportado distintos resultados sobre la correlación que existe entre el tamaño de grano y el vigor de plántula (Rodrigues *et al.*, 2005; Cervantes *et al.*, 2007).

III. OBJETIVO

Determinar el efecto de la posición de la semilla en la mazorca sobre el desarrollo de plántula de maíz (*Zea mays* L.).

IV. HIPÓTESIS

Si la concentración de compuestos de reserva en las semillas de la misma variedad es similar independientemente de su posición en la mazorca, entonces las plántulas que de ellas provengan tendrán un desarrollo homogéneo durante las primeras etapas vegetativas.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIAL GENÉTICO

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron 3 variedades criollas de maíz de dos regiones: una variedad de la región del Papaloapan, Oaxaca y dos variedades de la región del centro de México. La variedad de maíz blanco fue colectada en el Estado de México (Figura 5) y la variedad de maíz amarillo de Tula, Hidalgo (Figura 6), que fueron colectadas en primavera-verano 2020, y la variedad criolla de Oaxaca que fue colectada en el ciclo otoño-invierno 2020 en la localidad de San Lorenzo, San Juan Lalana, Choapam (Figura 7).



Figura 5. Variedad de maíz blanco del Estado de México.



Figura 6. Variedad de maíz amarillo de Tula, Hidalgo.



Figura 7. Variedad de maíz amarillo de Oaxaca de la localidad de San Lorenzo, San Juan Lalana, Choapam

LOCALIZACIÓN

Los experimentos se establecieron en el laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), que se encuentra a 2256 msnm en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México y que durante el montaje del experimento la temperatura máxima fue de 25°C.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron 3 experimentos, cada uno evaluando una única variedad. Cada experimento estuvo constituido por 3 tratamientos con 20 repeticiones cada uno y a su vez cada repetición por 5 semillas de maíz, bajo un diseño experimental completamente al azar. Los datos de cada experimento se analizaron con el programa SAS y Excel mediante análisis de correlación, análisis de varianza y comparación de medias utilizando la prueba de Tukey.

El Experimento 1 (E1) evaluó a la variedad de maíz blanco del Estado de México, el Experimento 2 (E2a la variedad de maíz amarillo de Tula, Hidalgo y el Experimento 3 (E3) a la variedad de maíz amarillo de Oaxaca. Para cada experimento las mazorcas se dividieron en tercios (Figura 8), cada uno de ellos representó un tratamiento tal como se describe en la Tabla 1.

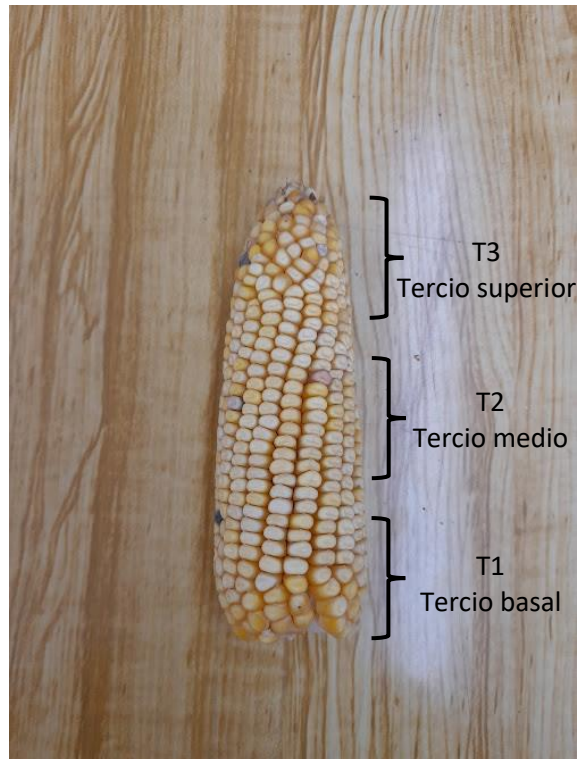


Figura 8. Descripción gráfica de la determinación de tratamientos.

Tabla 1. Descripción del análisis estadístico en las variedades de maíz criollo evaluadas. Laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), 2021.

Experimento	Tratamiento	Descripción	Longitud de semilla (mm)	Longitud promedio (mm)
E1 (Maíz blanco, Estado de México)	T1	Semilla tercio basal	10.92 - 12.72	11.82
	T2	Semilla tercio medio	11.82 - 13.11	12.46
	T3	Semilla tercio superior	10.13 - 12.78	11.45
E2 (Maíz amarillo, Hidalgo)	T1	Semilla tercio basal	9.57 - 11.78	10.68
	T2	Semilla tercio medio	10.36 - 11.67	11.02
	T3	Semilla tercio superior	8.50 - 10.63	9.56
E3 (Maíz amarillo, Oaxaca)	T1	Semilla tercio basal	10.67 - 12.48	11.58
	T2	Semilla tercio medio	11.19 - 12.50	11.84
	T3	Semilla tercio superior	10.42 - 12.27	11.34

MÉTODOS

En cada experimento se sembraron las semillas de cada variedad y de cada tamaño en bolsas de plástico de 5 L, de acuerdo al diseño experimental ya descrito y se destinó un mesón individual para el acomodo de cada experimento. Las mediciones realizadas en plántula se tomaron en cuanto estas se encontraban en la etapa V1, es decir, que habían desarrollado la primera hoja.

