



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**USO DE AGUA CALIENTE PARA EVALUAR LA CALIDAD DE SEMILLAS DE
MAÍZ (*Zea mays* L.) AZUL, BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTA

Ladislao Ramos Guerrero

ASESOR: M. en C. Oscar Horacio Guillén Ayala

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

	página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	3
HIPÓTESIS	3
III REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Calidad de semilla	4
3.2 Pruebas de calidad de semilla	5
3.3 Prueba de inmersión en agua caliente	7
3.4 Germinación	9
3.4.1 Factores que afectan la germinación	10
3.5 Vigor de semilla	11
3.6 Factores que influyen en el vigor	12
3.6.1 Factores genéticos	13
3.6.2 Factores ambientales	13
3.6.3 Madurez al momento de la cosecha	13
3.6.4 Daño mecánico	13
3.6.5 Daño por patógenos	13
3.6.6 Deterioro durante el almacenamiento	14
3.7 Velocidad de emergencia	14
IV MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1 Localización Del experimento	15

	4.2 Material genético	15
	4.3 Unidad experimental	15
	4.4 Diseño experimental	15
	4.5 Variables a evaluar	15
	4.6 Análisis estadístico.....	16
	4.7 Manejo del experimento.....	17
V	RESULTADOS.....	18
VI	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	24
VII	CONCLUSIONES.....	28
VIII	BIBLIOGRAFÍA.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

	página
Cuadro 1. Análisis de varianza y análisis de regresión para las variables evaluadas.....	18
Cuadro 2. Promedios para la longitud de la raíz (cm) a los 15 días después de la siembra de tres variedades de maíz.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1. Análisis de regresión para el porcentaje de germinación de las semillas y la longitud de plántula (cm) a los 15 días después de la siembra.....	19
Figura 2. Análisis de regresión para la longitud de raíz (cm) y el número de hojas/plánula a los 15 días después de la siembra.....	20
Figura 3. Análisis de regresión para el peso seco de la plántula (g) y el peso seco de la raíz (g) a los 15 días después de la siembra.....	21
Figura 4. Análisis de regresión para la relación altura de plántula/longitud de la raíz y para la relación peso seco de la plántula/peso seco de la raíz a los 15 días después de la siembra.....	22

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar el efecto de la inmersión en agua (92 °C) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de tres variedades de maíz bajo condiciones de laboratorio. El diseño estadístico utilizado fue el de bloques al azar con arreglo factorial (distribuido en cuatro repeticiones), un factor estuvo constituido por cinco tiempos de inmersión en agua a 92 °C (0, 2, 4, 6 y 8 segundos) y el otro por tres variedades de maíz (V-39 "Cocotitlán", V-45 "Sierra negra" y una variedad criolla). El tiempo de inmersión en agua que causó mayor deterioro y reducción de la germinación en las semillas de maíz fue el de 8 segundos. En general, las variables evaluadas presentaron una disminución a medida que aumentaban los tiempos de inmersión en agua a 92 °C, aunque el efecto causado sobre las variables: longitud de plántulas, número de hojas por plántulas y peso seco de la raíz de las variedades V-39 y V-45 fue leve. La inmersión de las semillas en agua caliente durante breves periodos de tiempo fue para determinar su calidad.

Palabras Clave: Semillas de maíz, inmersión en agua caliente, deterioro de semilla.

I. INTRODUCCIÓN

El consumo de maíz (*Zea mays* L.) de grano azul es aprovechado principalmente como alimento humano en muchas regiones del territorio mexicano. Constituye uno de los tipos de maíz de mayor importancia en los Valles Altos Centrales de México, tanto por el área de explotación que ocupa como por su consumo (Miguel *et al.*, 2004). El maíz azul se ha convertido en un cultivo de alto valor estratégico debido a su importancia creciente en la elaboración de diversos alimentos típicos empleados en la dieta humana, así como su demanda en la industria farmacéutica debido a que los maíces azules contienen antocianinas que se están empleando como fuente de antioxidantes (Agama *et al.*, 2005; Espinosa, 2003). Además, el potencial de dichos maíces se ha incrementado debido a que son fuente importante para la extracción de pigmentos naturales (Guemes *et al.*, 2002; Salas, 2003).

Este tipo de maíz tiene la desventaja de que no se produce con semilla certificada, lo que permite que no se disponga de una buena calidad de semillas que se requieren para satisfacer las necesidades de siembra para los Valles Altos (Arellano, 2006).

La calidad de semilla abarca la suma de todas las propiedades o características las cuales determinan el nivel potencial del comportamiento de las semillas o lotes de semillas y del establecimiento del cultivo. Los componentes de calidad de la semilla incluyen los aspectos genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios. Estos cuatro componentes pueden ser afectados adversamente durante la producción, procesamiento, almacenamiento y transporte de las semillas. Se han dirigido grandes esfuerzos para identificar los problemas principales que ocurren a través de la producción de semillas y para desarrollar prácticas apropiadas que aseguren altos niveles de calidad de las semillas producidas. Aunque las investigaciones realizadas consideran todas las características de calidad de semilla, la literatura demuestra que el componente fisiológico ha recibido más atención con un énfasis en los estudios relacionando la identificación de la relación entre el vigor de la semilla y la emergencia de la plántula y el vigor de la semilla. Los agricultores requieren tal información para determinar prontamente la rapidez esperada y la

uniformidad de la emergencia de las plántulas cuando se compran las semillas. Los investigadores también requieren de esta información porque ellos saben que la pérdida del vigor precede a la pérdida de la viabilidad y que las pruebas de vigor podrían ayudar en el monitoreo de la calidad de la semilla después de la maduración (Hernández *et al.*, 2000).

La tecnología de semillas, como una fase del proceso de producción, debe procurar mejorar las pruebas de vigor con la finalidad de optimizar las estimaciones del potencial de desempeño de un lote de semillas en campo (Agrawal, 1986). La evaluación del vigor de las semillas, como rutina por la industria de semillas, tiende a evolucionar a medida que las pruebas disponibles van siendo perfeccionadas, fortaleciendo con mayor precisión y reproducibilidad los resultados dentro y entre laboratorios (Bourland *et al.*, 1988.); se ha verificado la evolución en el uso de pruebas para evaluar el vigor de semillas en grandes cultivos como el maíz (Vieira *et al.*, 2003).

Existen numerosas metodologías para determinar la calidad de diferentes variedades o lotes de semillas de maíz, una de las más utilizadas en este cultivo es la prueba de agua caliente para estimular la germinación de semillas en diferentes cultivos, entre ellos el maíz.

La inmersión de semillas de maíz en agua caliente no es una práctica común para determinar la calidad de las semillas de diferentes cultivares de maíz o diferentes lotes de semillas como ha sido utilizada en arroz, de allí que reviste gran importancia la investigación que se pueda realizar al respecto.

La técnica de calor con la inmersión en agua caliente durante un tiempo relativamente corto podría utilizarse para predecir la viabilidad de las semillas de maíz, aunque la literatura es escasa en relación a este tema, de allí que para la realización de este trabajo se plantean los siguientes objetivos.

II. OBJETIVOS

Determinar el efecto de la inmersión en agua caliente (92 °C) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de tres variedades de maíz azul bajo condiciones de laboratorio.

Evaluar el efecto de la inmersión en agua caliente (92 °C) sobre el número de hojas por plántula y la relación de peso seco de la plántula y raíz de tres variedades de maíz azul bajo condiciones de laboratorio.

HIPÓTESIS

Existe una relación diferente en la expresión de la calidad de semilla de dos variedades mejoradas y una variedad criolla de maíz evaluadas con la técnica de inmersión en agua caliente.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Calidad de semilla.

La calidad de la semilla es un concepto múltiple que abarca varios componentes que se ordenan de acuerdo al nivel de utilización de la semilla. Para un agricultor la calidad significa lo idóneo para sembrar en su propio campo de cultivo, en un momento determinado del año, y para su propio propósito particular (Pérez de la Cerda *et al.*, 2007). También la sanidad de semilla es más importante en una zona húmeda que en una seca, la capacidad de germinación en condiciones atmosféricas adversas que adecuadas, el tamaño de la semilla para siembra mecánica que para siembra a mano, la pureza analítica para la primera cosecha que para las siguientes, la pureza de un cultivar para una cebada cervecera que una para alimentación de ganado (Tadeo *et al.*, 2005).

