BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

COMPLEJO REGIONAL CENTRO

SEDE LOS REYES DE JUÁREZ

EVALUACIÓN DEL VIGOR DE SEMILLA DE TRES VARIEDADES DE MAÍZ PARA VALLES ALTOS

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el título de:

LICENCIATURA EN

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Presenta:

SARAHI HERNÁNDEZ BARRADAS

Director de tesis:

M.C. JUAN ARMANDO PÉREZ RUIZ

Asesores:

DRA. PATRICIA CRUZ BAUTISTA

M.C. TANIA GÓMEZ HERNÁNDEZ

PUEBLA, PUE. 11-2023

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de tener la vida y compartirla con las personas que me rodean, por brindarme salud, por fortalecerme todos los días y guiarme en cada etapa que iniciaba, por poner en mi camino buenas personas, por permitir que mis padres sigan festejando mis logros a mi lado y en especial por ser mi más fiel amigo.

A mis Papás José Rodolfo y Blanca Elena por confiar en mí y apoyarme en sueños y metas, por estar ahí en cada momento que los necesito, por creer en mí y por quererme tanto como yo los quiero a ellos. A mi Hermana Mary Carmen por su cariño.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por darme la oportunidad de pertenecer a esta gran familia universitaria y conocer a grandes personas. A mi amigo Ivan por acompañarme en esta etapa de mi vida.

A mis Maestros de la carrera por compartirme su conocimiento a lo largo de este tiempo, en especial **Dra. Patricia** por su amistad que me ha brindado a lo largo de estos años, al **Mtro. Juanito** por sus enseñanzas, amistad y apoyo al realizar este trabajo y al **Mtro. Isaac** por su gran paciencia como persona y amabilidad, así como a la **Dra. Tania** por sus enseñanzas a lo largo de la carrera.

Al Cuerpo Académico del Complejo Regional Centro por darme la oportunidad de participar en este trabajo de investigación, por el apoyo y la confianza, así como su amistad brindada.

DEDICATORIAS

A mi dios

A mi padre y madre

A mis maestros

A mi escuela

A mí mismo

ÍNDICE DE CONTENIDO

Sección Página

CAPÍTULO I 5
INTRODUCCIÓN 8
Justificación 9
Objetivo general 10
Objetivos específicos 10
Hipótesis 11
CAPÍTULO II 12
REVISIÓN DE LITERATURA 12
Origen del Maíz 12
Importancia del cultivo de maíz en México 13
Estadísticas de la producción de maíz en Valles Altos 13
Factores que afectan el establecimiento de los cultivos 14
Necesidades agroclimáticas en el cultivo de maíz 15
Atributos de la calidad de las semillas 16
Germinación 18
Vigor de la semilla 19
Capítulo III 22
MATERIALES Y MÉTODOS 22
Experimento 1 22
Localización del experimento 22
Variables a evaluar 23
Análisis estadístico 25
CAPÍTULO IV 26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 26
CAPÍTULO V 32
CONCLUSIONES 32
BIBLIOGRAFÍA 33
Cronograma de actividades ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Anexos 36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro Página

Cuadro1 Atributos de Calidad 18

Cuadro2 Probabilidad estadística de la prueba de F para variables de la prueba de germinación estándar de tres variedades de maíz 26

Cuadro3 Probabilidad estadística de la prueba de F para variables de la prueba de vigor en tres variedades de maíz..... 28

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica Página

Gráfica1 Comparación de medias para porcentaje de plántulas normales, anormales y semillas duras. 27

Gráfica2 Prueba de medias de porcentaje de germinación en prueba de vigor y porcentaje de viabilidad en variedades de maíz 29

Gráfica3 Prueba de comparación de medias para velocidad de emergencia..... 30

Gráfica4 Prueba de medias para longitud de mesocótilo y plúmula en variedades de maíz evaluadas en dos profundidades de siembra..... 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Página

Figura 1 Necesidades agroclimáticas en el cultivo de maíz 15
Figura 2 Ubicación del experimento 23
Figura 1 Variedades utilizadas ALP, Imparable y V340 36
Figura 2 Siembra de semillas..... 36
Figura 3 Estableciemiento en campo 36
Figura 4 Establecimiento de experimento en campo 36
Figura 5 Establecimiento de experimento en campo 36
Figura 6 Emergencia de plántulas 37
Figura 7 Variedad ALP 37
Figura 8 Separación de plántulas normales y anormales..... 37
Figura 9 Medidas de LP y LM..... 38
Figura 10 Medida de LM 38
Figura 11 Prueba de germinación estándar. 38

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre se estableció e inicio a labrar la tierra, comprendió que el grano servía para la sobrevivencia de la especie, debido a esta cualidad se volvió un insumo muy importante en el establecimiento de la especie humana.

Al inicio del siglo XIX, en su mayoría de los campesinos abastecían su semilla de las parcelas que sembraban. Al concluir el combate militar global en 1945 la producción agrícola aumenta la demanda de semillas en cantidad y calidad e inicia la industria semillera.

Gracias a los avances en la ciencia básica y aplicada, hoy en día, se ha mejorado la capacidad de establecer un cultivo, la industria busca ser eficiente ante los recursos; suelo, agroquímicos, condiciones bióticas y abióticas, y mano de obra. Se podría atribuir que, a pesar de contribuir con la nutrición adecuada, disponibilidad hídrica, control oportuno de plagas y enfermedades, la falta de vigor y calidad en el lote de semillas se vuelve clave durante la producción agrícola. En la investigación científica se ha observado que el vigor en la semillas establece rendimientos óptimos.

El interés por conseguir características en los lotes de semilla, se sustenta en, su adquisición; representa alrededor del 25% de la inversión durante la producción agrícola, estos costos se deben a la mano de obra empleada, transporte, almacenamiento, tratamientos para su conservación, así como a los atributos de calidad que se buscan durante su reproducción. Los cuatro atributos en una semilla son: calidad física, fisiología, genética y sanitaria. Una vez cosechada la semilla se deben realizar pruebas con la finalidad de conocer el porcentaje de germinación y el vigor del lote de semillas, al alcanzar los estándares de calidad deseados por los productores, éstas son enviadas a diferentes regiones para su comercialización.

Justificación

La adquisición de semilla representa uno de los principales costos durante la producción agrícola, por lo cual es importante conocer la calidad de las semillas para asegurar un adecuado establecimiento de plántulas en condiciones de campo y en conjunto con un adecuado manejo agronómico contribuir a la obtención de altos rendimientos. El escrito tiene como finalidad evaluar la calidad fisiológica y el vigor de semilla de tres variedades de maíz para Valles Altos.

Objetivo general

Evaluar la calidad de semilla de tres variedades de maíz para Valles Altos.