Antes del establecimiento de los experimentos se registraron los siguientes datos:

Peso de semilla. Se pesaron individualmente 100 semillas de cada tratamiento utilizando una balanza analítica.

Longitud de semilla. Se midieron 100 semillas de cada tratamiento con un vernier electrónico.

Prueba de viabilidad. Se realizó a través de la prueba de Tetrazolio, siguiendo la metodología descrita por Quezada (2019), donde se embebieron las semillas con agua destilada por 24 horas; enseguida se realizó un corte longitudinal a cada semilla y se colocaron en una caja Petri donde se les agregó 10 ml de una solución de Tetrazolio al 1% p/v. Las cajas Petri se cubrieron con papel aluminio durante 24 horas y posteriormente se registraron los datos.

VARIABLES EVALUADAS

Concentración de almidón en semilla. Se evaluó utilizando el método de Goñi (Soto, 2010)

Concentración de proteínas en semilla. Mediante el método de Kjeldahl (Gerhardt, 2021).

Días a emergencia. Se tomaron datos de los días a emergencia, que se observó cuando la punta del coleóptilo rompió la superficie del suelo.

Altura de plántula. Se utilizó un vernier electrónico y se midió de la base del coleóptilo al collar de la primera hoja.

Longitud de la primera hoja. Se utilizó un vernier electrónico.

Longitud de raíz. Se utilizó un vernier electrónico.

Peso fresco de raíz y vástago. Se dividió la plántula en raíz y vástago, se pesaron individualmente en una balanza analítica.

Peso seco de raíz y vástago. Las plántulas divididas en raíz y vástago se colocaron en bolsas de papel dentro de una estufa a 70°C durante 14 horas y posteriormente se pesaron en una balanza analítica.

Tasa de conversión del vástago. Se calculó siguiendo la metodología descrita por Min *et al.* (2022) dividiendo el peso seco del vástago entre el peso seco de la semilla, esto es:

$$Tasa\ de\ conversi\o\ n\ de\ v\ast ago = \frac{Peso\ seco\ de\ v\ast ago}{Peso\ seco\ de\ semilla}$$

Para el cálculo del peso seco de semilla, se calculó el porcentaje de humedad de cada tratamiento y ese porcentaje se le restó al peso fresco de la semilla de forma individual.

Tasa de conversión de raíz. Se calculó dividiendo el peso seco de la raíz entre el peso seco de la semilla con la siguiente fórmula (Min *et al.*, 2022):

$$Tasa\ de\ conversi3n\ de\ ra\az = \frac{Peso\ seco\ de\ ra\az}{Peso\ seco\ de\ semilla}$$

Tasa de conversi3n total. Se calcul3 dividiendo el peso seco del v3stago entre el peso seco de la ra\z con la f3rmula (Min *et al.*, 2022):

$$Tasa\ de\ conversi3n\ total = \frac{Peso\ seco\ de\ v3stago}{Peso\ seco\ de\ ra\az}$$

VI. RESULTADOS

PRUEBA DE VIABILIDAD

La Tabla 2 muestra el porcentaje de viabilidad en las tres variedades de ma\z, donde cada variedad corresponde a un experimento. En esta, se observa que en todos los tratamientos el porcentaje de viabilidad es mayor a 90%, lo que probablemente est3 relacionado con la edad de las mismas, dado que fueron cosechadas hace no m3s de tres a\os, por tanto, pudieron utilizarse para el desarrollo de este trabajo.

Tabla 2. Porcentaje de viabilidad de tres variedades de ma\z: blanco del estado de M3xico, amarillo de Hidalgo y amarillo de Oaxaca. Laboratorio L-102 de T3cnicas de Mejoramiento Gen3tico de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitl3n (FESC, UNAM), 2021.

Tratamiento	Experimento		
	Porcentaje de viabilidad (%)		
	E1 (Ma\z blanco del Estado de M3xico)	E2 (Ma\z amarillo Hidalgo)	E3 (Ma\z amarillo de Oaxaca)
Tercio basal	98	97	98
Tercio medio	100	100	95
Tercio superior	93	100	97

Asimismo, en las Figuras 9, 10 y 11 se muestra la tinci3n color rojo, indicando viabilidad de las semillas, caracter3stica de la prueba de Tetrazolio, en cada experimento.



Figura 9. Resultado de la prueba de Tetrazolio en E1 (Maíz blanco del Estado de México) De izquierda a derecha se muestran los tratamientos tercio basal, tercio medio y tercio superior.



Figura 10. Resultado de la prueba de Tetrazolio en E2 (Maíz amarillo de Tula, Hidalgo). De izquierda a derecha se muestran los tratamientos tercio basal, tercio medio y tercio superior.



Figura 11. Resultado de la prueba de Tetrazolio en E3 (Maíz amarillo de Oaxaca). De izquierda a derecha se muestran los tratamientos tercio basal, tercio medio y tercio superior.