La calidad es un concepto integral que está formada por cuatro componentes: genético, fisiológico, sanitario y físico (ISTA, 2005), sin embargo debe tenerse en cuenta que en el proceso de beneficio puede mejorarse la calidad física al separarse y uniformizar tamaños de semilla atractivos comercialmente. El componente genético se refiere a la calidad que obtuvo el fitomejorador. Mayor es la calidad genética cuando se asegura la identidad genética o pureza varietal de acuerdo con la semilla original. La máxima calidad genética está relacionada con la copia fiel de la variedad obtenida por el fitomejorador. El componente fisiológico es el potencial biológico de la semilla que permite el establecimiento rápido y uniforme en el campo bajo condiciones favorables y desfavorables, para lo que se debe incluir la germinación, viabilidad y el vigor. El componente sanitario se refiere a que la semilla se encuentre libre de microorganismos, que representan una dificultad para la producción de semilla de alta calidad. El componente físico es un nivel óptimo de excelencia con respecto a tamaño, forma, color, brillantez, densidad, peso de semilla, porcentaje de semilla pura (Tadeo y Espinosa, 2004; Tadeo *et al.*, 2005).

La calidad de semilla se puede evaluar mediante variables de calidad física, como el contenido de humedad, el peso de mil semillas y el peso volumétrico, entre otras; o de variables de calidad fisiológica, como son la velocidad de emergencia, y los porcentajes de viabilidad y germinación. La mayoría de estas variables se cuantifican fácilmente, pero pueden o no estar asociadas al vigor (Hernández y Carballo, 1997). Así, la disminución en el porcentaje de viabilidad de la semilla es usualmente precedida por la pérdida de vigor (Basu, 1995); sin embargo, la viabilidad generalmente no se relaciona con el establecimiento de plántulas en el campo, ya que solamente expresa el grado en el cual las semillas están vivas, son metabólicamente activas y poseen enzimas capaces de catalizar reacciones necesarias para la germinación y crecimiento de las plántulas, pero pueden contener tanto tejido vivo como muerto, por lo que no hay garantía para su germinación (Copeland y McDonald, 1995).

3.2 Pruebas de calidad de semilla.

Las pruebas de calidad de semillas se dirigen a tratar de predecir la vida de almacenamiento de un lote de semillas o su calidad después de un período especificado, la emergencia en el campo después de la siembra y el subsiguiente vigor de las plántulas y el rendimiento final del cultivo (Hernández y Carballo, 1997).

Existen muchas metodologías para determinar la calidad de diferentes lotes de semillas de maíz, pero cualquier prueba debe ser capaz de proveer un índice más sensible de calidad de semillas. Una de las más utilizadas en este cultivo es la prueba de envejecimiento acelerado, la cual consiste en la utilización de un equipo que permita mantener la temperatura (40-45 °C) y la humedad relativa (100%) constantes durante cierto tiempo de permanencia (de 2 a 8 días) de una determinada muestra de semilla a la que se desea efectuar la prueba (ISTA, 2005; Méndez *et al.*, 2007). Tras el tratamiento, se evalúa la capacidad germinativa de las semillas, considerando más vigorosos aquellos lotes que son capaces de producir un mayor número de plántulas normales (Tofiño *et al.*, 206).

Otra prueba que se emplea comúnmente es la de crecimiento y evaluación de plántulas que mide la longitud de diversas partes de la plántula al cabo de un determinado periodo de desarrollo. Por ello son especialmente apropiados en especies cuyas plántulas tienen un vástago recto y estrecho, como en el maíz, trigo y cebada o que presentan raíces simples como la lechuga. En el caso de que las mediciones sean complejas de realizar por las características de la plántula, la evaluación se centra en su aspecto (ISTA, 1995).

El ensayo de frío, se utiliza principalmente en maíz (*Zea mays*), y en el se evalúa el vigor, indirectamente, a través de] efecto que tiene el tratamiento de los granos con bajas temperaturas, sobre el posterior crecimiento y desarrollo de las plántulas. Para ello se mantienen los granos de maíz durante 7 días en oscuridad, a 10 °C y un 95% de humedad relativa, incubándose, a continuación, con iluminación y a 25 °C. Las plántulas que se obtienen se evalúan cuando hayan desarrollado dos o tres hojas y la raíz mide unos 20 cm (Bewley, 1997).

Por otra parte, Manuel *et al.* (2007) indican que varias son las pruebas utilizadas para el vigor de las semillas, tales como el primer conteo de la germinación, envejecimiento acelerado, clasificación del vigor de las plántulas, peso y crecimiento de plántulas, velocidad de emergencia, inmersión en agua caliente, entre otras.

Un método sencillo, que no requiere de equipos especializados para identificar semilla de buena calidad y que permite a la vez evaluar el efecto del estrés salino, es el empleo de compuestos o productos comerciales para simular bajo condiciones de laboratorio el estrés por salinidad: sulfato de sodio y cloruro de sodio (Martínez, 1999; Méndez *et al.*, 2002). El método se basa en el hecho de que una semilla que tenga capacidad para germinar y emerger bajo condiciones de estrés salino es indicativo de un potencial genético para la tolerancia a la sal, al menos en esta etapa del ciclo de vida (Andrade, 1997).

3.3 Prueba de inmersión en agua caliente.

Se ha señalado el uso de agua caliente para eliminar patógenos de las semillas. Tenente *et al.* (1999) evaluaron la eficiencia de varias técnicas físicas y químicas para erradicar *Aphelenchoides besseyi*, y *Ditylenchus dipsaci* en semillas de maíz, avena y arroz, exponiendo las semillas a calor húmedo (40 °C) durante 15, 30 y 60 minutos, seguido de calor húmedo (60 °C) durante 5, 8 y 10 minutos, respectivamente y encontraron que todos los tratamientos erradicaron ambas especies de nematodos de las semillas de arroz, el calor húmedo de 40 °C durante 30 minutos seguido por el calor húmedo de 60 °C durante 8 minutos produjo el mejor comportamiento de las semillas comparado con el control. Para las semillas de avena, sólo el tratamiento con calor húmedo e hipoclorito de sodio erradicaron a *D. dipsaci*, pero el hipoclorito de sodio redujo la germinación. El tratamiento térmico de las semillas de maíz a 40 °C durante 30 minutos, seguido por 60 °C durante 8 minutos erradicó los nematodos y la germinación y el vigor fueron similares a aquellos de los controles.

Por otra parte, se ha utilizado agua caliente como una técnica que puede facilitar la diferencia de lotes de semillas de buena calidad de aquellos lotes de mala calidad (Bewley, 1997). La técnica consiste en la inmersión en agua caliente a altas temperaturas (90-100 °C) y con esto se logran modificar las cubiertas duras, remover las sustancias inhibitoras, ablandar las semillas y reducir el tiempo de germinación (Basra, 1995); esta técnica podría sustituir al método de cámara de envejecimiento acelerado debido a que es un método más económico, de fácil manejo y no requiere de equipos especiales (Bourland *et al.*, 1988).

La técnica de inmersión en agua caliente para estimular la germinación de semillas se ha probado en diferentes cultivos. Akinola *et al.* (2000) evaluaron los efectos de seis métodos y seis tiempos de duración sobre la germinación de semillas de girasol silvestre. Los tratamientos fueron: agua caliente a 80 °C; agua caliente a 100 °C; secado en estufa a 80 °C; secado en estufa a 100 °C; inmersión en ácido sulfúrico concentrado; inmersión en peróxido de hidrógeno al 10%. Los tiempos de duración fueron: 0, 2.5, 5, 10, 15 y 20 minutos y se encontró que los

tratamientos con agua caliente a 80 y 100 °C durante 11-14 minutos y el secado en estufa a 100 °C durante 20 minutos produjeron más del 65% de germinación a los 10 días después del tratamiento, los tres restantes tratamientos produjeron menos del 5% de germinación, los autores concluyeron que basado en la mayor germinación acumulada, el menor costo y los aspectos ambientales, el tratamiento con agua caliente a 80 o 100 °C durante 11-15 minutos fue el recomendado.