Objetivos específicos

1. Determinar la calidad fisiológica de semilla de tres variedades de maíz para Valles Altos.
2. Determinar el vigor de semilla de tres variedades de maíz para Valles Altos.

Hipótesis

Al menos dos variedades de maíz presentan diferencias en calidad fisiológica y vigor de semilla.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del Maíz

A pesar de los estudios realizados acerca del origen maíz, aún no se conoce con claridad. Se estima que, las primeras plantas domesticada por poblaciones de América, fue entre los años 7,000 y 10,000. La prueba más antigua del maíz como provisión de los pueblos antiguos se encontró en algún sitio arqueológico de México donde se ubicaron pequeñas mazorcas, hace más 5,000 años de antigüedad (Reyes,1990; Paliwal, FAO, 2001).

Hace mucho tiempo los habitantes de Centro América y México eran nómadas; su actividad principal fue la caza, búsqueda de semillas y frutos. En un lugar de México, descubrieron una planta con apariencia de zacate, presentaba una flor en la punta del tallo que no daba granos y otras más en el tallo que producían el grano, se comenzó a sembrar las semillas obtenidas y a cultivar por la abundancia, así es como nació el maíz criollo que conocemos en la actualidad (Gómez et al., 1995).

Wilkes y Goodman (1995) han construido un diagrama donde se presentan varios modelos probables para la cuna del maíz. Estos son: i) evolución vertical del maíz moderno a partir de maíz silvestre; ii) progresión de teosinte a maíz; iii) separación del maíz y el teosinte, originados ambos en un ancestro común, habiéndose separado durante el proceso evolutivo; y, iv) hibridación, habiéndose originado el maíz como un híbrido entre teosinte y una gramínea desconocida.

Al cultivar el maíz, el hombre observó y eligió; plantas de calidad ya que producían mejores cosechas, porque presentaban mejor herencia, gracias a que los hombres elegían las semillas con las características que consideraban oportunas para el siguiente ciclo, se obtuvo una nueva población, a este proceso le llamó: selección masal (Canastuj, 2011).

Importancia del cultivo de maíz en México

La interacción que existe con la población y el maíz es antigua y crucial con el desarrollo de las civilizaciones mesoamericanas; desde su domesticación ha sido parte de la nutrición de los seres vivos, su implementación va desde granos y forraje, el cual es materia prima en la elaboración de alimentos, en la farmacéutica y manufactura. Con la transformación del maíz se producen más cuatro mil productos asociados entre ellos se consideran de importancia el almidón, fructuosa, aceites, cartón, chocolates, biocombustible, alimento animal y alimento para los seres humanos. (Maria del Rosario Selene, 2016).

En México existen 64 razas de maíces nativos (*Zea mays* L.) cultivados a lo largo de la historia, han evolucionado a la par del hombre el maíz, gracias a esto permitió crear un sin número de recetas. La implementación del trueque y los inicios de la comercialización, se volvió la fuente de ingresos de varias hogares rurales mexicanas y continúa siendo (Suárez et al., 2013).

Según los últimos datos de la FAO (2016), el maíz es el grano más sembrado a nivel global con una producción superior a 1,060 M de t. Se cultiva principalmente en Asia y Norteamérica, seguido de Latinoamérica y Europa, se puede encontrar en todos los continentes. En segundo lugar, de producción de granos se encuentra el trigo con más de 749 M de t, y en tercer lugar el arroz, con una producción superior a 740 M de t (Martínez, 2018).

La producción de pequeña y mediana escala aporta un 60% de la producción en México siendo los medianos productores que llegan a obtener rendimientos de 10 t ha^{-1}, contribuyen el 91% de la superficie sembrada (SADER,2020)

Estadísticas de la producción de maíz en Valles Altos

El maíz está presente en todo la república Mexicana, el consumo promedio va de 146,000 gramos al año en forma de tortillas. El SIAP (2022) reportó que la superficie sembrada en 2022 fue de un millón de ha; 100 mil menos (6.8%) que en el ciclo anterior, con una producción de 6.9 M de t. Sinaloa, Veracruz y Chiapas,

concentraron siete de cada diez hectáreas sembradas, siendo Sinaloa el líder en la producción, con 5.1 M de t cosechadas, que representó el 75% de la producción nacional, mientras que Veracruz ocupó el segundo lugar con 7.5%. Con la disminución en la superficie sembrada de maíz blanco, se estima que al cierre del ciclo 2021-2022 se logró 7.0 M de t, 7.6% menos que en el ciclo 2020-2021 (SIAP, 2022).

En Valles Altos de la Mesa Central de México que incluye los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México y Puebla, se trabajan aproximadamente de 1.5 millones de hectáreas con este grano, de las cuales 53.3 % son de temporal, con lluvias tardías o escasas, afectando el ciclo agrícola, al momento de la siembra, gracias a este inconveniente, se ven expuestas a heladas tempranas, y atrasos en el producción o perdida del grano por las condiciones desfavorables, como falta de agua en etapa vegetativa o exceso de agua al momento de la cosecha. (Espinosa-Calderón et al., 2021).

Factores que afectan el establecimiento de los cultivos

El cambio climático afectará negativamente el suministro mundial de alimentos, es necesaria la investigación para mejorar la producción agrícola en condiciones climáticas y poder garantizar la seguridad alimentaria mundial. A pesar de los esfuerzos de mejoramiento, ciertas etapas del ciclo del cultivo son sensibles a los factores climáticos, como la germinación, crecimiento de plántulas, floración, polinización y desarrollo de las semillas (Reed y Bradforf, 2022).

El maíz es de los cultivos resistentes que se adaptan a diversas condiciones bióticas o abióticas pudiendo ser sembrados en una gran variedad de climas, suelos, latitudes y altitudes, ya que se establece desde los 40º latitud sur en Argentina y Chile hasta los 60 º latitud norte en Canadá (Miramontes et al., 2014). La calidad de la semilla es un rasgo esencial para la producción de cultivos y la seguridad alimentaria, particularmente durante la creciente incertidumbre debido al cambio climático (Finch-Savage y Bassel, 2015).

El agua mínima requerida para obtener un rendimiento medio va de 480 mm; mientras que una lámina de precipitación con exceso oscila de 1300 a 1500 mm. Se necesitan de 700 a 1300 mm para un rendimiento adecuado en el ciclo productivo del maíz. (INIFAP, 2012).

En promedio se requiere una temperatura de 14 a 18 °C para el adecuado desarrollo vegetativo del cultivo de maíz, con exceso 24 a 26 °C para una aptitud agroclimática media y de 18 a 24 °C para una aptitud agroclimática alta (INIFAP, 2012).

Figura 1.