CORRELACIÓN

En la Tabla 3 se muestra el coeficiente de correlación entre tamaño y peso de semilla en las tres variedades de maíz. Se puede observar que, en general, los experimentos muestran una correlación positiva y significativa, esto indica que a mayor tamaño mayor peso, lo que podría indicar que semillas más grandes cuentan con una mayor cantidad de compuestos de reserva. Sin embargo, se observa que esto es diferente en las semillas del tercio basal del E1 (Maíz blanco del Estado de México), en donde la correlación es negativa y altamente significativa, a mayor tamaño menor peso de semilla. Lo anterior podría significar que en esta variedad la acumulación de los compuestos de reserva no se incrementa con el tamaño de la semilla desarrollada en el tercio basal.

También, en el E2 (Maíz amarillo de Hidalgo), las semillas del tercio superior mostraron un comportamiento diferente, donde a pesar de que la correlación es positiva, esta no es estadísticamente significativa.

Tabla 3. Coeficiente de correlación entre tamaño y peso de semilla en tres variedades de maíz: blanco del estado de México, amarillo del Hidalgo y amarillo de Oaxaca. Laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), 2021.

Tipo de semilla	E1 (Maíz blanco del Estado de México)	E2 (Maíz amarillo de Hidalgo)	E3 (Maíz amarillo de Oaxaca)
Tercio basal	-0.3091**	0.3831**	0.4252**
Tercio medio	0.6816**	0.3002**	0.2425*
Tercio superior	0.6816**	0.1720	0.4837**

* Significativo estadísticamente (Snedecor y Cochran, 1956).

En la Tabla 4 se muestra el coeficiente de correlación entre peso seco de vástago (PSV) y peso seco de raíz (PSR). En el E1 (Maíz blanco del Estado de México), el coeficiente de correlación fue positivo y significativo estadísticamente en los tres tratamientos, es decir, que a mayor biomasa de raíz aumenta la biomasa del vástago. Lo que podría señalar que en esta variedad el sistema radicular se desarrolla de forma conjunta con la parte aérea.

Tabla 4. Coeficiente de correlación entre peso seco de vástago y peso seco de raíz en el E1 (Maíz blanco, Estado de México). Laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), 2021.

Tratamiento	Coeficiente de correlación
Tercio basal	0.48*
Tercio medio	0.81**
Tercio superior	0.88**

* Significativo estadísticamente

Por otra parte, la Tabla 5 muestra el coeficiente de correlación entre PSV y altura de planta (AP) en el E2 (Maíz amarillo de Hidalgo), que fue positivo y significativo estadísticamente, indicando que a mayor altura mayor peso de vástago. Lo que podría significar que en las plántulas de esta variedad el crecimiento es tanto “vertical” como en área foliar.

Tabla 5. Coeficiente de correlación entre peso seco vástago y altura en el E2 (Maíz amarillo, Hidalgo). Laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), 2021.

Tratamiento	Coeficiente de correlación
Tercio basal	0.45*
Tercio medio	0.70**
Tercio superior	0.65**

* Significativo estadísticamente

Por último, en el E3 (Maíz amarillo de Oaxaca) señalado en la Tabla 6, muestra el coeficiente de correlación entre peso fresco de vástago (PFV) y AP, señalando que para el tercio superior y medio es negativo y significativo estadísticamente, a mayor peso menor altura. Lo que podría indicar que las plántulas en esta variedad en las posiciones media y superior desarrollan una mayor cantidad de área foliar, pero esta no es proporcional a la longitud del tallo.

Tabla 6. Coeficiente de correlación entre peso vástago y altura en el E3 (Maíz amarillo, Oaxaca). Laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), 2021.

Tratamiento	Coeficiente de correlación
Tercio basal	0.29
Tercio medio	-0.60**
Tercio superior	-0.19

* Significativo estadísticamente

ANÁLISIS DE VARIANZA

En la Tabla 7 se muestran los cuadrados medios obtenidos en el análisis de varianza para cada uno de los tratamientos en cada uno de los experimentos. Como puede observarse, en lo correspondiente al E1 (Maíz blanco del Estado de México), en las variables de concentración de proteínas en semilla (CPS), PSV, Tasa de conversión de vástago (TCV) y la Tasa de conversión total (TCT), se encontró una diferencia estadística entre los tratamientos, lo que podría significar que existen diferencias en cómo las plántulas de esta variedad aprovechan los compuestos de reserva en la producción de biomasa de acuerdo con la posición de la semilla en la mazorca, a pesar de contar con la misma concentración de almidones, (principal compuesto de reserva en las semillas).

Por otra parte, en el E2 (Maíz amarillo de Hidalgo), se encontró que existe una diferencia entre tratamientos en las variables de Días a emergencia (DE), Peso fresco de raíz (PFR), Peso seco de raíz (PSR), PSV y TCT. Lo que podría señalar que, a pesar de contener la misma concentración de compuestos de reserva, la posición de la semilla en la mazorca influye en el desarrollo y crecimiento de las plántulas.

En cuanto al E3 (Maíz amarillo de Oaxaca), ninguna de las variables evaluadas mostró diferencias estadísticas entre tratamientos, lo que posiblemente señala que en esta variedad el desarrollo de plántulas es independiente de la posición y tamaño de la semilla en la mazorca.