Esta técnica se ha experimentado en otros cultivos; por ejemplo, la evaluación del vigor de la semilla de arroz y el deterioro de la misma se realizó usando una técnica de baño con agua caliente; para esto se utilizaron dos variedades de arroz, que fueron sumergidas en agua caliente a tiempos y temperaturas específicas. 25 semillas de cada variedad por tres repeticiones junto a un control se sembraron en bandejas y se colocaron en el invernadero, el agua se aplicó al suelo cuando fue necesario y las semillas, en las bandejas se observaron para el conteo de emergencia de plántulas, así como el daño progresivo con incrementos de tiempo; la comparación entre las dos variedades de arroz a varios tiempos y temperaturas mostró diferencias en la viabilidad y el vigor (Menezes y Da Silveira. 1995).

También se ha utilizado en el cultivo de algodón, con mayor literatura al respecto. En un experimento las semillas de algodón se sumergieron en agua caliente de 50-90 °C durante un rango de tiempos diferente, luego se secaron durante 24 h y fueron evaluadas para germinación. El tiempo requerido para matar el 50% de las semillas calculado a partir de las ecuaciones de regresión se incrementó de 0.92 minutos a 90 °C a 283.4 minutos a 50 °C. Una evaluación adicional fue hecha con el tratamiento de agua caliente a 65 °C durante 0 a 60 minutos y se realizaron las pruebas de geminación estándar, con tetrazolio, los resultados dieron la determinación del porcentaje de germinación después del tratamiento a 65 °C durante 30 a 40 minutos e indicaron el vigor de la semilla; la cual germinada a 65 °C durante 10 minutos dio una medida precisa del total de semilla viable (Bourland *et al.*, 1988).

Por otra parte, se trataron semillas de algodón cosechadas en 1985 y 1986 con agua caliente durante 15, 30 y 45 minutos y se compararon con semillas similares sujetas a envejecimiento acelerado durante 40, 80 y 120 horas para observar la

emergencia, densidad de las plantas resultante y enfermedad de las plántulas cuando fueron sembradas en abril y mayo de 1986 y 1987, encontrando que la germinación, la emergencia y la densidad de plantas indicaron que las semillas se deterioraron progresivamente a medida que la duración del tratamiento con agua caliente se incrementó (Vieira *et al.*, 2003).

La técnica de calor con la inmersión en agua caliente durante un tiempo relativamente corto podría utilizarse para predecir la viabilidad y el vigor de las semillas de maíz.

La metodología de sumergir semillas en agua caliente para evaluar la calidad de las semillas en el cultivo de maíz no es una práctica común y la bibliografía es escasa.

3.4 Germinación.

La germinación es el reinicio del crecimiento del embrión, paralizado durante las fases finales de la maduración. Los procesos fisiológicos de crecimiento exigen actividades metabólicas aceleradas y la fase inicial de la germinación consiste primeramente en la activación de los procesos por aumentos en humedad y actividad respiratoria de la semilla (ISTA, 1995; Hernández y Carballo, 1997).

El embrión envuelto por la cubierta protectora constituida por varias capas de tejidos vivos y muertos posee reservas alimenticias suficientes para atender el aumento en la actividad metabólica (Bewley, 1997).

Desde el punto de vista fisiológico la germinación comprende cuatro fases: imbibición de agua, elongación celular, división celular y diferenciación de células y tejidos (Tofiño *et al.*, 2006).

Desde el punto de vista fisio-bioquímico se consideran las siguientes fases del proceso germinativo: rehidratación, aumento de respiración, formación de enzimas, digestión enzimática de reservas, movilización y transporte de reservas, asimilación metabólica y crecimiento y diferenciación de tejidos (Cruz, 1996).

Para que la germinación ocurra, determinadas condiciones deben satisfacerse, como que la semilla debe ser viable, las condiciones ambientales para la semilla deben ser favorables: (agua, temperatura, oxígeno y luz), las condiciones de la semilla deben ser favorables para la germinación (libre de dormancia) y las condiciones de sanidad deben ser satisfactorias (ausencia de agentes patógenos) (Manuel *et al.*, 2007).

3.4.1 Factores que afectan la germinación.

La primera condición para que la germinación ocurra, siendo la semilla viable y sin dormancia, es la disponibilidad de agua para la rehidratación. El aumento en la actividad respiratoria de la semilla a un nivel capaz de sustentar el crecimiento del embrión depende del aumento en el grado de hidratación de los tejidos (Pérez *et al.*, 2006).

La rehidratación o imbibición es un tipo de difusión que ocurre cuando las semillas absorben agua debido a sus propiedades coloidales; se caracteriza por: aumento en el volumen de la semilla, liberación de calor, además el volumen final es menor que la suma de los volúmenes originales del agua y de la semilla (Cruz, 1996).

Las distintas partes de la semilla absorben agua a diferentes velocidades, El tegumento absorbe a una velocidad menor que otras estructuras de la semilla y desempeña la función de transportador de agua del medio ambiente al interior de la semilla. El eje embrionario absorbe agua más rápidamente y de forma continua. La velocidad de imbibición de agua varía con la especie, permeabilidad del tegumento, disponibilidad de agua, temperatura, presión hidrostática, área de contacto semilla-agua, fuerzas intermoleculares, composición química y condición fisiológica.

La germinación de las semillas es un proceso complejo que comprende diversas fases, las cuales son afectadas individualmente por la temperatura. Así, los efectos de la temperatura sobre la germinación reflejan apenas una consecuencia global. Se pueden identificar tres puntos críticos de temperatura que afectan la germinación: temperatura mínima, aquella por debajo de la cual la germinación no es visible por un tiempo razonable. Temperatura máxima, por encima de la cual no hay germinación. Temperatura óptima, aquella a la cual germina el mayor número de semillas en un período de tiempo mínimo. Los efectos de la temperatura sobre la germinación pueden ser profusamente influenciados por la condición fisiológica de la semilla (Bewley, 1997).

El proceso germinativo requiere de un suplemento de energía originado a partir de las reacciones oxidativas que dependen de la presencia de oxígeno. La mayoría de las especies necesitan aireación y presencia de oxígeno para germinar (Cruz, 1996).

En el caso del maíz, el porcentaje de germinación al cuarto día de establecida la prueba es una de las formas más antiguas para medir el vigor; aunque se ha desacreditado por las dificultades para la estandarización y sólo se considera útil cuando las condiciones son cuidadosamente controladas. Se sugiere, por ejemplo, adecuar la duración de la prueba de germinación a las características y niveles de calidad fisiológica de los materiales genéticos sometidos a evaluación (Hernández y Carballo, 1997).

3.5 Vigor de semilla.

El vigor de las semillas se ha definido como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y la respuesta de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas (ISTA, 1995).

Las semillas de buen comportamiento se denominan de alto vigor y las de pobre comportamiento de bajo vigor (Tadeo y Espinosa, 2004). La definición lleva

implícitos aspectos particulares del comportamiento que han sido considerados variaciones evidentes asociadas con el vigor, como son los procesos bioquímicos y reacciones en el transcurso de la germinación, tales como la actividad respiratoria y reacciones enzimáticas, la velocidad y uniformidad de la germinación de la semilla y crecimiento de la plántula, la velocidad y uniformidad de la emergencia de la plántula y crecimiento en el campo, y la capacidad de emergencia de las semillas bajo condiciones desfavorables (Andrade, 1997).

Las clasificaciones visuales y el grado de desarrollo son buenos estimadores del vigor de plántula, por lo que son recomendables para caracterizar lotes de semilla o para seleccionar plántulas que expresen su genotipo en relación a esta característica (Virgen, 1983); sin embargo, la separación de las plántulas normales en dos categorías adicionales (vigorosas y débiles) es una tarea sutil que al depender de su evaluación de la apreciación del investigador, representa una fuente adicional de variación (Copeland y McDonald, 1995). Por el contrario, algunos investigadores consideran que las variables relacionadas con el peso seco por las plántulas, son los mejores indicadores de vigor (Cruz, 1996;; Sandoval, 1995).

3.6 Factores que influyen en el vigor.

Dentro de los factores que están involucrados en el origen y causas del vigor de la semilla se consideran dos grupos, los de origen genético y los de origen ambiental que son los que inciden desde el lote de producción hasta los posteriores a la cosecha (Tadeo *et al.*, 2005). El vigor de una semilla varía debido a diversos factores, entre los cuales se encuentran la constitución genética, ambiente en el que se desarrolló la planta, madurez de la semilla al momento de la cosecha, tamaño y peso de la semilla, integridad mecánica, deterioro, envejecimiento y ataque de patógenos. La manifestación del vigor de la semilla está regulada por la constitución genética de la especie o variedad en cuestión, las condiciones en que se desarrolla la semilla y el ambiente en que se haga germinar (Tadeo y Espinosa, 2004).