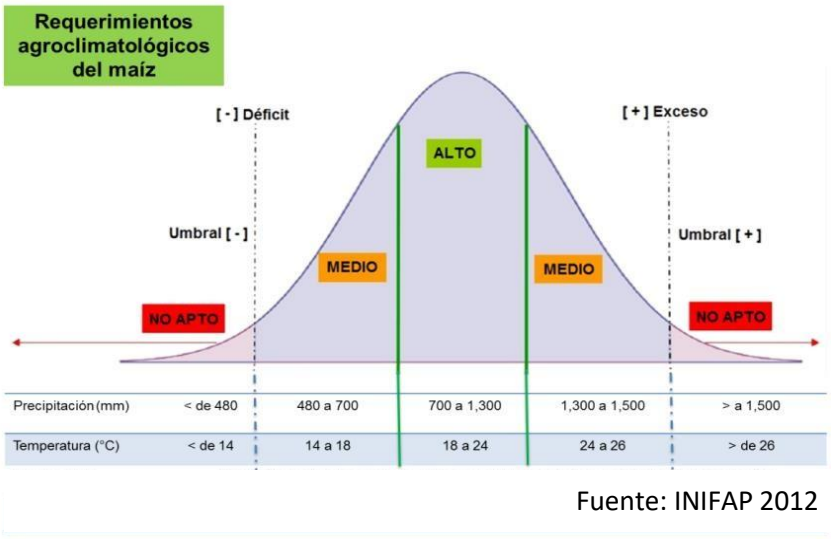


Figura 1. Necesidades agroclimáticas en el cultivo de maíz.

El cultivo de maíz soporta un rango de temperaturas, que van de los 5 a 45 °C, las temperaturas muy calurosas o frías pueden afectar al momento de la cosecha y disminuir el rendimiento, esto se atribuye al estrés, se recomienda al agricultor modificar la fecha de siembra o establecer un cultivo precoz. Los rayos solares en exceso no suelen causar daños al cultivo, en cambio la falta de luz por tiempo prolongado durante, la floración afecta en la etapa reproductiva.

El acame es un inconveniente más al hablar de maíz criollo por la altura que presenta la planta, gracias a los fuertes vientos o lluvias torrenciales lo que provoca la ruptura del tallo, así como el manejo agronómico la alta densidad de siembra o la

mala distribución de plantas. El acame impacta directamente en el rendimiento, al momento que la mazorca esta en contacto con el suelo se puede inicia la pudrición o se germina impidiendo que se pueda cosechar y conservar como insumo de alimento. (Lafitte, 1994).

Otro problema que se presenta en la producción de maíz es la falta de cobertura de totomoxtle, dejando expuesta la cubertura de la mazorcar provocando el aparecimiento de enfermedades en el grano, causadas por hongos o daños por pájaros e insectos (Canastuj, 2011).

Se considera que ha causa de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, se esta provocando el cambio climático a nivel mundial, es probable que se presenten temperaturas más elevadas y mayor variabilidad o disminución de la precipitación que repercutirá en la agricultura y con ello, la seguridad alimentaria de las poblaciones. El cultivo de maíz se ve amenazado en disminuir su rendimiento debido gracias a las variaciones del cambio climático (Cervantes et al., 2014).

Según FAO (2013), la agricultura estará en aprietos y la seguridad alimentaria se ve seriamente comprometida debido al incremento de la población, lo cual nos indica que para el año 2050 producción agrícola tendrá que aumentar 70% para cubrir las necesidades de alimentos de toda la humanidad. El cambio climático es la principal limitante dentro de la producción y amenazar las cadenas productivas del sector agrario.

La disponibilidad de agua, nutrientes, energía solar y baja incidencia de factores abióticos como plagas, enfermedades y regulación del crecimiento de la flora en las parcelas, son y serán fundamentales en el desarrollo del cultivo de maíz en el correcto establecimiento. Las pérdidas económicas dependerán de las incidencias de los factores bióticos, abióticos y de la disponibilidad de recursos para obtener una producción rentable.

Atributos de la calidad de las semillas

Para cualquier cultivo es fundamental tener en un lote de semillas de calidad, para tener éxito desde de la siembra y se establezca un cultivo vigoroso con el objetivo

de garantizar la mejor producción, es importante considerar la viabilidad de la semilla, lo cual comprende el tiempo que conservan su capacidad para germinar, por lo tanto, es el rango de partida para la producción agrícola (Doria, 2010).

El término grano es designado dentro de la alimentación humana y animal, como fuente de alimento básico para muchos seres vivos. Por otra parte, la semilla; es el principal órgano reproductivo de las plantas superiores, pueden almacenarse vivas por largos períodos, asegurándose así la preservación de especies y variedades valiosas (Doria, 2010).

Para que la semilla germine con el vigor deseado, es fundamental que el embrión se transforme en una plántula, siendo capaz de contar con las reservas necesarias para después realizar fotosíntesis y convertirse en una planta adulta. Todo este proceso metabólico y morfogenético se inicia con la finalidad de permitir la germinación de la semilla. (Doria, 2010).

La calidad, de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), se describe como el valor total de la semilla de las características genéticas y conjunto de factores que afectan el crecimiento, maduración y capacidad de almacenamiento (SNICS, 2018). Otros aspectos decisivos en la producción agrícola son las condiciones ambientales, las prácticas agronómicas, la fertilidad del suelo y el control de plagas (Osborn et al., 2011). La semilla cuenta con las condiciones nutricionales necesarias para sí misma y para otros seres vivos oportunistas que encuentran el alimento perfecto para sobrevivir (Arriaga, 2000).

Al hablar de semillas adecuadas se debe hacer mención a cuatro atributos de calidad: *física*, se refiere a aspectos como el tamaño y peso de semilla, así como la ausencia de materiales extraños; *fisiológica*, se traduce en la característica que presentan la semilla para establecer un cultivo normal; *genética*, son los atributos heredados por los progenitores que determinan su potencial de producción y; *sanitaria*, que asegura que la semilla esté libre de enfermedades y sustancias ajenas a la semilla.

Las malezas, semillas de otras especies, estructuras seminales separadas, partículas de otras hojas u otros materiales al ser retiradas de la semilla pura nos permitirán determinar la calidad de la semilla, midiendo el parámetro pureza física, el cual consiste retirar cualquier semilla ajena al lote. La sanidad de la semilla es la presencia o ausencia de organismos causantes de daños; como insectos. enfermedades presentes, ya sean hongos, bacterias, virus y nematodos, algunas condiciones fisiológicas como deficiencias o fitotoxicidades. El adecuado control fitosanitario es paíte fundamental, en la búsqueda u oíigen de una enfeímedad, con el fin de encontíaí un diagnóstico y el tíatamiento, adecuado paía ella, en ocasiones en las semillas podemos encontrar patógenos que no presentan síntomas y para su identificación es necesario usar técnicas de laboratorio específicas (Arriaga, 2000).

Cuadro 1.Atributos de Calidad.