Tabla 7. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en tres variedades de maíz: blanco del estado de México, amarillo de Hidalgo y amarillo de Oaxaca. Laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), 2021.

	CAS	CPS	DE	AP	LPH	LR
Experimento	CM	CM	CM	CM	CM	CM
E1 (Maíz blanco del Estado de México)	4.26	1.36*	0.27	17.29	62.97	11342.70
E2 (Maíz amarillo de Hidalgo)	3.07	0.1	0.2*	187.42	1157.86	9897.59
E3 (Maíz amarillo de Oaxaca)	14.45	0.13	0.45	145469.21	58.36	1585.09

CAS, Concentración de almidón en semilla; CPS, Concentración de proteínas en semilla; DE, Días a emergencia; AP, Altura de plántula; LPH, Longitud de la primera hoja; LR, Longitud de raíz; PFR, Peso fresco de raíz; PFV, Peso fresco de vástago; PSR, Peso seco de raíz; PSV, Peso seco de vástago; TCR, Tasa de conversión de raíz; TCV, Tasa de conversión de vástago; TCT, Tasa de conversión total.

* Significativo estadísticamente.

Tabla 7. Continuación.

	PFR	PFV	PSR	PSV	TCR	TCV	TCT
Experimento	CM	CM	CM	CM	CM	CM	CM
E1 (Maíz blanco del Estado de México)	38.51	5.85	0.69	0.85*	6.85	8.46*	0.93*
E2 (Maíz amarillo de Hidalgo)	0.1*	0.06	0.009**	0.0001*	0.02	0.001	.009*
E3 (Maíz amarillo de Oaxaca)	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	.017

CAS, Concentración de almidón en semilla; CPS, Concentración de proteínas en semilla; DE, Días a emergencia; AP, Altura de plántula; LPH, Longitud de la primera hoja; LR, Longitud de raíz; PFR, Peso fresco de raíz; PFV, Peso fresco de vástago; PSR, Peso seco de raíz; PSV, Peso seco de vástago; TCR, Tasa de conversión de raíz; TCV, Tasa de conversión de vástago; TCT, Tasa de conversión total.

* Significativo estadísticamente.

COMPARACIÓN DE MEDIAS

A partir de lo descrito anteriormente, las siguientes tablas muestran únicamente las variables donde se reportó una diferencia estadística significativa entre los tratamientos de cada experimento.

La Tabla 8 se refiere al E1 (Maíz blanco del Estado de México) donde se observa que, en el CPS, PSV y TCT, a pesar de mostrar diferencia significativa entre tratamientos, en la comparación de medias estos tratamientos comparten letras entre sí, por lo que en términos generales podrían agruparse como iguales. Por otro lado, en la TCV se observa que el tercio medio y superior cuentan con las medias más altas y son estadísticamente iguales pero diferentes al tercio basal que tuvo la menor TCV, lo que posiblemente se deba a una menor eficiencia en la conversión de los compuestos de reserva hacia el desarrollo de la parte aérea en las semillas de esta posición, aunque este tratamiento también registró un mayor CPS.

Tabla 8. Comparación de medias del E1 (Maíz blanco del Estado de México), para evaluar el efecto de la posición de la semilla en la mazorca en el desarrollo de la plántula. Laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), 2021.

Tratamiento	CPS (%)	PSV (gr)	TCV (%)	TCT (%)
Tercio basal	6.33 A	0.0950 B	0.1648 A	0.2006 B
Tercio medio	5.11 B	0.4460 A	1.3787 B	0.6316 A
Tercio superior	6.22 AB	0.3385 AB	1.1764 B	0.4130 AB

CPS, Concentración de proteínas en semilla; PSV, Peso seco de vástago; TCV, Tasa de conversión de vástago; TCT, Tasa de conversión total. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias entre los tratamientos. Tukey (P<0.05).

La Tabla 9 muestra la comparación de medias del E2 (Maíz amarillo, Hidalgo). En esta se observa que, aunque el análisis de varianza indique que existe diferencias entre tratamientos en las variables de DE, PSV Y TCT, estos tratamientos comparten letras entre sí por lo que podrían agruparse de forma general como similares. Por el contrario, en PFR y PSR el tercio basal y el medio son estadísticamente iguales, mientras que el tercio superior es diferente a estos, contando con la media más baja. Indicando, posiblemente, que las semillas posicionadas en el tercio superior tienen un menor desarrollo radicular.

Tabla 9. Comparación de medias del E2 (Maíz amarillo de Hidalgo). Laboratorio L-102 de Técnicas de Mejoramiento Genético de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC, UNAM), 2021.

Tratamiento	DE	PFR (gr)	PSR (gr)	PSV (gr)	TCT (%)
Tercio basal	4.0 AB	0.8784 A	0.1752 A	0.0428 A	0.2526 AB
Tercio medio	3.9 B	0.8684 A	0.1783 A	0.0403 AB	0.2302 B
Tercio superior	4.1 A	0.7511 B	0.1405 B	0.038 B	0.2732 A

PFR, Peso fresco de raíz; PSR, Peso seco de raíz; PSV, Peso seco de vástago; TCT, Tasa de conversión total. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias entre los tratamientos. Tukey (P<0.05).