3.6.1 Factores genéticos.

El factor genético se produce por heterosis o por disparidad de vigor entre líneas parentales. El patrón básico de la germinación y crecimiento esta codificado por las características genéticas de la especie, pero es afectado por el ambiente bajo el cual se desarrolla la semilla, se cosecha, se almacena, etc. (Santiago, 2005; Tadeo y Espinosa, 2004).

3.6.2 Factores ambientales.

Los factores ambientales que prevalecen durante el desarrollo de la planta, como la temperatura, humedad relativa, lluvias, enfermedades, plagas, radiación y otros, afectan la calidad de las semillas (Santiago, 2005; Tadeo y Espinosa, 2004).

3.6.3 Madurez al momento de la cosecha.

El momento o la oportunidad de cosecha es probablemente el factor más importante en la producción de semillas, es decir, si el desarrollo de los individuos en una población no es uniforme, se cosecharán algunas semillas maduras y otras inmaduras (Martínez, 1996; Tadeo y Espinosa, 2004).

3.6.4 Daño mecánico.

Los daños mecánicos causan anomalías a la semilla, tales como la destrucción de cubiertas, hipocótilos rotos y cotiledones que llegan a estar separados por eje embrionario, incrementando la susceptibilidad al ataque por microorganismos y reduciéndose la longevidad de la semilla en el subsecuente almacenamiento (Martínez, 1996; Tadeo y Espinosa, 2004).

3.6.5 Daño por patógenos.

Los granos y semillas pueden ser invadidos por diversos patógenos (hongos, virus, bacterias e insectos) durante su permanencia en el campo o subsecuente

almacenamiento, causando diferentes tipos de daños, afectando su vigor, establecimiento y rendimiento (Manuel *et al.*, 2007).

3.6.6 Deterioro durante el almacenamiento.

El almacenamiento se inicia a partir del momento en que las semillas alcanzan la madurez fisiológica, momento en el cual, también se inicia el proceso de deterioro que se caracteriza por reducciones sucesivas en vigor y viabilidad hasta la pérdida del poder germinativo (Martínez, 1996). El deterioro de semillas implica un cambio degenerativo e irreversible en la calidad de la semilla (Manuel *et al.*, 2007).

3.7 Velocidad de emergencia.

El índice de velocidad de emergencia fue propuesto para tomar en cuenta el número de días en que emergen las plantas del suelo, lo que permite obtener mejores estimadores del vigor de las plántulas para ser utilizadas en programas de mejoramiento genético, ya que se ha demostrado que las plántulas con mejor vigor poseen mejores características de área foliar, peso seco y longitud de raíz (Santiago, 2005). Se ha destacado la prueba de velocidad de emergencia como una herramienta en las pruebas de calidad fisiológica de semillas de maíz y cultivos de semillas con tamaño grande (Hernández y Carballo, 1997; Martínez, 1996)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del experimento.

El presente trabajo se llevo a cabo en el laboratorio de Genética de la carrera de Ingeniero Agrícola en la FES-Cuautitlán, UNAM.

4.2 Material genético.

Se utilizaron semillas de maíz azul de dos variedades mejoradas de polinización libre: la variedad V-39 “Cocotitlán” y la variedad V-45 “Sierra Negra”, liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) así como una variedad criolla de maíz azul utilizada por los agricultores de la región de Juchitepec, Estado de México. Todas las semillas tuvieron un contenido de humedad alrededor del 12% al momento de la cosecha y se almacenaron en refrigeración (5 ± 1 °C).

4.3 Unidad experimental.

La unidad experimental estuvo formada por un lote de 25 semillas representando la repetición de una variedad y un tiempo de inmersión en agua caliente.

4.4 Diseño experimental.

Se empleo un diseño estadístico de bloques al azar con arreglo factorial con cuatro repeticiones. Un factor estuvo constituido por los tres cultivares de maíz mencionados anteriormente. El otro factor correspondió a cinco tiempos de inmersión de las semillas en agua caliente: 0, 2 4, 6 y 8 segundos a una temperatura de 92 ± 1 °C. El tiempo 0 constituye el tratamiento testigo.

4.5 Variables evaluadas.

Las variables que se valuaron fueron:

1. Porcentaje de germinación (%). Es estimado en el número de semillas germinadas sobre el total de semillas sembradas en cada unidad

experimental. Los registros de germinación se realizaron a diario durante 15 días, considerando germinadas las semillas que tenían radícula mayor de un cm de longitud. Los datos se transformaron mediante la fórmula:

arcoseno $\sqrt{\left(x + \frac{3}{8}\right) (n + 3/4)}$ (Zar, 1996).

2. Longitud de plántula (cm). Se medio a partir de los 15 días después de la siembra. Se tomaron cinco plántulas al azar de cada repetición. Se utilizó una regla graduada, midiendo del cuello de las plántulas hasta la punta superior extendida de la hoja más larga.
3. Longitud de la radícula (cm). Se realizó con la misma metodología que para longitud de plántula, midiendo a partir del cuello de la plántula hasta la punta de la raíz más larga.
4. Relación de longitud de plántula con la longitud de raíz.
5. Número de hojas/plántula. Se contaron las hojas que estaban totalmente extendidas.
6. Peso seco de plántula. Se determinó después de secar las plántulas en una estufa marca Riossa, en donde estuvieron sometidas a una temperatura de 80 °C durante 72 horas. Se pesaron en una balanza analítica digital marca Scaltec y se obtuvo el peso en gramos.
7. Peso seco de raíz. Se determinó después de secar las raíces en una estufa marca Riossa, en donde estuvieron sometidas a una temperatura de 80 °C durante 72 horas. Se pesaron en una balanza analítica digital marca Scaltec y se obtuvo el peso en gramos.
8. Relación de peso seco de plántula y peso seco de raíz.

4.6 Análisis estadístico.

Para la fase de laboratorio, los datos de porcentaje de germinación se transformaron mediante la fórmula: arcoseno $\sqrt{\left(x + \frac{3}{8}\right) (n + 3/4)}$, mientras que para

las demás variables los datos serán transformados mediante la fórmula $\sqrt{(x + 0.5)}$ (Zar, 1996).

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), adicionalmente se realizó un análisis de regresión entre las variables para todas las variedades. Los análisis estadísticos serán realizados con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System, versión 8.0) (SAS Institute Inc., 1999).

4.7 Manejo del experimento.

Se emplearon 750 semillas, 250 de cada variedad. Las semillas se separaron en lotes de 25 semillas. Se desinfectaron con una solución de hipoclorito comercial al 10% por un período de tres minutos, posteriormente se lavaron con abundante agua para eliminar el exceso de cloro. A continuación se colocaron dentro de un recipiente de vidrio, el cual se colocó en “baño maría” a 92 ± 1 °C durante 2, 4, 6 y 8 segundos, la temperatura se controló con un termómetro marca Brannan.

Las semillas se sembraron utilizando el método “entre papel” recomendado por la International Seed Testing Association (ISTA) (1995), el cual consiste en extender dos toallas previamente humedecidas con agua destilada sobre una superficie plana, sobre las cuales se colocaron 25 semillas distribuidas en 5 columnas y 5 hileras, por repetición de cada una de las variedades y por cada tiempo de inmersión, a continuación se cubrieron con otras dos toallas húmedas y se enrollaron en forma de “taco”, para después ponerlas a germinar, acomodando los “tacos” en forma vertical en bolsas de plástico y se colocaron dentro de la cámara de germinación marca Burrows Master. Durante la prueba se mantuvieron constantes los niveles de humedad y temperatura de 25 °C. Las semillas se humedecieron diariamente con agua destilada durante los 15 días.

V. RESULTADOS

En el cuadro 1, se presenta el análisis de varianza y de regresión para el porcentaje de germinación a los 15 días después de la siembra, se observa que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para todas las fuentes de variación.

