



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

**OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y DE LA
CALIDAD FISIOLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE
SEMILLA HÍBRIDA DE MAÍZ**

ABEL SANTILLAN ANGELES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2016

La presente tesis, titulada: **Optimización del rendimiento y de la calidad fisiológica en la producción de semilla híbrida de maíz**, realizada por el alumno: Abel Santillán Ángeles, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



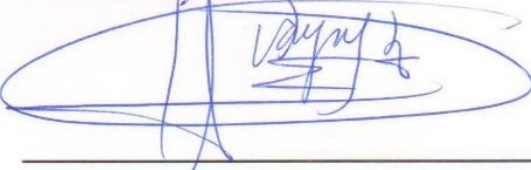
Dr. AQUILES CARBALLO CARBALLO

ASESOR:



Dr. ARTURO GALVIS SPINOLA

ASESOR:



Dr. MATEO VARGAS HERNANDEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, mayo de 2016

“La ciencia es una escuela de modestia, de valor intelectual y de tolerancia: muestra que el pensamiento es un proceso, que no hay gran hombre que no se haya equivocado, que no hay dogma que no se haya desmoronado ante el embate de los nuevos hechos”

Ernesto Sabato.

“La interpretación de los hechos de una manera determinada, estimula los pensamientos de otros científicos”

Robert Barany.

“La ciencia es más que un simple conjunto de conocimientos: es una manera de pensar”

Carl Sagan.

Agradecimientos

Este trabajo de tesis corresponde a los estudios realizados con él apoyó económico generado mediante el esfuerzo diario de la sociedad mexicana, y que con la administración del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ha sido posible concluir.

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo por su función como consejero en el presente trabajo de tesis y por las valiosas enseñanzas en el campo del mejoramiento y la producción de semillas.

Al Dr. Arturo Galvis Spinola por su acertada asesoría y enriquecimiento al presente trabajo, así como por la forma de compartir sus conocimientos en el campo del manejo de la fertilidad del suelo.

Al Dr. Mateo Vargas Hernández por su puntual asesoría y aporte al presente trabajo, así como por infundir la paciente forma de ver los aspectos estadísticos que a simple vista no se ven.

Al Dr. José Apolinar Mejía Contreras por compartir su punto de vista en la interpretación de los detalles observados durante la realización del presente trabajo.

A esas personas que desinteresadamente colaboraron de manera minuciosa en los trabajos de experimentación y que con su amistad y palabras de ánimo, propiciaron hacer amena la realización de este trabajo: M.C. Felipe Ávila Martínez, Ing. Jorge Pérez Carcamo, Pasante de Ing. Omar Morales Linares, Ing. Cesar Omar Montoya García, Ing. Ignacio Marcial Carmona Peraza.

Al M.C. Erik Acuayte Valdez por compartir sus ideas y consejos que fortalecieron en más mi formación científica y profesional.

Finalmente, a la Dra. María Elena Ramírez por toda la paciencia mostrada en la revisión de este trabajo, para que con ello se consiguiera mejorar la presentación.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS -----	vii
ÍNDICE DE FIGURAS -----	viii
RESUMEN -----	ix
SUMMARY -----	x
I. INTRODUCCIÓN -----	1
1.1 Objetivos-----	2
1.2 Hipótesis-----	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA -----	3
2.1 Uso actual del maíz mejorado-----	3
2.2 Generalidades del Híbrido Trilineal HS-2-----	4
2.3 Factores que inciden en el desarrollo y la producción en maíz-----	5
2.3.1 Densidad de población-----	6
2.3.2 Fertilización-----	8
Nitrógeno-----	10
Funciones en la planta-----	10
Requerimientos para maíz-----	11
Origen y disponibilidad-----	11
Pérdidas de nitrógeno en el suelo-----	12
Fósforo-----	13
Funciones en la planta-----	13
Requerimientos para maíz-----	14
Origen y disponibilidad-----	14
Pérdidas de fósforo en el suelo-----	15
Potasio-----	15
Funciones en la planta-----	15
Requerimientos para maíz-----	16
Origen y disponibilidad-----	16
Pérdidas de potasio en el suelo-----	17
2.4 Calidad de semilla-----	18
2.4.1 Calidad genética-----	19
2.4.2 Calidad física-----	19
2.4.3 Calidad fisiológica-----	19
Viabilidad-----	20
Germinación-----	21
Prueba de germinación estándar-----	22
Vigor de semilla-----	23
Determinación del vigor-----	24
Deterioro en la calidad fisiológica-----	26
2.4.4 Calidad sanitaria-----	29