VII. DISCUSIÓN

En la agricultura tradicional mexicana la selección de semillas de maíz empieza incluso antes de la cosecha, y en mayor medida posterior a ella, donde las principales características consideradas para la selección son el tamaño y la posición de la semilla en la mazorca, prefiriéndose las semillas de la parte central-basal descartando las semillas de la parte superior que son generalmente las más pequeñas (Magdaleno *et al.*, 2016; Delgado *et al.*, 2018). Este criterio de selección persistente durante generaciones responde a la convicción de que las semillas de la parte central, siendo más grandes y con una mayor uniformidad, contribuirán a la obtención de un mayor porcentaje de germinación y vigor de plántula (Herrera *et al.*, 2002) y, finalmente, mayor rendimiento.

De acuerdo con lo aquí reportado, sí existe una correlación significativa alta y muy alta entre el tamaño y el peso de la semilla, lo que indica que en las variedades evaluadas las semillas más grandes contienen una mayor cantidad de compuestos de reserva, sin embargo, esto fue diferente en el E1 (Maíz blanco del Estado de México) donde las semillas más grandes proveniente del tercio basal registraron un menor peso, es decir, una menor cantidad de reservas, lo que sugiere que la selección de semillas por su posición en la mazorca no necesariamente es un indicador certero de la cantidad de reservas que estas contienen y su translocación hacia la plántula, desde el punto de vista de esta investigación no se deberían excluir las semillas de la parte basal de esta variedad.

En este sentido, la evaluación de estas características en diferentes poblaciones de maíz sería importante para determinar con mayor confiabilidad si este comportamiento se repite con más frecuencia de lo estimado en esta especie, porque como menciona Pérez *et al.* (2006), en la calidad de la semilla de maíz influye más el genotipo que el tamaño, visto en esta investigación a partir de la posición de la semilla en la mazorca.

Por otra parte, específicamente en E1 (Maíz blanco del Estado de México) se encontró una correlación positiva estadísticamente significativa en los tres tratamientos entre el PSV Y PSR, la cual fue altamente significativa en los tratamientos 2 (tercio medio) y 3 (tercio superior) señalando que, en esta variedad el desarrollo de la parte radicular es simultáneo al de la parte aérea. Asimismo, estos dos tratamientos también registraron la mayor TCV, lo que pudiera ser una ventaja durante el establecimiento del cultivo y evidenciando que, a pesar de contar con la misma concentración, estadísticamente, de almidón en los tres tratamientos, sí existen diferencias en cómo las plántulas de este experimento aprovechan los compuestos de reservas en la producción de biomasa de acuerdo con la posición de la semilla en la mazorca, y que, aunque la mayor concentración de proteínas se encontró en las semillas del

tercio basal (T1), este tratamiento no demostró ser superior. Además, aunque las medias no muestran una diferencia de acuerdo con Tukey, el tercio medio (T2), donde se encuentran las semillas más grandes, fue superior numéricamente para PSV, TCV, TCT, lo que concuerda con lo reportado por Morales (1988) quien evaluó el efecto del tamaño de semilla y vigor de plántula en maíz donde señala que las plántulas provenientes de los tamaños de semilla más grandes presentaron un mayor peso de raíz y vástago. Lo anterior podría sustentar el hecho de que los agricultores prefieran las semillas de esta posición en su modelo de selección.

En el E2 (Maíz amarillo de Hidalgo) se encontró una correlación positiva entre PSV y AP en todos los tratamientos, señalando que en esta variedad las semillas de todas las posiciones en la mazorca mostraron esta misma expresión fenotípica posiblemente porque se encontraban bajo condiciones favorables e iguales y como es sabido, durante esta etapa la acumulación de biomasa es exponencial (Di Benedetto y Tognetti, 2016), y porque además su genotipo es similar.

También en esta variedad, las semillas de los tercios medio (T2) y basal (T1) presentaron un mayor desarrollo radicular expresado como peso seco de raíz, lo que concuerda con lo reportado por Laynez *et al.* (2007) quienes encontraron que en maíz las semillas más grandes desarrollan un sistema radicular mayor. En el experimento aquí reportado, estos datos no podrían atribuirse exclusivamente a la posición de la semilla en la mazorca ya que estas registraron la misma concentración de los compuestos de reserva independientemente de su ubicación, ni tampoco serían resultado del efecto del ambiente, dado que las condiciones ambientales fueron iguales para todos los tratamientos, por lo que posiblemente se deba al genotipo particular de cada semilla, ya que el maíz es una especie alógama de polinización libre

En este aspecto, para esta variedad, elegir semillas de los tercios basal y medio sí tendría una ventaja sobre las semillas de la parte superior ya que un mayor desarrollo radicular, en etapas tempranas, puede favorecer el establecimiento del cultivo, como lo mencionan Laynez *et al.* (2007), pero esta característica no puede ser utilizada para analizar la proyección del cultivo en el tiempo según Di Benedetto y Tognetti (2016) ya que en algunos casos este efecto positivo de la semilla sobre las primeras etapas de desarrollo de la planta, desaparece antes de la antesis (Hawkins y Cooper, 1979 cfr Cervantes *et al.*, 2007). Por otro lado, aunque las semillas del tercio superior (T3) no mostraron este mismo comportamiento, su uso también podría representar una ventaja en condiciones de humedad restringida durante el establecimiento del cultivo, ya que al ser de menor tamaño requieren de una menor cantidad de agua para germinar y emerger (de la Torre, 2012).