Caracteres específicos	**Cualidades**
Productividad Evolución Resiliencia sequías, a plagas y enfermedades Enfermedades transmisibles por la semilla	Calidad genética
Vida de anaquel en bolsa, a campo o en silo, se presenta, plagas y enfermedades.	Calidad sanitaria
Grado de madurez alcanzado Poder germinativo, vigor	Calidad Fisiológica
Peso, humedad, tamaño Presencia/ausencia de materias extrañas, malezas comunes y nocivas Uniformidad de formas, tamaño, color, brillo, vistosidad	Calidad Física

Fuente: INTA, 2004.

Germinación

La germinación es el conjunto de fenómenos por los cuales el embrión, que se encuentra en estado de vida latente dentro de la semilla, inicia su crecimiento y se desarrolla para establecer una plántula (Marasssi, 2013), se inicia con la entrada de

agua alrededor del 30 % de su peso seco (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación (Villamil y Pérez-García).

Son cuatro etapas principales:

1. La imbibición de agua;

2. La síntesis y activación de los sistemas enzimáticos;

3. Degradación de las sustancias de reserva y;

4. Elongación de las células del embrión y emergencia de la radícula.

Los indicadores visuales de la germinación son: 1) emergencia de la radícula, este fenómeno demora de 2 a 3 días en zonas cálidos y con la correcta humedad, en suelos secos y/o más frescos (<10 °C); 2) emergencia del coleóptilo, puede tardar 7 hasta 15 días o más o varios días dependiendo de la temperatura del suelo, esta estructura vegetal rígida es la encargada de abrir paso a través del suelo para la emergencia de la planta, en virtud de la elongación del mesocótilo; 3) emergencia de las raíces seminales laterales. Cuando las condiciones de temperatura (32 a 35 °C) y humedad son adecuadas, las tres estructuras pueden emerger casi el mismo día.

Vigor de la semilla

La semilla es el óvulo fecundado, transformado y maduro. Es un el órgano de disociación y conservación lo que representa la evolución reproductiva de la clasificación de las angiospermas. Ésta se forma mediante la embriogénesis cigótica, que comprende los cambios morfológicos, estructurales y de expresión génica que tienen lugar desde la formación del cigoto hasta el final del desarrollo y la maduración del embrión (Marasssi, 2013).

El vigor de la semilla es un término que engloba diversas características dentro de ellos describe el grado de actividad en diferentes rango de ambientes (Manfrini, 2004).

Estas cualidades se atribuyen a la actividad de los lotes de semillas:

- Rapidez de emergencia, similitud de germinación y crecimiento de plántulas.

- Capacidad de emergencia en ambientes desfavorables.

- Comportamiento después del anaquel, en específico la capacidad de germinación.

El vigor de un lote de semillas se entiende como el total de características que determinan el grado de actividad y aptitud de las semillas durante la germinación y después emergencia de las plántulas. Las semillas con buena actividad presentan alto vigor (García y Pita-Villamil, 2001). No hay una definición de vigor establecida, existen diferentes puntos de vista donde se ha concluido; como el factor fundamental en la calidad de la semilla (Navarro et al., 2015).

Las semillas deben conservar su destreza, germinación y vigor hasta el momento en que serán sembradas, con el objetivo de establecer un cultivo homogéneo y con ello rendimientos redituables. Si una semilla tiene nula capacidad de germinar se debe, a que es un ser vivo en proceso degenerativo el cual puede culminar en la muerte, si esto sucede la semilla deberá ser empleado en la industria alimentaria; siempre y cuando no contenga productos fitosanitarios para el control de plagas o enfermedades.

Los análisis de vigor se realizan con el objetivo de conocer la actividad fisiológica de lotes de semillas. Bewley y Black (1994) mencionan desde el punto de vista bioquímico, que el vigor es la habilidad que tiene un organismo para la biosíntesis de energía y compuestos metabólicos, como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos. Todo asociado a la actividad celular, la integridad de las membranas celulares y el transporte o utilización de sustancias de reserva. El vigor en la germinación se presenta con rapidez, homogeneidad y fuerza, al igual que la resistencia de las plántulas a las condiciones ambientales desfavorables (Filho, 2005).

García y Pita Villamil (2001) hacen referencia que la longevidad es el tiempo que pueden permanecer viables las semillas en ciertas circunstancias de temperatura y humedad, de natural las semillas manifiestan una duración que varía entre especies.

La ausencia de vigor está relacionada con la pérdida de capacidad que tienen las semillas para iniciar todas las funciones fisiológicas que dan paso a la germinación. El llamado envejecimiento fisiológico o deterioro de las semillas se inicia inmediatamente después de la madurez fisiológica y prosigue mientras las semillas permanecen en la planta antes de la cosecha, durante la misma, en el procesamiento y almacenamiento. También se ha propuesto que la incidencia de plántulas anormales se puede deducir del análisis de los cursos de tiempo de germinación (AM y Bradford, 1992), ya que el período de retraso antes de que comience la germinación indica la extensión de los procesos de reparación debido al daño sufrido durante el envejecimiento (Matthews y Khajeh-Hosseini 2007).

Capítulo III

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1

Consistió en evaluar la calidad fisiológica de semilla. Se realizó una prueba de germinación estándar. La prueba se realizó mediante el método “entre papel”, donde; veinticinco semillas fueron colocadas y espaciadas en forma alternada en toallas de papel (22.5 x 23.5 cm) y enrolladas en forma de taco. Los rollos se colocaron en bolsas de plástico y luego se colocaron en un micro-túnel durante siete días, manteniendo una humedad adecuada. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones de 100 semillas, el factor de estudio fue variedades. Los datos se analizaron con el programa estadístico InfoStat versión 2020.

Experimento 2

El experimento se establecerá bajo un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo de tratamientos de dos factores de estudio, que resultan de la combinación de tres variedades de maíz y dos profundidades de siembra, con cuatro repeticiones de 25 semillas por tratamiento. La unidad experimental consistió de un surco en el cual se sembraron 25 semillas. La siembra se efectuó en semilleros colocados a campo abierto, utilizando arena de río como sustrato, las semillas fueron sembradas a 5 y 10 cm de profundidad, 5 cm entre plantas y a una distancia de 8 cm entre surcos, se aplicó un riego al momento de la siembra y después diariamente para mantener el sustrato húmedo. Los datos se analizaron con el programa estadístico InfoStat versión 2020.

Localización del experimento

Se realizó en las instalaciones de la escuela de Ingeniería Agronomía y Zootecnia perteneciente al Complejo Regional Centro sede Los Reyes de Juárez, ubicada en

Calle Dr. Gonzalo Báez Camargo, s/n San Juan Acozac, Los Reyes de Juárez, Puebla.

Figura 2. Ubicación del experimento.