En la figura 1 se observa el análisis de regresión para el porcentaje de germinación de la semilla a los 15 días después de la siembra y a medida que se incrementan los tiempos de inmersión, el porcentaje de germinación se reduce. En las variedades V-39 y V-45, los porcentajes de germinación se reducen hasta los 6 segundos y a partir de este valor comienza un incremento leve de esta variable, mientras que para la variedad criolla la respuesta fue lineal negativa.

Cuadro 1. Análisis de varianza y análisis de regresión para las variables evaluadas.

Fuente de variación	G.L.	P G	L P	L R	NHP	PSP	PSR	LP/LR	PSP/PSR
Repetición	3	4.259 *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Variedad (V)	2	54.51 *	8.348 *	4.076 *	0.508 *	0.00133 *	0.00086 *	0.235	ns
Tiempo de inmersión (TI)	4	14.679 *	1.758 *	1.824 *	0.107 *	0.00016 *	0.00021 *	ns	0.212 *
V*TI	8	2.676 *	0.857 *	ns	0.069 *	0.00005 *	ns	0.081	0.148 *
V-39 en TI	4	8.905 *	ns	6.498 *	ns	ns	0.000008 *	ns	ns
Reg. lineal	1	8.791 *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
V-45 en TI	4	7.326 *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Reg. Lineal	1	13.96 *	ns	ns	ns	0.00012 *	ns	ns	ns
V-criolla en TI	4	3.800 *	3.238 *	ns	0.237 *	0.00021 *	ns	0.182	0.473 *
Reg. lineal	1	14.655 *	10.584 *	ns	0.693 *	0.00077 *	ns	0.486	1.128 *
Error experimental		0.486	0.353	ns	0.028	0.000019*	ns	0.031	0.046
Total	32								
C. V. (%)		6.81	16.39	17.47	11.01	0.60	1.04	13.18	16.15

G.L. = Grados de Libertad.

* Significativo ($p \leq 0.05$)

C.V. = Coeficiente de Variación

ns = no Significativo ($p > 0.05$)

Porcentaje de germinación (PG), longitud de la plántula (cm) (AP), longitud de la raíz (cm) (LR), número de hojas/plántula (NHP), peso seco de la plántula (g) (PSP), peso seco de la raíz (g) (PSR), relación de longitud de plántula y longitud de raíz (LP/LR), relación de peso seco de plántula y peso seco de raíz (PSP/PSR) a los 15 días después de la siembra de tres variedades de maíz bajo cinco tiempos de inmersión en agua a 92

°C. Porcentaje de germinación transformado mediante arcoseno $\sqrt{\left(x + \frac{3}{8}\right) \left(n + \frac{3}{4}\right)}$, al igual que las

demás variables transformados mediante $\sqrt{(x + 0.5)}$.

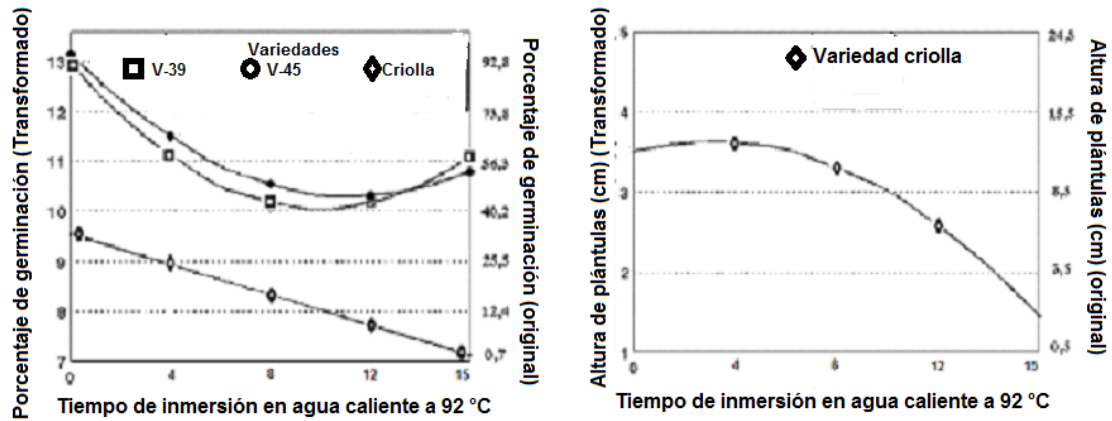


Figura 1. Análisis de regresión para el porcentaje de germinación de las semillas y la longitud de plántula a los 15 días después de la siembra.

El análisis de varianza y regresión para la longitud de plántulas a los 15 días después de la siembra indicó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variedades, inmersión en agua caliente, interacción variedad por inmersión en agua caliente, variedad criolla en inmersión en agua caliente y su regresión lineal; el resto de las fuentes de variación no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) (Cuadro 1).

En la figura 1, se observa el análisis de regresión para la longitud de plántula a los 15 días después de la siembra, la misma indicó que a medida que se incrementa el tiempo de inmersión en agua a 92 °C, las plántulas de la variedad criolla fueron más pequeñas. La longitud de las plántulas de V-39 y V-45 no fue afectada por los tiempos de inmersión en agua caliente.

El análisis de varianza y regresión para la longitud de la radícula a los 15 días después de la siembra indicó que existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variedades, inmersión en agua y la interacción de la variedad V-39 por la inmersión en agua caliente; no se encontraron diferencias significativas en las demás fuentes de variación ($p > 0.05$) (Cuadro 1).

El cuadro 2 presenta la prueba de comparación de medias de Tukey para la longitud de la raíz de las plántulas de las tres variedades de maíz. Las variedades V-39 y V-45 presentaron raíces más largas que la variedad criolla. En la figura 2

se observa que a medida que se incrementan los tiempos de inmersión en agua a 92 °C, las raíces son menos largas, con una respuesta lineal.

Cuadro 2. Promedios para la longitud de la raíz (cm) a los 15 días después de la siembra de tres variedades de maíz.

Variedades de maíz	Longitud de raíz (cm)	Peso seco de la raíz (g)
V-39	10.68 A	0.033 A
V-45	10.72 A	0.029 A
Criolla	6.07 B	0.014 B

Prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Promedios dentro de las columnas (variables) seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes. Promedios provenientes de cuatro repeticiones y cinco tiempos de inmersión en agua a 100 °C.

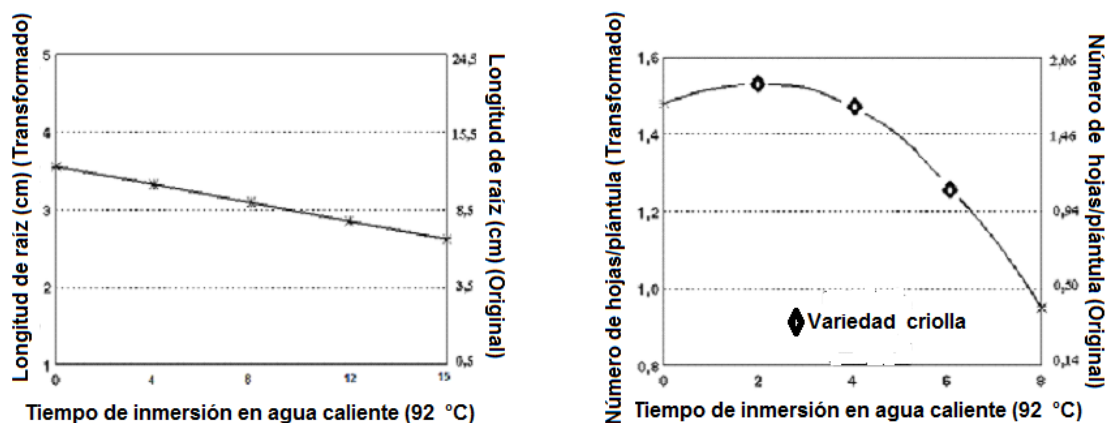


Figura 2. Análisis de regresión para la longitud de la raíz (cm) y el número de hojas/plántula a los 15 días después de la siembra.

El análisis de varianza y regresión para el número de hojas/plántula a los 15 días después de la siembra en el Cuadro 1 indicó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variedades, tiempo de inmersión, la interacción variedad por tiempo de inmersión, variedad criolla por tiempo de inmersión y su regresión lineal; pero en las demás fuentes de variación no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$).

En la figura 2 se observa el análisis de regresión para el número de hojas por plántula, al incrementar los diferentes tiempos de inmersión en agua caliente para la variedad criolla hubo una disminución de esta variable con respecto al testigo,

excepto a los 2 segundos. El número de hojas/plántula de las variedades V-39 y V-45 no se vio afectado por la inmersión de las semillas en agua caliente.