En este sentido, aun cuando en este trabajo sí se encontraron comportamientos superiores y diferentes entre los tratamientos en los experimentos E1 y E2, estos no son exclusivos de la parte media de la mazorca, por lo que aparentemente no hay una razón por la que deban excluirse las semillas del resto de la mazorca para el siguiente ciclo porque como ya se mencionó, estas presentan características que podrían representar una ventaja ante la variabilidad climática, y su uso dentro de la agricultura tradicional podría ser una estrategia para la agricultura climáticamente inteligente.

Por último, a pesar de que diversos autores señalan que el vigor de las plántulas en maíz y en otras especies es mayor cuando provienen de semillas más grandes, este aspecto todavía no puede afirmarse completamente (Camargo *et al.*, 2019). Los resultados aquí obtenidos en el E3 (Maíz amarillo de Oaxaca) señalan que la posición de la semilla en la mazorca, y posiblemente el tamaño, no son factores que afecten el desarrollo y vigor de las plántulas, sino que el genotipo, el ambiente y la interacción genotipo-ambiente determinan estas características; lo que coincide con lo reportado por Molatudi y Mariga (2009), quienes evaluaron el efecto tamaño de semilla y la profundidad de siembra sobre el vigor de plántulas de maíz y concluyeron que el tamaño de la semilla no afectó la emergencia, el vigor de las plántulas ni el peso seco de las plántulas. Sin embargo, es importante resaltar que este experimento fue desarrollado bajo condiciones ambientales ideales y otros resultados podrían ser obtenidos en condiciones de estrés o poco favorables (Marcos, 2015 cfr. Camargo *et al.*, 2019; Finch y Bassel, 2015).

VIII. CONCLUSIONES

En general, existe una correlación positiva y significativa estadísticamente entre el tamaño y peso de la semilla de maíz, esto es, a mayor tamaño de semilla, mayor peso; excepto en el T1 (tercio basal) del E1 (maíz blanco del Estado de Estado de México) del cual se registró un menor peso.

Ambos experimentos (E1 y E2) descartaron la hipótesis de este trabajo ya que, aunque la concentración de los compuestos de reserva fue estadísticamente igual entre los tratamientos, las plántulas provenientes de dichos tratamientos mostraron comportamientos diferentes y superiores entre ellos.

En el E1 (maíz blanco del Estado de Estado de México), sí existen diferencias en cómo las plántulas de esta variedad aprovechan los compuestos de reservas en la producción de biomasa de acuerdo con la posición de la semilla en la mazorca, indicado por las diferencias en la TCV, siendo superiores los tratamientos T2 (tercio medio) y T3 (tercio superior).

En el E2 (maíz amarillo de Hidalgo), las semillas de T1 (tercio basal) y T2(tercio medio) presentaron un mayor desarrollo radicular.

En el E3(maíz amarillo de Oaxaca) la posición de la semilla en la mazorca, y por tanto el tamaño, no es un factor que afecte el desarrollo y vigor de las plántulas, reforzando la hipótesis de este trabajo.

La diversidad de los materiales reportados en este trabajo, puede ser una ventaja para los sistemas de agricultura tradicional ante la variabilidad climática y por lo tanto usarse como una estrategia de agricultura climáticamente inteligente.

IX. RECOMENDACIONES

En este sentido, se recomienda continuar con la investigación en diferentes poblaciones (variedades), así como bajo condiciones de estrés para las plántulas, puesto que la interacción del genotipo con el ambiente posiblemente pueda cambiar los resultados aquí presentados.