III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 Localización de los sitios experimentales	30
3.2 Material vegetal	30
3.3 Experimentos realizados	30
3.3.1 Evaluación del rendimiento y variables agronómicas en la producción de semilla del híbrido HS-2	30
Niveles de densidad de población	31
Niveles de fertilización	31
Diseño experimental	31
Variables evaluadas	31
3.3.2 Determinación de la calidad fisiológica de la semilla	33
3.3.2.1 Evaluación del vigor de la semilla a diferentes profundidades de siembra	33
Niveles de profundidad de siembra	34
Diseño experimental	34
Variables evaluadas	34
3.3.2.2 Evaluación del vigor de la semilla en medio salino	35
Nivel de salinidad	36
Diseño experimental	37
Variable evaluada	37
3.4 Análisis estadístico	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1 Evaluación de variables medidas en campo	39
4.1.1 Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento y variables agronómicas	39
4.1.2 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y variables agronómicas	42
4.2 Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla	44
4.2.1 Efecto de la profundidad de siembra sobre el vigor de la semilla	44
Densidad de población y su efecto en el vigor	45
Fertilización nitrogenada y su efecto en el vigor	46
Profundidad de siembra y expresión del vigor	48
Efecto de densidad de población y profundidad de siembra en el vigor	50
4.2.2 Efecto del medio salino sobre el vigor de la semilla	52
Densidad de Población y su efecto en el vigor	53
V. DISCUSION GENERAL	55
VI. CONCLUSIONES	59
VII. BIBLIOGRAFÍA	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1.	Calificación del nivel de protrusión observado en las semillas sometidas a medio salino.	36
2.	Cuadrados medios y valor de probabilidad para el experimento de evaluación del rendimiento de semilla híbrida.	39
3.	Comparación de medias para el factor Densidad de Población y su efecto sobre la evaluación de la producción del progenitor hembra.	40
4.	Comparación de medias para el factor Fertilización Nitrogenada y su efecto sobre la evaluación de la producción del progenitor hembra.	43
5.	Cuadrados medios y valor de probabilidad en las variables de vigor evaluadas.	44
6.	Comparación de medias para el factor Densidad de Población y su efecto en el vigor de la semilla.	45
7.	Comparación de medias para el factor Fertilización Nitrogenada y su efecto en el vigor de la semilla.	46
8.	Comparación de medias en cuatro parámetros que evalúan el vigor de la semilla.	48
9.	Cuadrados medios y valor de probabilidad en la evaluación del vigor de la semilla en medio salino.	53
10.	Comparación de medias para el factor Densidad de Población y su efecto en el vigor de la semilla.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.	Clasificación del nivel de protrusión observado en la evaluación del vigor de semilla en medio salino.....	36
2.	Velocidad de emergencia (VE) en semilla del híbrido trilineal HS-2 obtenida en cuatro densidades de población.	51

OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO Y DE LA CALIDAD FISIOLÓGICA EN LA PRODUCCION DE SEMILLA HÍBRIDA DE MAÍZ

Abel Santillán Ángeles, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

El maíz a nivel mundial se ha convertido a través de los años en uno de los cultivos más importantes para la humanidad; ante tal situación se requiere entre otros factores, de la utilización de semilla de óptima calidad, de un manejo adecuado de la fertilidad del suelo y de la determinación de una densidad de población óptima para ofrecer la perspectiva de un considerable y rápido aumento en su producción. El problema más importante en México, es que no existe una tecnología propia para la producción de semilla de calidad y si existe resulta de uso no accesible. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la mejor tecnología para optimizar el rendimiento de semilla de alta calidad del híbrido de maíz HS-2, así como diferenciar la calidad en respuesta a dicha tecnología. La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, en dos etapas: la primera consistió en evaluar el efecto de cuatro niveles de densidad de población (40, 50, 60 y 70 mil plantas ha⁻¹) y fertilización nitrogenada (70, 140, 210 y 280 kg ha⁻¹) en el progenitor hembra sobre el rendimiento de semilla; mientras que en la segunda etapa se diferenció la calidad fisiológica mediante la determinación del vigor a diferente profundidad de siembra y la cuantificación de la germinación a través de una prueba en medio salino. Los resultados permitieron llegar a las siguientes conclusiones: el uso de 70,000 plantas ha⁻¹ y 70 kg ha⁻¹ de nitrógeno evidenciaron rendimientos máximos de semilla en el híbrido con 8.7 t ha⁻¹ y 8.1 t ha⁻¹ respectivamente; ninguno de los cuatro niveles de densidad de población y de fertilización nitrogenada influyeron en la calidad fisiológica de la semilla; sin embargo, en la evaluación del vigor, utilizando 70,000 plantas ha⁻¹ se obtuvo el mayor índice de vigor.

Palabras clave: Híbrido HS-2, densidad de población, fertilización nitrogenada, vigor, *Zea mays* L.