El análisis de varianza y regresión para el peso seco de la plántula a los 15 días después de la siembra indicó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variedades, tiempo de inmersión, la interacción variedades con tiempo de inmersión, regresión lineal para V-45, interacción variedad criolla con tiempo de inmersión y regresión lineal para la variedad criolla; el resto de las fuentes de variación no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) (Cuadro 1).

En la figura 3 se observa el análisis de regresión para el peso seco de la plántula en la cual se muestra que a medida que se incrementan los tiempos de inmersión en agua a 92 °C, las plántulas son más livianas, teniendo una respuesta lineal para la variedad V-45, mientras que para la variedad criolla fue cuadrática; por otra parte, el peso seco de la plántula de la variedad V-39 no fue afectado por los diferentes tiempos de inmersión en agua a 92 °C.

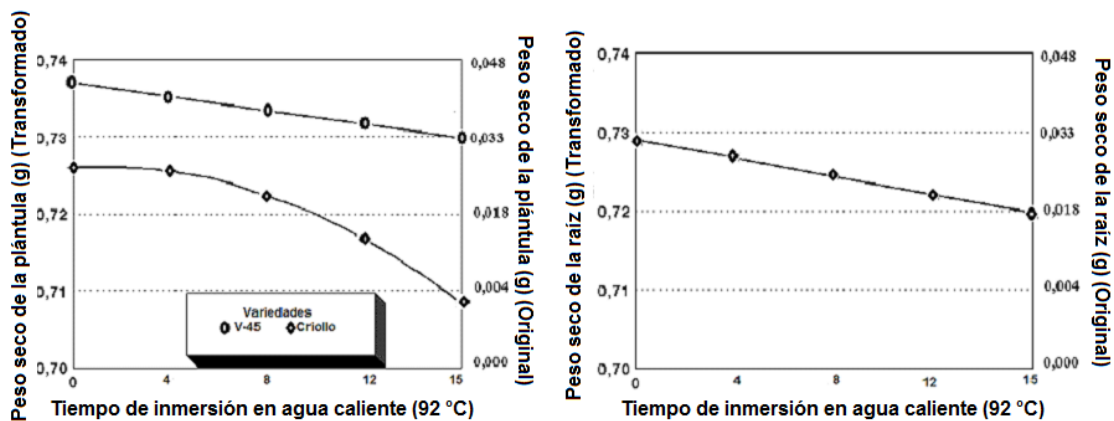


Figura 3. Análisis de regresión para el peso seco de la plántula (g) y el peso seco de la raíz (g) a los 15 días después de la siembra.

El análisis de varianza y regresión para el peso seco de la raíz a los 15 días después de la siembra indicó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variedades, el tiempo de inmersión y la interacción de V-39 con el tiempo de inmersión; el resto de las fuentes de variación no resultaron significativas ($p > 0.05$) (Cuadro 1).

El cuadro 2 muestra la prueba de promedios para el peso seco de la raíz de las tres variedades de maíz: V-39 V-45 presentan pesos similares entre sí pero superiores al de la variedad criolla. En la figura 3 se observa el análisis de regresión para el peso seco de la raíz, el cual disminuye al incrementarse los tiempos de inmersión en agua a 92 °C, con una respuesta lineal negativa.

Para la relación longitud de plántulas/longitud de raíz, el análisis de varianza y regresión en el cuadro 1 indicó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para las variedades y para la interacción variedades con tiempo de inmersión, para la interacción variedad criolla por tiempo de inmersión y su regresión lineal; las demás fuentes de variación no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$).

En la figura 4 se observa el análisis de regresión para la relación longitud de plántula/ longitud de raíz. Incrementos del tiempo de inmersión en agua a 92 °C disminuyeron la relación longitud de plántula/longitud de radícula de la variedad criolla. Observándose una respuesta cuadrática con la mayor relación a los 2 segundos. Esta relación no fue afectada por los tiempos de inmersión en agua caliente para las variedades V-39 V-45.

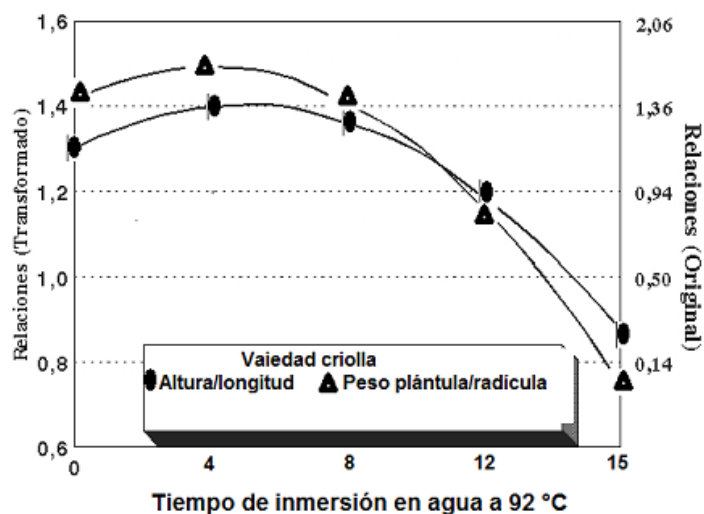


Figura 4. Análisis de regresión para la relación longitud de plántula/longitud de raíz y para la relación peso seco de la plántula/peso seco de raíz a los 15 días después de la siembra.

El análisis de varianza y regresión para la relación peso seco de la plántula/peso seco de raíz indicó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el tiempo de

inmersión, para la interacción variedades por tiempo de inmersión, variedad criolla con tiempo de inmersión y su respectiva regresión lineal. No se encontraron diferencias significativas para el resto de las fuentes de variación ($p > 0.05$) (Cuadro 1).

En la figura 4 se observa que a medida que aumentan los tiempos de inmersión en agua caliente, la relación peso seco de la plántula/peso seco de raíz disminuye. Observándose una respuesta cuadrática con la mayor relación a los 2 segundos. Esta relación no fue afectada por los tiempos de inmersión en agua caliente para las variedades V-39 y V-45.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se observó una disminución en el porcentaje de germinación y en las variables de las plántulas evaluadas. El efecto negativo de la inmersión en agua caliente sobre la germinación y vigor de las semillas de maíz ha sido reportado, en un experimento se trataron semillas de maíz y trigo con altas temperaturas y se encontró que en las de maíz tratadas a 60 ° C durante 45 horas, la germinación se redujo de 72 a 15% y el vigor de semilla de 98 a 89%, mientras en semillas de maíz tratadas a 65 ° C durante 17 horas, la germinación se redujo de 86 a 0% y el vigor de la semilla también, de 98 a 1% (López, 1994).

En este trabajo se pudo observar que las semillas de la variedad criolla fueron aparentemente menos vigorosas que la de las dos variedades comerciales, al producir raíces más cortas y menos pesadas que la de las dos variedades. Esto pudo deberse a que la semilla utilizada de la variedad criolla no está mejorada genéticamente, mientras que la semilla de las variedades comerciales pertenecen al sistema formal de mejoramiento genético destinado a la producción de semillas certificadas. Lo que sí está claro, es que la inmersión en agua a 92 ° C durante cortos periodos de tiempo permitió discriminar al menos entre semilla certificada y semilla no certificada, debido a que la altura de la plántula y el número de hojas/plántula sólo fueron afectados por los tiempos de inmersión en agua caliente para la variedad criolla, mientras que el peso seco de la plántula fue afectado por el agua caliente en las variedades V-45 y criolla, siendo mayor la disminución en la variedad criolla.

La germinación se redujo a 2% en la variedad criolla a 8 segundos en comparación con las dos variedades comerciales (43.15 y 45.25% para V-39 y V-45, respectivamente a 6 segundos). Resultados similares se reportaron en un experimento donde se evaluó el uso de agua caliente en sorgo (*Sorghun bicolor* (L) Moench), colocándose las semillas en bolsas de tela y sumergiéndolas en agua a 65, 70 y 80 ° C durante 2 a 30 minutos y de 90 a 100 ° C durante 5 a 45 segundos. Se encontró que tratamientos de temperaturas por debajo de los 100 ° C no mostraron diferencias entre lotes vigorosos y no vigorosos, pero usando un

tratamiento de agua caliente de 20 segundos a 100 °C, se observó una diferenciación distintiva de las semillas entre lotes vigorosos y no vigorosos (Barrios, 1990).