Variables a evaluar

Experimento 1

Porcentaje de germinación (PG). Se evaluó en base al número de plántulas con coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones al finalizar la prueba y fue expresado en porcentaje.

Porcentaje de plántulas Anormales (PPA). Se contabilizó el número de plántulas que presentaron malformaciones en coleóptilo y hojas, que impiden un desarrollo normal y fue expresado en porcentaje.

Porcentaje de semillas duras (PSD). Se contabilizó el número de semillas que presentaron imbibición pero que no desarrollaron radícula o coleóptilo, y fue expresado en porcentaje.

Experimento 2

Velocidad de Emergencia (VE). Se realizaron conteos diarios a partir de la emergencia de la primera plántula, hasta que se obtuvo un número constante de éstas. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$VE = \sum_{i=1}^{n} \lfloor \frac{X_i}{N_i} \rfloor$$

En dónde:

VE: Velocidad de emergencia.

Xi: Número de plántulas emergidas por día.

Ni: Número de días después de la siembra.

Además, a los 14 días después de la siembra se seleccionaron diez plántulas normales al azar por repetición para evaluar;

Longitud de plántula (LP). Se medió la longitud de plántula desde la base del cuello de la planta y fue expresado en centímetros.

Porcentaje de germinación en la prueba de vigor (PGV). Se determinó el número de plántulas emergidas que no presentaron malformaciones en el coleóptilo.

Porcentaje de viabilidad (PV). Se obtuvo sumando el número de plántulas normales y anormales.

Longitud del mesocótilo (LM). Se midió de la base del cuello de la plántula hasta la inserción de la vaina de la primera hoja.

Longitud de plántula (LP). Se midió desde la base del cuello de la plántula hasta el ápice de la última hoja desarrollada.

Peso seco de la parte Aérea (PSA). Se separó la raíz de la parte aérea y se colocó en una bolsa de papel perforada, se someterá a secado natural durante 21 días y transcurrido ese tiempo se tomó la lectura del peso seco y se expresó en miligramos por plántula.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey para las variables con significancia estadística ($P \leq 0.05$). Se utilizó el programa estadístico InfoStat versión 2020.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las semillas de calidad permiten buena actividad con fines agrícolas, mejorando la producción en términos de calidad y rentabilidad. En la prueba de germinación estándar se encontraron diferencias estadísticas para PG, PPA y PSD ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1), lo cual indica diferencias en la calidad fisiológica de semilla entre las variedades evaluadas. El PG es esencial para un buen establecimiento de plántulas en campo y con ello asegurar una población adecuada que permita una mayor productividad del cultivo.

Cuadro 2. Probabilidad estadística de la prueba de F para variables de la prueba de germinación estándar de tres variedades de maíz.

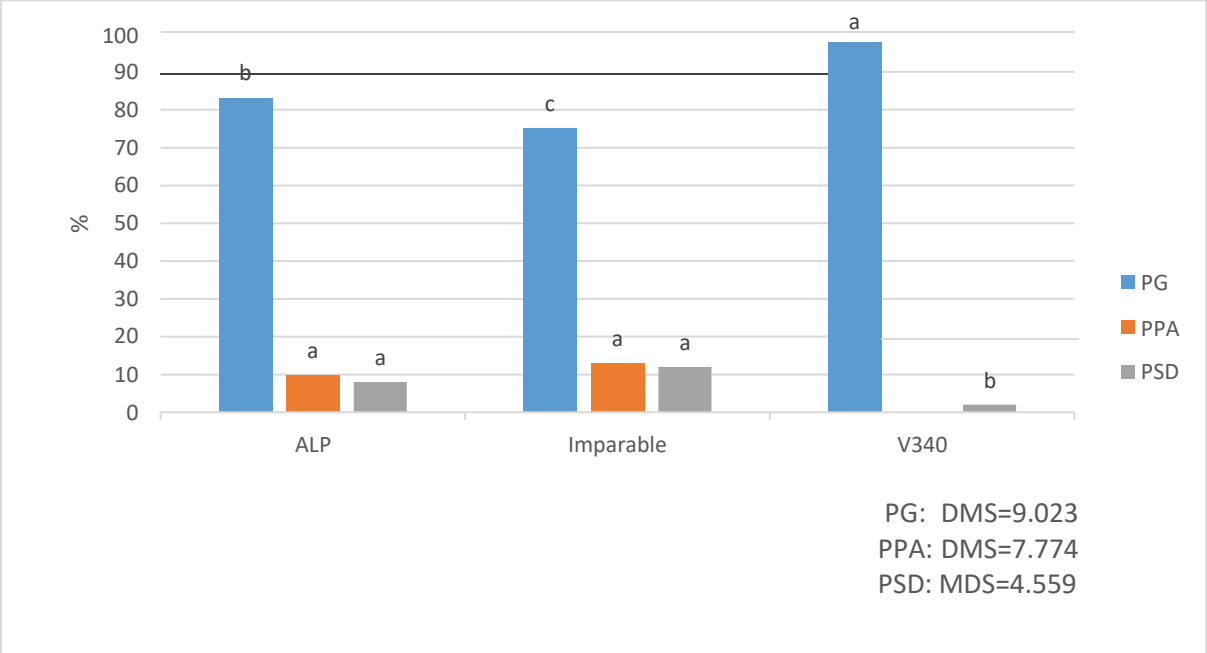
	PG	PPA	PSD
Variedades	<0.0001*	0.0074*	0.0006*
CV (%)	4.56	59.61	31.49

*Significativo ($p \leq 0.05$); NS: no significativo ($p \leq 0.05$); V: Variedad; PG: Porcentaje de germinación; PPA: Porcentaje de plántulas anormales; PSD: Porcentaje de semillas duras.

Para PPA hubo diferencias estadísticas entre las variedades, los valores oscilaron de 0 a 13%, la V340 mostró mejor calidad fisiológica en comparación a las otras dos V, esto se deduce al mostrar el mayor PG. Generalmente las anormalidades de las plántulas son ocasionadas por condiciones de estrés durante la formación de la semilla, o por factores que disminuyen la viabilidad de la semilla como son temperaturas máximas de lo establecido o alta humedad relativa durante la vida de anaquel. Durante el desarrollo de la semilla en condiciones de estrés se puede presentar anomalías estructurales y funcionales en la semilla, que evitan un desarrollo normal de la plántula. Para PG se encontraron diferencias estadísticas entre variedades, los valores oscilaron de 75 a 98% donde V340 mostro el mayor PG. Bradford, 2004 menciona que el vigor en los lotes, puede verse afectado por el

almacenamiento inadecuado, lo cual genera mecanismos de deterioro en la semilla y bajar el porcentaje de emergencia, la velocidad de crecimiento de la plántula, tolerancia a condiciones adversas, también provoca crecimiento anormal, daños en estructuras principales de las plántulas entre otros factores que pudieron presentarse en el resto de las variedades.