X. LITERATURA CONSULTADA

- Ali, A. S., & Elozeiri, A. A. (2017). Metabolic Processes During Seed Germination. En J. Jimenez-Lopez, *Seed Biology* (págs. 141-166). Rijeka: InTech.
- Alizaga, R., Sterling, F., & Herrera, J. (1992). *Agronomía Costarricense*, 16(2), 203-2010.
- Andrade, F., Cirilo, A., Uhart, S., & Otegui, M. (1996). *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Buenos Aires: La Barrosa.
- Armario, M. V. (2017). .
- Arnott, A., Galagedara, L., Thomas, R., Cheema, M., & Sobze, J.-M. (2021). The potential of rock dust nanoparticles to improve seed germination and seedling vigor of native species: A review. *Science of the Total Environment*, 775, 1-12.
- Bekele, S., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Sec.*, 3, 307-327.
- Benitez, C. (2006). El maíz: origen, composición química y morfología. *Materiales Avanzados*(7), 15-20.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilorst, H. W., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds. Physiology of Development, Germination and Dormancy* (Tercera ed.). New York : Springer .
- Bolsa de Valores de Chicago. (10 de septiembre de 2021). *Corn Reports*. Obtenido de CME Group: <https://www.cmegroup.com/trading/agricultural/corn-reports.html>
- Bradshaw, J. E. (2016). Domestication, Dispersion, Selection and Hybridization of Cultivated Plants. En *Plant breeding : past, present and future* (págs. 3-38). Cham: Springer.
- Darrah, L. L., McMullen, M., & Zuber, M. (2019). Breeding, Genetics and Seed Corn Production. En S. O. Serna Saldivar, *Corn : chemistry and technology* (págs. 19-41). Duxford: AACCI International Press.
- Debeaujon, I., Lepiniec, L., Pourcel, L., & Routaboul, J.-M. (2007). Seed coat development and dormancy. En K. J. Bradford, & H. Nonogaki, *Seed Development, Dormancy and Germination* (págs. 25-49). Oxford: Blackwell Publishing.
- Di Benedetto, A., & Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(3), 258-282.
- El-Esawi, M. (2018). Maize Germplasm. Characterization and Genetic Approaches for Crop Improvement. En M. El-Esawi, *Introductory Chapter: Introduction to Biotechnological Approaches for Maize Improvement*. doi:DOI: 10.5772/intechopen.74871
- Escaso, F., Martínez, J., & Planelló, M. (2010). *Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal* . Madrid: Pearson Educación .
- FAOSTAT. (21 de Enero de 2020). *Top 10 Country Production of Maiz*. Obtenido de Countries by commodity: https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity

- Farooq, M., Rehman, A., Wahid, A., & Siddique, K. H. (2021). Physiology of Grain Development in Cereals. En M. Pessaraki, *Handbook of Plant and Crop Physiology* (págs. 247-260). Boca Raton: CRC Press.
- Farooq, M., Rehman, A., Wahin, A., & Siddique, K. (2021). Physiology of Grain Development in Cereals . En M. Pessaraki, *Handbook of Plant and Crop Physiology* (4ta ed., pág. 1200). CRC Press . doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1201/9781003093640>
- Finch Savage, W., & Bassel, G. (2015). vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 567–591.
- Fontanet, p., & Vicient, C. M. (2008). Maize Embryogenesis. En M. F. Suárez, & P. V. Bozhkov, *Methods in Molecular Biology*, vol. 427: *Plant Embryogenesis* (págs. 17-28). Totowa: Humana Press.
- Forato, L., Colnago, L., Garratt, R. C., & Lopes, M. A. (2000). Identification of free fatty acids in maize protein bodies and purified zeins by C and H nuclear magnetic resonance. *Biochimica et Biophysica*, 30(1543), 106-114.
- García, B. B. (2015). CIUDAD DE MÉXICO: Tesis de licenciatura: UNAM.
- Gholami, A., Sharafi, S., Ghasemi, S., & Sharafi, A. (2009). Pinto bean seed reserve utilization and seedling growth as affected by seed size, salinity and drought stress. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(2), 411-414.
- Gu, W., Yu, D., Guan, Y., Wang, H., Qin, T., Sun, P., . . . Wei, J. (2020). The dynamic transcriptome of waxy maize (*Zea mays* L. *sinensis* Kulesh). *Genes & Genomics* , 997-1010.
- Guillén Ayala, O. H. (2018). *Apuntes para la asignatura de genética*. Cuautitlán Izcalli.
- Head, G., & Ward, D. (2009). Insect Resistance in Corn Through Biotechnology. En T. Nagata, H. Lörz, & J. Widholm, *Biotechnology in Agriculture and Forestry* (págs. 31-40). Heidelberg: Springer.
- Herrera, E., Macías, A., Díaz, R., Valadez, M., & Delgado, A. (2002). Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(1), 17-23.
- INTA. (2015). *El cultivo de maíz en San Luis*. (J. Garay, & J. Cruz, Edits.) INTA Ediciones.
- International Monetary Fund. (15 de Diciembre de 2021). *Global price of corn*. Obtenido de FRED Economic Data: <https://fred.stlouisfed.org/series/PMAIZMTUSD>
- Irshad, A., Guo, H., Rehman, S. U., Wang, X., Wang, C., Raza, A., . . . Lui, L. (2021). Soluble Starch Synthase Enzymes in Cereals. *Agronomy*, 11(1983). doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11101983>
- Itrotwar, P., Kasivelu, G., Raguraman, V., Sevathapandian, S., & Malaichamy, K. (2020). Effects of biogenic zinc oxide nanoparticles on seed germination and seedling vigor of maize (*Zea mays*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29, 2-5.
- Kriz, A. (2009). Enhancement of Amino Acid Availability. En T. Nagata, H. Lörz, & J. Widholm, *Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement* (pág. 369). Heidelberg: Springer.