Se observó que la inmersión en agua a 92 °C podría ser utilizada como una técnica para deteriorar las semillas de maíz y discriminar entre lotes vigorosos y no vigorosos. Se ha propuesto el uso del tratamiento de agua caliente como un medio para deteriorar rápidamente las semillas de algodón, más allá de 50 °C y más uniforme que por la técnica de envejecimiento acelerado, además de ser un medio efectivo y confiable para determinar la viabilidad y el vigor de la semilla de algodón (Bourland y Welch, 1995).

Se han reportado experimentos donde el tratamiento con agua caliente puede predecir la emergencia en campo. En un estudio se sometieron dos lotes de semillas cada uno de dos cultivares de soya a la evaluación del vigor usando germinación estándar, emergencia en campo, ladrillo-grava, papel absorbente, envejecimiento acelerado y agua caliente; de éstas, las pruebas de envejecimiento acelerado, tratamiento con agua caliente y papel absorbente dieron valores muy cercanos a la emergencia en campo (Jha *et al.*, 1996).

El uso de agua a 92 °C podría utilizarse en maíz para diferenciar lotes de semillas en cuanto a su calidad, esta técnica podría extrapolarse a otras semillas de cereales y otros cultivos previa experimentación, aunque su uso estaría restringido a especies que no posean latencia, la cual podría ser superada con el tratamiento de agua caliente. Por ejemplo, se sometieron, previo a la siembra, semillas de *Rauvolfia serpentina* Benth a nueve tratamientos y se encontró que el tratamiento con agua (80 °C durante 5 minutos) produjo el número más alto de plántulas normales (26.66), porcentaje de germinación (53.33%) e índice de vigor de las semillas (428.77), así como las plántulas más altas (8.04 cm) (Bhuyar *et al.*, 2000). Por otra parte, se sometieron semillas de *Andrographis paniculata* a diferentes tratamientos: inmersión en thiourea, KCl, KNO₃, KH₂PO₄, ácido indolacético y ácido giberélico, durante tres horas, inmersión en ácido sulfúrico comercial durante tres minutos, inmersión en agua caliente (50 °C) durante cinco minutos, inmersión en agua durante 12 horas, lixiviados durante 12 horas, escarificación con arena

durante cinco minutos y un control, se encontró que el tratamiento con agua caliente registró la germinación más alta (84%) comparado con solamente 62% en el control, la mayor longitud del vástago (4.13 cm), el más alto contenido de materia seca (18.7 mg/10 plántulas) e índice de vigor (540) y no se produjeron plantas anormales (Saraswathy *et al.*, 2003; Saraswathy *et al.*, 2004).

Las reducciones en el porcentaje de germinación para los tiempos de inmersión en agua a 100 °C de 2, 4, 6 y 8 segundos fueron 36.72, 53.16, 53.31 y 37.21% (V-39); 32.27, 48.89, 52.85 y 44.92% (V-45) y 25.85, 50.07, 72.63 y 93.54% (variedad criolla), respectivamente, es decir, las semillas de la variedad criolla fueron más susceptibles al tratamiento calórico en los tiempos más prolongados (6 y 8 segundos), siendo las disminuciones muy similares entre las tres variedades a 4 segundos, mientras que la variedad criolla tuvo la menor reducción a 2 segundos, estos resultados confirman que las semillas de la variedad criolla fueron de menor calidad que las de V-39 y V-45. Esta aseveración se basa en que ninguno de los tres cultivares ha sido mejorado desde el punto de vista genético para la tolerancia de sus semillas a altas temperaturas. La menor disminución del porcentaje de germinación en la variedad criolla a los 2 segundos puede deberse a que este cultivar presentó el menor porcentaje de germinación en el testigo (33.38%), mientras que V-39 y V-45 tuvieron porcentajes de 92.41 y 85.97%, respectivamente en el testigo, ofreciendo una mayor probabilidad de obtener mayores reducciones con los periodos de inmersión en agua caliente. Por otra parte, con respecto a la mayor disminución en el porcentaje de germinación de las semillas de la variedad criolla con respecto a las otras dos variedades de maíz a 6 y 8 segundos, se ha indicado que la inmersión de semillas de *Acacia melanoxylon* en agua hirviendo (100 °C) durante tres minutos es usualmente efectiva pero puede ser muy dañina si el lote de semillas es de pobre calidad, es decir, más bajo que la viabilidad promedio (Doran *et al.*, 2006).

El efecto directo del agua caliente sobre la semilla es la muerte del embrión. Por ejemplo, las semillas de *Ceanothus sanguineus* pueden ser escarificadas mediante agua caliente a temperaturas de 80 a 90 °C, las semillas son añadidas al agua hirviendo durante sólo 5 a 19 segundos e inmediatamente transferidas a una

tina de agua fría para evitar la muerte del embrión (Toenyan, 2006). Al estudiar el efecto de pre-tratamientos sobre la germinación de semillas de *Alstonia scholaris*, se encontró que entre los tratamientos húmedos, la inmersión continua en agua a 50 °C durante 30 minutos tuvo un mejor efecto sobre la germinación y vigor que la inmersión en agua caliente a 80 °C, esta temperatura mató las semillas completamente. La ebullición usualmente promueve la germinación hasta un punto crítico más allá del cual hay una disminución en el porcentaje de germinación final, la inmersión en agua dentro del rango de 60 - 90 °C es a menudo tan efectiva como la inmersión a 92 °C, pero hay menos probabilidad de daño a las temperaturas más bajas (Kundu *et al.*, 1997).

La selección del tratamiento de inmersión en agua hirviendo (92 °C) para evaluar la calidad de semillas de maíz es apropiada debido a que temperaturas menores, deben ser monitoreadas con termómetros y mientras más alta la temperatura mayor es el daño que causa en un menor tiempo, la utilización de estos brevísimos periodos de tiempo son más fáciles de mantener de manera uniforme a la temperatura de ebullición que a temperaturas menores (60 a 90 °C). Por ejemplo, se ha encontrado una respuesta en las especies de *Acacia* en relación al tiempo de exposición al agua caliente, *A. acuminata* y *A. pycnantha* soportaron 100 °C durante un máximo de cinco segundos¹⁹ y *A. terminalis* durante un máximo de 20 segundos (Doran *et al.*, 2006), pero en la mayoría de las acacias, la inmersión en agua hirviendo por más de 20 segundos es dañina (Doran *et al.*, 2006), como se ha dicho anteriormente, la inmersión de semillas de *A. melanoxyton* en agua a 100 °C por más de tres minutos puede ser muy perjudicial, si el lote de semillas es de pobre calidad, es decir, permitiría la discriminación de lotes de semilla de diferentes calidades.

VII. CONCLUSIONES

El tiempo de inmersión en agua a 92 °C que causó mayor daño y reducción de la germinación en las semillas de maíz fue de 8 segundos.

En general, las variables evaluadas presentaron una disminución a medida que aumentaban los tiempos de inmersión en agua a 92 °C, aunque fue leve el efecto causado sobre las variables longitud de plántulas, número de hojas por plántulas y peso seco de la raíz de las variedades V-39 y V-45.

La inmersión en agua caliente durante breves periodos de tiempo (6 a 8 segundos) permitió diferenciar entre las variedades para medir la calidad de la semilla.

La mayor longitud de la raíz y el mayor peso seco de raíz correspondieron a las variedades V-39 y V-45, superando a las semillas de la variedad criolla.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Agama, A. E., M. A. Ottenhof, I. A. Farhat, O. Paredes-López, J. Ortiz-Cereceres, L. A. Bello. 2005. Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. Agrociencia 39: 419-429.
- Agrawal, R. L. 1986. Seed Technology. Fourth Printing. Oxford & Publishing CO. New Delhi, India. 685 p.
- Akinola, J. O., A. Larbi, G. O. Farinu and A. A. Odunsi. 2000. Seed treatment methods and duration effects on germination of wild sunflower. *Experimental Agriculture* 36 (1). pp: 63-69.
- Andrade, H. J. 1997. Mejoramiento del vigor en semillas de maíz y su relación con la emergencia y el rendimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 110 p.
- Arellano, V. J. L. 2006. Innovaciones Tecnológicas 2005: Para mejorar la competitividad y sostenibilidad de las cadenas agroalimentarias y agroindustriales. Folleto Técnico No. 4. INIFAP, SAGARPA. pp: 31-34.
- Barrios, G. S. 1990. Evaluación directa de métodos para determinar el vigor en semillas de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 97 p.
- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. En: Basra, A. S. (ed.) Food products Press. Preface. New York, USA.
- Basu, R. N, 1995. Seed viability. *In*: Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. En: A. S. Basra (ed.). Food products Press. New York, USA. pp 1-44.