Gráfica 1.Comparación de medias para porcentaje de plántulas normales, anormales y semillas duras.



La escases de emergencia, es provocada por varias causantes, entre ellas que la semilla no sea viable, que las condiciones ambientales no sean las adecuadas para la germinación, o que la semilla presente dormancia. En PSD los valores oscilaron de 2 a 12 %, hubo diferencias estadísticas, siendo Imparable la mejor variedad por presentar el menor valor. Villamil y Pérez-García (2013) menciona que una vez hidratada la semilla se inicia el proceso de germinación, pero algunas semillas probablemente no pueden inhibir agua permaneciendo deshidratas por un tiempo prolongado lo cual da paso a semillas duras, impidiendo la germinación exitosa. Otro factor que se puede considerar es la interferencia por intercambio de gases donde García y Pita Villamil, mencionan que, al acumular un exceso de agua, el

mucílago que; tiene por función primaria el retener agua para evitar posible deshidratación puede entorpecer el paso del oxígeno y ser un factor de dormición.

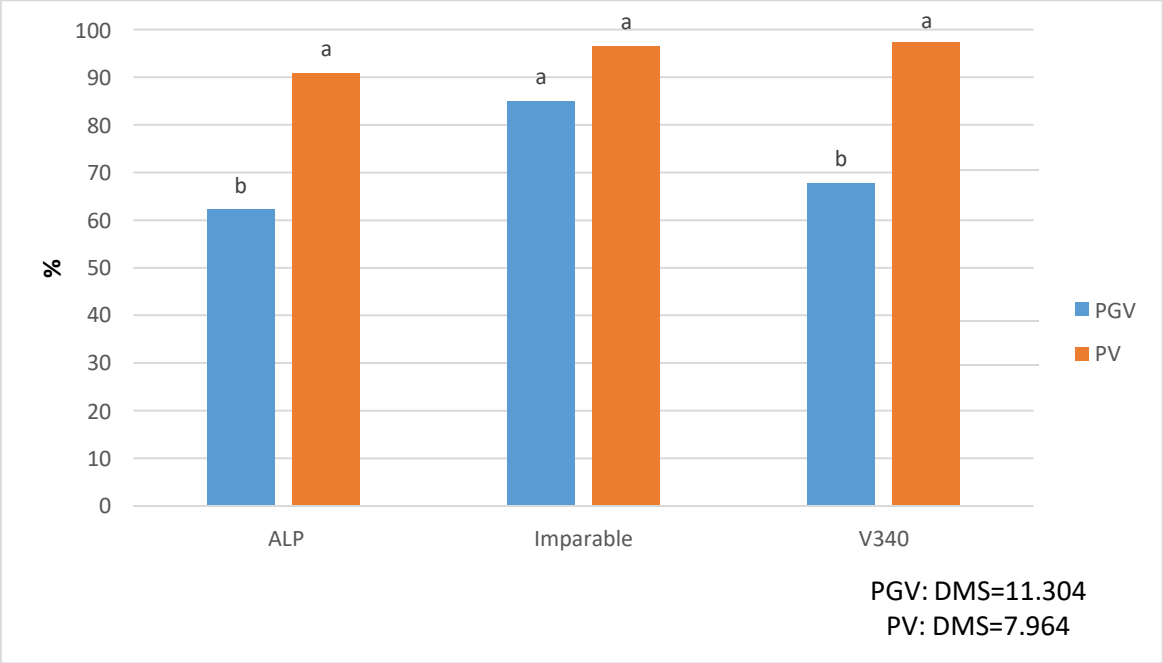
Cuadro 3. Probabilidad estadística de la prueba de F para variables de la prueba de vigor en tres variedades de maíz.

	PGV	PV	VE	LP 2	LM 1	PSA
Variedades	0.0001*	0.0999ns	0.0078*	0.6109ns	0.5135ns	0.1998ns
Profundidad de siembra	<0.0001*	0.3791ns	<0.0001*	0.001*	<0.0001*	0.1949ns
V*PS	0.1356ns	0.6510ns	0.0360*	0.3318ns	0.2029ns	0.3434ns
CV(%)	12.41	6.56	17.01	12.99	19.15	99.79

*Significativo (p≤0.05); NS: no significativo (p≤0.05); V: Variedad; PS: Profundidad de siembra; V*PS: Interacción variedad por profundidad de siembra; PGV: Porcentaje de germinación en la prueba de vigor; PV: Porcentaje de viabilidad; VE: Velocidad de Emergencia; LP: Longitud de plúmula; LM: Longitud del Mesocótilo; PSA: Peso seco de la parte aérea.

El vigor es un rango fundamental en la calidad de la semilla, el cual es esencial durante la germinación y establecimiento de plántulas en campo, y que se relaciona con el rendimiento. En este experimento se encontró diferencias estadísticas en PGV para V y PS (p≤0.05), no obstante, para PV no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 2). El PGV osciló de 62.2 a 85%, la variedad Imparable presentó el mayor valor (Grafica 2). El vigor de semilla es un rasgo que incluye la capacidad de la semilla para germinar en condiciones adversas o aún después de estar almacenadas, además de la capacidad de las plántulas para crecer normal y uniformemente. Para la emergencia exitosa de una semilla deben cumplirse tres condiciones de acuerdo a Hartman y Kester, que el embrión sea viable, que los factores externos sean los adecuado y que no presente inconvenientes internos que impidan el establecimiento. La reserva de carbohidratos, lípidos y proteínas, así como la capacidad de imbibición y las condiciones ambientales, permiten una germinación exitosa.

Gráfica 2.Prueba de medias de porcentaje de germinación en prueba de vigor y porcentaje de viabilidad en variedades de maíz.