- Márquez Sánchez, F. (2008). De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridostransgénicos. I: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 5(2), 151-166.
- Martínez, D. (2015). Ecofisiología del cultivo de maíz. En J. Garay, & J. Cruz Colazo, *El cultivo de maíz en San Luis* (págs. 7-31). San Luis: INTA.
- Martínez, E., & Jiménez, V. (14 de Febrero de 2013). *¿Qué son los cereales? Maíz (Zea mays)*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México : http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25
- Matilla, Á. J. (2008). Desarrollo y germinación de las semillas . En J. Azcón-Bieto, & M. Talón, *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (págs. 537-558). Madrid: McGRAW-HILL.
- Mayer, A. M., & Poljakoff-Mayber, A. (1982). En A. M. Mayer, & A. Poljakoff-Mayber, *The Germination of Seeds* (págs. 85-141). Oxford: Pergamon Press.
- En A. M. Mayer, & A. Poljakoff-Mayber, *The Germination of Seeds* (págs. 1-9). Oxford: Pergamon Press.
- Menard, G., Sandhu, N., Anderson, D., Cotoles, M., Hassall, K., Easmond, P., . . . Kurup, S. (2021). Laboratory phenomics predicts field performance and identifies superior indica haplotypes for early seedling vigour in dry direct-seeded rice. *Genomics*, 113, 4227–4236.
- Min, L., Da-xing, W., Quing-qing, S., Wu, C.-l., Yan, L., & Chun-qing, Z. (2022). Factors influencing seed reserve utilization during seedling. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(3), 677-684.
- Molatudi, R., & Mariga, I. (2009). The Effect of Maize Seed Size and Depth of Planting on Seedling Emergence and Seedling Vigour. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(1), 2234-2237.
- Moose, S., & Below, F. (2009). Biotechnology Approaches to Improving Maize Nitrogen Use Efficiency . En T. Nagata, H. Lörz, & J. Widholm, *Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement* (pág. 369). Heidelberg: Springer .
- Morales, F. (1988). .
- Mullet, J. (2009). Traits and Genes for Plant Drought Tolerance. En T. Nagata, H. Lörz, & J. Widholm, *Biotechnology in Agriculture and Forestry* (págs. 55-64). Heidelberg: Springer.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (1993). *El maíz en la nutrición humana*. Roma: FAO.
- Palovaara, J., de Zeeuw, T., & Weijers, D. (2016). Tissue and Organ Initiation in the Plant Embryo: A First Time for Everything. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.*, 32, 47–75.
- Perales, H. (2009). Maíz, riqueza de México . *Ciencias*, 46-55.
- Pérez Mendoza, C., Hernández Livera, A., González Cossio, F. V., Gabino, G. d., Carballo Carballo, A., Vásquez Rojas, T. R., & Tovar Gómez, M. d. (2006). *Agric. Téc. Méx.*, 32(3), 341-352.
- PIONEER. (s.f.). *Maíz. Crecimiento y desarrollo*.

- Quezada, A. (2019). Machala, Ecuador.
- Raboy, V. (2009). Seed Total Phosphate and Phytic Acid . En T. Nagata, H. Lörz, & J. Widholm, *Biotechnology in Agriculture and Forestry* (págs. 41-53). Heidelberg: Springer.
- Ritche, S., Hanway, J., & Benson, G. (1986). *How a corn plant develops*.
- Rodrigues, E., Silva, A., Paulo, A., & Grandi, M. (2005). Effects of the size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes . *Plant physiology* , 273-281.
- SADER. (23 de Diciembre de 2021). *Anuncia Agricultura nuevo precio de garantía para pequeños productores de maíz en el 2022* . Obtenido de Prensa: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/anuncia-agricultura-nuevo-precio-de-garantia-para-pequenos-productores-de-maiz-en-el-2022#:~:text=Indic%C3%B3que%20a%20todos%20los,mil%20278%20pesos%20por%20tonelada>.
- SEGALMEX. (2 de octubre de 2019). *SEGALMEX arranca Programa Precios de Garantía*. Obtenido de Acciones y Programas: <https://www.gob.mx/segalmex/acciones-y-programas/segalmex-arranca-programa-precios-de-garantia>
- SIAP. (2020). Panorama agroalimentario 2020. Ciudad de México.
- SIAP. (2021). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Obtenido de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Soto, V. (2010). *Revista Boliviana de Química*, 27(2), 93-94.
- Obtenido de Universidad Nacional de Córdoba: <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/cereales/wp-content/uploads/sites/31/2018/07/Etapas-fenologicas-de-cereales-y-oleaginosas.pdf>
- Triboi, E., & Triboi-Blondel, A.-M. (2002). Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem-invited paper. *European Journal of Agronomy* , 163-186.
- U.S. Grains Council. (s.f.). *Capítulo 2. Producción de etanol y sus coproductos Procesos de molienda en seco y húmeda*. Obtenido de <https://grains.org/ita/wp-content/uploads/sites/6/2019/12/DDGS-Manual-Capitulo-02.pdf>
- Vargas Vázquez, M. L., Uscanga Mortera, E., Padilla Chacón, D., Heike, V., Kohashi Shibata, J., Miranda Colín, S., & Yáñez Jiménez, P. (2020). *Botanical Sciences*, 98(2), 366-376.
- Xue, X., Du, S., Jiao, F., Xi, M., Wang, A., Xu, H., . . . Wang, M. (2021). The regulatory network behind maize seed germination: Effects. *The Crop Journal* , 718-724.