- Bourland, F. M., G. Kaiser and E. R. Cabrera. 1988. Rapid deterioration of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seed using hot water. *Seed Science & Technology* 16: 673-683.
- Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9:1055-1066.
- Bhuyar, S.A., Wankhade, S.G., Paturde, J.T. y Khode, P.P. 2000. Seed germination studies in sarpagandha (*Rauvolfia serpentine* Benth.). *Research on Crops* 1(2): 189-191.
- Bourland, F. M., G. Kaiser and E. R. Cabrera. 1988. Rapid deterioration of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seed using hot water. *Seed Science & Technology* 16: 673-683.
- Bourland, F.M. y Welch, R.A. 1995. Deterioration of cottonseed with hot water. Proceedings, Beltwide Cotton Production Research Conference. National Cotton Council, Memphis, Tennessee, USA. (abstract).
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 1995. Principles of Seed Science and Technology. Third edition. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Cruz, G. F. 1996. El metabolism del AND y el vigor de semillas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 79 p.
- Doran, J. C., D. J. Boland, J. W. Turnbull y B. V. Gunn. 2006. Manual sobre las semillas de acacias de zonas secas. Boletín publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 109 p.
- Espinosa, G. B. M. 2003. Antocianinas en maíces de grano pigmentado y medición de su actividad antioxidante. Tesis Profesional. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 69 p.
- Guemes, V. N., A. D. Hernández, M. I. Reyes, E. N. Aquino, M. E. Espíndola, G. Dávila y S. Mercado. 2002. Caracterización física, química y estructural de 3 variedades de elotes de color de la región del Valle de Tulancingo, Hidalgo.

Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México.

Hernández, L. A. y A. Carballo C. 1997. Pruebas de germinación y vigor en semillas de maíz de diferentes áreas de adaptación. *Agrociencia* 31 (4): 397-403.

Hernández, G. J. A., A. Carballo C., A. Hernández L., F. V. González C. 2000. Ponderación de variedades de calidad fisiológica para la medición del vigor en semillas de maíz. *Rev. Fitotec. Méx.* 23 (2): 239-250.

International Seed Testing Association (ISTA). 2005. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* 21. Supplement. Zurich, Suiza. 288 p.

International Seed Testing Association (ISTA). 1995. Handbook of vigor test methods. 2a. edition. Zurich, Suiza. 117 p.

Jha, B.N., Banerjee, S.K. y Sinha, S.K. 1996. Comparative efficacy of different vigour tests. *Seed Research* 14 (2): 216-221.

Kundu, M., Sharma, P., Kachari, J. y Sett, R. 1997. Effect of pretreatment on germination and seedling vigour in *Alstonia scholaris*. *Seed Research* 25 (1): 16-18.

López, S. H. 1994. Deterioro de la calidad fisiológica de diferentes semillas agrícolas en función del ambiente de almacenamiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México. 111 p.

Manuel, R. I., A. Muñoz, B. Ramírez V., J. H. Hernández S. y M. Bellon. 2007. Calidad física y fisiológica de semilla de maíz criollo almacenada en silo metálico y con métodos tradicionales en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 69-78.

Martínez, S. J. 1996. Calidad fisiológica en semillas de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la oportunidad de cosecha y tipo de secado. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. de México. 103 p.

- Martínez, A. L. E. 1999. Efecto de la temperatura y del contenido de agua del suelo en la germinación y crecimiento inicial en dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) con diferentes contenidos de humedad inicial en las semillas. Tesis de Maestría en Ciencias en Agricultura Tropical. Especialidad Producción Vegetal. Postgrado en Agricultura Tropical. Universidad de Oriente, Departamento de Monagas. Venezuela. 86 p.
- Méndez, N. J. R., P. F. T. Ibarra y P. J. F. Merazo. 2002. Germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas I. Cloruro de sodio. VI Festival del Maíz. VI Jornada Científica Nacional del Maíz. Del 20 al 23 de noviembre del 2002. Maracay, Venezuela.
<http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/jornadas%20de%20maiz/6%20jornadas/carteles/tecnosemilla/jmarquezsodio.htm> (Fecha de consulta: 22 de enero de 2011).
- Méndez, N. J., L. Ysavit M. y J. Merazo. 2007. Uso de agua caliente para evaluar la calidad de semillas de maíz (*Zea mays* L.). Revista Tecnológica 20 (1): 229-236.
- Menezes, N. L. y T. L. D. Da Silveira. 1995. Métodos para valorar la calidad fisiológica de semillas de arroz. Science Agricultural. 52 (2): 350-359.
- Miguel, A. M., J. L. Arellano, G. García, S. Miranda, A. Mejía y F. González. 2004. Variedades criollas de maíz azul para raza chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. Revista Fitotecnia. Mexicana. 27: 9-15.
- Pérez, M. C., A. Hernández L., F. Valerio G. C., G. García S. A. Carballo C., T. Vásquez R. y M. R. Tovar G. 2006. Tamaño de semilla y relación de su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. Agricultura Técnica de México 32 (3): 341-352.

- Pérez de la Cerda, F. J., A. Carballo C., A Santacruz V., A. Hernández L. y J. C. Molina M. 2007. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica de México*. 33:53-61.
- Salas, S. G. 2003. Caracterización de extractos de antocianinas obtenidos del grano de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Profesional. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.
- Sandoval, Z. H. 1995. Agotamiento de sustancias de reservas: una prueba para medir el vigor de la semilla. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 134 p.
- Santiago, R. A. 2005. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 56 p.
- Saraswathy, S., Manavalan, R.S.A., Vadivel, E., Manian, K. y Subramanian, S. 2003. Enhancement of seed germination by hot water in kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees.). *Indian Journal of Arecanut, Spices and Medicinal Plants* 5 (3): 103-106. (Abstract). <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx>. (Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2010).
- Saraswathy, S., Manavalan, R.S.A., Vadivel, E., Manian, K. y Subramanian, S. 2004. Studies on seed germination in kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees.). *South Indian Horticulture* 52 (6): 286-290. (Abstract). <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx>. (Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2010).
- Statistical Analysis System (SAS) User's guide. 1999. Versión 8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Tadeo, R. M. y A. Espinosa C. 2004. Producción y tecnología de semillas. Ingeniería Agrícola. División de Ciencias Agropecuarias. Facultad de

- Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. 60 p.
- Tadeo, R. M., A. Espinosa C. y R. Martínez, M. 2005. Procedimientos técnicos para producción de semilla de híbridos y variedades de maíz en México. Departamento de Ciencias Agrícolas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. 120 p.
- Tenente, R. C., V. Gonzaga, F. P. Pinheiro, P. Tarchetti and V. Rodrigues. 1999. Techniques to eradicate plant parasitic nematodes from infested maize, oat and rice seeds. *Nematropica* 29 (1): 17-24.
- Toenyan, N. 2006. Plant Data Sheet. Species: *Ceanothus sanguineus*. UW Departments Web Server University of Washington. http://depts.washington.edu/propplnt/Plants/ceanothus_sanguineus.htm (Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2010).
- Tofiño, A., M. Fregene, H. Ceballos y D. Cabal. 2006. Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres: perspectivas de modificación. *Acta Agronómica* 55 (1): 1-17.
- Vieira, R. D., S. R. Bittencourt and M. Panobianco. 2003. Seed vigor an important component of seed quality in Brasil. *ISTA News Bulletin*. No. 126. Zurich. pp: 21-24.
- Virgen, V. J. 1983. Evaluación del vigor en maíz (*Zea mays* L.) en base a características de semillas y plántulas. Tesis Profesional. Ingeniero Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. 90 p.
- Zar, J. H. 1996. *Biostatistical analysis*. Third edition. Prentice-Hall international. London, United Kingdom. 661 p.