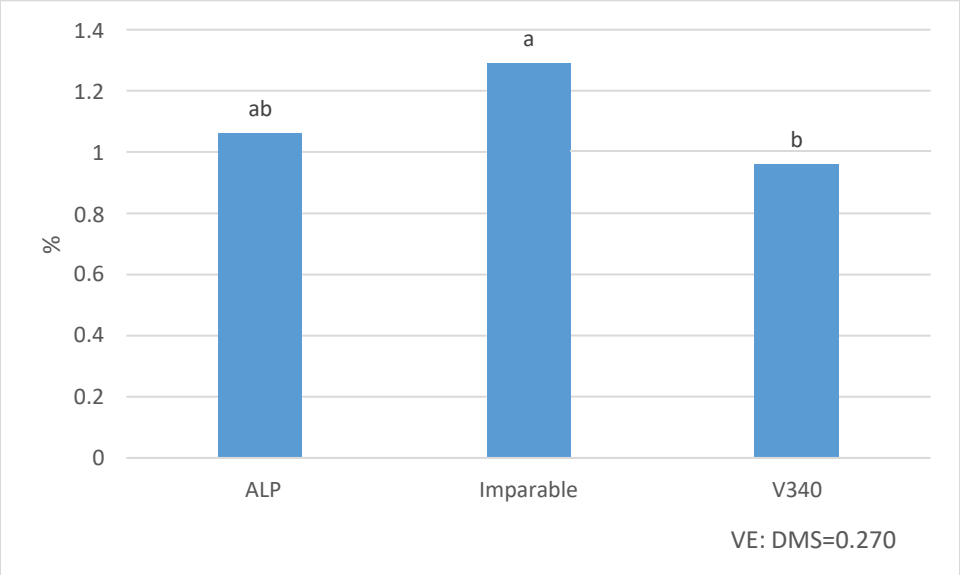


En PV los valores oscilaron de 90.8 a 90.1%, no hubo diferencias estadísticas ya que se encontraron un gran número de plántulas anormales que fueron contabilizadas para el cálculo del PV. El PV no implica que las semillas tengan la capacidad de desarrollarse como plántulas normales en condiciones de campo ya que se presenta; manifestando un de deterioro como; disminución de la capacidad germinativa e incrementos de plántulas anormales, reducido crecimiento de plántula, por lo cual es más importante considerar el vigor del lote.

Para VE los valores oscilaron de 0.96 a 1.29%, hubo diferencias estadísticas entre variedades y profundidad de siembra. La VE es un parámetro importante porque determina la velocidad de establecimiento de plántulas y generalmente está relacionada con la calidad física de la semilla, entre más grande y pesada sea la semilla es más rápida su emergencia. El deterioro de la semilla también juega un papel importante, ya que la pérdida metabolitos reduce el vigor de la semilla, así como la exposición a temperaturas y humedad alta provoca envejecimiento acelerado y por consecuente el deterioro del lote de semillas.

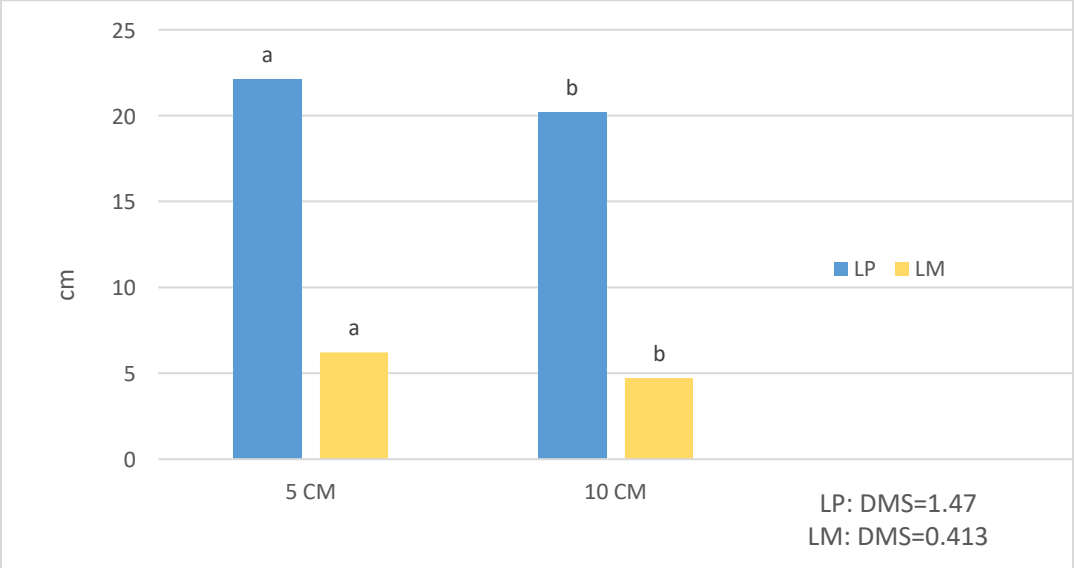
Para PSA los valores oscilaron de 0.10 a 0.23% no hubo diferencias estadísticas entre V y PS ($p \leq 0.05$). Un aspecto a considerar es la calidad física de las semillas, cuando son de mejor tamaño y peso presentan plántulas con mayor biomasa y lorgo de plántulas, en comparación a semillas más pequeñas o de menor peso.

Gráfica 3.Prueba de comparación de medias para velocidad de emergencia



Para LP y LM se encontró diferencia estadística en PS a 5 cm en comparación de la PS a 10 cm. En LP los valores oscilaron de 20.76 a 21.49 cm, mientras que en LM osciló de 5.26 a 5.57 cm. Entre mayor sea la PS se requiere de un mayor alargamiento del mesocótilo, el cual es un carácter genético que no poseen todas las variedades, por otro lado a menor PS se espera una emergencia más rápida El-Abady, 2015 en un estudio realizado nuestra; a una profundidad de 2 cm en comparación de 6 cm germino 96 % del lote, un día y medio antes y se observó un mayor minero de raíces,

Gráfica 4.Prueba de medias para longitud de mesocótilo y plúmula en variedades de maíz evaluadas en dos profundidades de siembra



El vigor de la semilla contribuye directamente al éxito económico de todos los cultivos comerciales, si la emergencia de las plántulas es inadecuada, la cantidad de producto cosechado disminuye. El vigor de la semilla está determinado por el número de plántulas normales, germinación de plántulas, peso de plántula y otras variables más, y se reduce en semillas provenientes de plantas desarrolladas bajo condiciones de estrés o por el deterioro de la semilla durante el almacenamiento. Comúnmente el comportamiento en velocidad de emergencia, porcentaje de germinación, velocidad de crecimiento, longitud y peso seco de plántula, está influenciado en gran medida por las características de las variedades. Otros factores que provocan alteración en el grado de vigor es la nutrición de la planta madre, estado de madurez a la cosecha, tamaño de semilla e integridad mecánica. El vigor de la semilla es una característica compleja y es importante conocer la calidad de las semillas para hacer una correcta elección y decisión.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Las variedades evaluadas mostraron diferencias estadísticas en calidad fisiológica y vigor de semilla. La semilla de la variedad Imparable mostró mejores características en calidad fisiológica y vigor de semilla, al ser una semilla estable en diferentes ambientes y condiciones climáticas, grano de alto peso. El vigor de semilla es fundamental para lograr un adecuado establecimiento de plántulas en campo, por lo cual es recomendable evaluar este parámetro en los lotes de semilla.

BIBLIOGRAFÍA

AM, a., & Bradford KJ. (1992).L LOS TRATAMIENTOS DE PREHIDRATACIÓN Y CEBADO QUE ADELANTAN LA GERMINACIÓN TAMBIÉN AUMENTAN LA TASA DE DETERIORO DE LAS SEMILLAS DE LECHUGA. J Exp Bo.

Arriaga, V. (2000). *SEMILLAS INSPECCIÓN, ANALISIS, TRATAMIENTO Y LEGISLACIÓN* (1° ed.). Venezuela: Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura.

Canastuj, F. I. (2011). *SELEECIÓN MASAL EN EL CULTIVO DE MAÍz (Zea mays L.) para pequeños productores* (1a. Edición ed.). Guatemala: ICTA.

Cervantes, R. A., Velázquez Angulo, G., Flores Tavizón, E., & Romero González, J. (2014). IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ. En U. A. Aguascalientes (Ed.), *Revista* (págs. 48-53). Aguascalientes, México: Investigación y Ciencia.

Doria, J. (2010). *GENERALIDADES SOBRE LAS SEMILLAS: SU PRODUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO.* La habana, Cuba: SciELO.

Espinosa-Calderón1, A., Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González1, B., Virgen-Vargas, J., Turrent-Fernández, A., López-López, C., Zaragoza-Esparza2, J. (2021). HV 60 A: HÍBRIDO VARIETAL DE MAÍZ AMARILLO PARA SIEMBRAS RETRASADAS EN VALLES ALTOS DE MÉXICO. Ciudad de Mexico: Nueva Variedad.

Farras, T. (s.f.). *CALIDAD DE SEMILLA: QUÉ IMPLICA Y CÓMO DETERMINARLA.*

Filho, J. M. (2005). FISIOLOGIA DE SEMENTES DAS PLANTAS CULTIVADAS. En J. M. Filho, *Fisiologia de sementes das plantas cultivadas.* (pág. 495). Brasil, Brasil : FEALQ.

Finch-Savage, W., & Bassel, G. (2015). *SEED VIGOUR AND CROP ESTABLISHMENT:EXTENDING PERFORMONCE BEYOND ADAPTATIOn.* Reino Unido: Revisión de Darwin.

García, F. P., & Pita Villamil, J. M. (2001). VIABILIDAD, VIGOR, LONGEVIDAD Y CONSERVACIÓN DE LAS SEMILLAs. Paseo de la infansia Isabal, Madrid, España.

Gomez, F., Bueso, F., Reconco, R., Hughes Hattett, P., Bentley, J., & Smith, M. (1995). *MANUAL DE MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DEL MAÍZ CRIOLLO CON PEQUEÑOS PRODUCTORES.* Honduras: Zamorano.

Lafitte, H. (1994). *IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN PRODUCCIÓN DE MAIZ TROPICAL* (1° ed.). D.F., México: CIMMYT.

Manfrini, D. (2004). *ANÁLISIS DE VIGOR EN SEMILLAS .* Uruguay: INASE.

Marasssi, I. A. (2013). *Germinación de Semillas.* Argentina : Azul C. Courtis.

Maria del Rosario Selene, V. G. (2016). *PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL MAÍZ EN MÉXICO, COBERTURA DE RIESGOS CON DERIVADOS.* Mérida, Yucatán, México: AMECIDER – ITM.

Martínez, J. C. (2018). *SUNNY ORGANIX. AGRICULTURA NATURAL Y ECOLOGICA*. Recuperado el 10 de Enero de 2023, de https://agroworld.home.blog/2018/11/18/los-9-cereales-y-granos-mas-cultivados-en-el-mundo/

Miramontes, J. A., Avila Salazar , J., Martinez Heredia , D., & Rivas Santoyo, F. (2014). *EL CULTIVO DEL MAÍZ GENERALIDADES Y SISTEMA DE PRODUCCION EN EL NOROESTE.* Mexico: Departamento de Agricultura y Ganaderia.

Nvarro, M., Febles, G., & Herrera, R. (Number 4 de Volumen 49 de 2015). EL VIGOR, ELEMENTO INDISPENSABLE DE LA CALIDAD DE LAS SEMILLAS. Mayabeque, Cuba , Cuban Journal of Agricultural Science .

Osborn, T., Napolitano, G., & Fajardo, J. (2011). *SEMILLAS EN EMERGENCIAS.* Roma: FAO.

Reed, R. C., & J Bradford, K. (2022). *SEED GERMINATION AN VIGOR: ENSURING CROP SUSTAINABILITY IN A CHANGING CLIMATE.* Berkeley, CA, EE. UU: The Genetics Society.

SADER. (2020). *MAÍZ EL CULTIVO DE MÉXICO*. Recuperado el 2023 de Enero de 11, de https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexico?idiom=es

SIAP. (2022). *MAÍZ BLANCO*. Recuperado el 9 de Marzo de 2023, de file:///C:/Users/maryc/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/W7S19VXZ/Ma_z_blanco_Agosto_2022[1].pdf

SNICS. (10 de Mayo de 2018). *¿QUÉ ES Y EN QUÉ CONSISTE EL ANÁLISIS DE PUREZA FÍSICA DE LAS SEMILLAS?* Obtenido de ¿Qué es y en qué consiste el análisis de pureza física de las semillas?: https://www.gob.mx/snics/articulos/que-es-y-en-que-consiste-el-analisis-de-pureza-fisica-de-las-semillas?idiom=es

Suárez, R. F., Morales Chávez, L. A., & Gálvez Mariscal, A. (2013). *IMPORTANCIA DE LOS MAÍCES NATIVOS DE MÉXICO EN LA DIETA NACIONAL. Revisión indispensanble.* México: Rev. Fitotec. Mex.

Terenti, O. (2004). *CALIDAD DE LA SEMILLA, QUÉ IMPLICA Y CÓMO EVALUALARLA .* San Luis, Informativo Rural: Sitio Argentino de Producción Animal.

Villamil, J. M., & Pérez García, F. (s.f.). *GERMINACIÓN DE SEMILLAS.* Madrid: Hojas Divulgadoras.

Anexos

Figura 1. Variedades utilizadas ALP, Imparable y V340.

Figura 2. Siembra de semillas

Figura 3. Estableciemiento en campo

Figura 4. Establecimiento de experimento en campo.

Figura 5. Establecimiento de experimento en campo.

Figura 6. Emergencia de plántulas

Figura 7. Variedad ALP

Figura 8. Separación de plántulas normales y anormales.

Figura 9. Medidas de LP y LM

Figura 10. Medida de LM

Figura 11. Prueba de germinación estándar.

Actividades	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Nov
Diseño del experimento	X												
Preparación de la cama de germinación	X												
Siembra		X											
Riego de la cama		X											
Colecta de muestras		X											
Secado y pesado de las muestras			X										
Búsqueda de literatura				X	X	X	X	X					
Interpretación de análisis y redacción									X	X	X		
Presentación de protocolo												X	
Presentación de examen													X

Cuadro 4.Cronograma de actividades