OPTIMIZING YIELD AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF PRODUCTION HYBRID CORN SEED

Abel Santillán Ángeles, M.C.
COLEGIO DE POSTGRADUADOS, 2016

SUMMARY

Corn a global level has become one through the years one of the most important crops for the humanity; in such a situation requires, among other factors, the use of seed of the highest quality, proper management of soil fertility and determining an optimum population density to offer the prospect of a significant and rapid increase in its production. The most important problem in México is that there is a proprietary technology for the production of quality seed and it is not accessible to use. This study aimed to determine the best technology to optimize the performance of high quality seed corn hybrid HS-2 and differentiate the quality in response to such technology. The research was conducted at the Graduate College, Campus Montecillo, in two stages: the first was to evaluate the effect of four levels of population density (40, 50, 60 and 70 thousand plants ha⁻¹) and nitrogen fertilization (70, 140, 210 and 280 kg ha⁻¹) in the female parent on seed yield; while in the second stage the physiological quality by determining the vigour at different planting depth and quantification of germination through a saline test. The results allowed to reach the following: conclusions: the use of 70,000 plants ha⁻¹ and 70 kg ha⁻¹ of nitrogen showed maximum seed yield in hybrid with 8.7 t ha⁻¹ and 8.1 t ha⁻¹, respectively; none of the four levels of population density and nitrogen fertilization influenced the physiological seed quality; however, in the evaluation of vigour, using 70,000 plants ha⁻¹ the highest rate of vigour was obtained.

Keywords: Hybrid HS-2, population density, nitrogen fertilization, vigour, *Zea mays* L.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz se ha convertido tanto en México como en buena parte del mundo, en sustento permanente de múltiples grupos de campesinos, es el alimento barato de millones de trabajadores asalariados urbanos y es materia prima estratégica de la ganadería mundial y la industria de alimentos (Trueba, 2012). Sin embargo, en México se tiene un déficit de 8 millones de toneladas como consecuencia de los bajos rendimientos en la producción; además, no hay una tecnología propia para la producción de semillas de maíz de calidad (La Jornada, 2012; Andrade, 1992).

El nivel actual de vida de la población podría elevarse mediante la implementación de paquetes tecnológicos que involucren el uso de semilla de calidad en las mismas zonas de producción. Feistritzer (1979) menciona que la explotación de variedades mejoradas mediante la producción y utilización de semillas de óptima calidad, ofrece la perspectiva de un considerable y rápido aumento de la producción agrícola. Reyes (1990) señala que la fertilidad inducida sobre la fertilidad natural de un suelo para la producción de maíz, resulta importante en la obtención de un máximo en rendimiento; y que la densidad de siembra varía en función de la fertilidad del suelo, de las características del genotipo y del objetivo del cultivo para definir su producción.

En México se han desarrollado algunas investigaciones sobre densidad de siembra y fertilización en la producción de semilla de calidad. Caro (1987) realizó un análisis multivariado con cuatro distintos niveles de fertilización nitrogenada y densidad de población, encontrando que existe efecto positivo de estos dos factores en producción de semilla de calidad en maíz. Hernández (1985) mostró que el rendimiento de semilla de girasol presentó una respuesta positiva a la fertilización con nitrógeno y a la densidad de plantación. De manera específica, Tadeo et al. (2007) obtuvieron 4.8 toneladas de maíz de grano ha⁻¹ sin llevar a cabo un programa de fertilización y 5.68 toneladas ha⁻¹ al regar con aguas “negras” con alto contenido de nutrimentos y materia orgánica. Cervantes et al. (2013) observaron en maíz rendimientos estadísticamente más altos con densidades de 75 y 90 mil plantas ha⁻¹ que con una densidad de 60 mil plantas. Por su parte Artola (1983), considera

necesario generar fórmulas de producción específicas en las que se conjunten productividad y calidad de semilla.

Por lo anterior, en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis.

1.1 Objetivos

Objetivo general

- Generar conocimiento que permita desarrollar tecnología para obtener el máximo rendimiento de semilla de alta calidad fisiológica en híbridos de maíz.

Objetivos específicos

- Determinar el nivel de densidad de población de plantas y de fertilización nitrogenada que optimizan el rendimiento de semilla de alta calidad fisiológica del híbrido trilineal HS-2.
- Proponer una técnica rápida y factible de estandarizarse para determinar el vigor en lotes de semilla de maíz.

1.2 Hipótesis

- Niveles bajos de densidad de población ($40,000 - 50,000$ plantas ha^{-1}) y dosis medias de fertilización nitrogenada ($140-160$ kg ha^{-1}) al suelo, favorecen el rendimiento de semilla de buena calidad fisiológica del híbrido trilineal HS-2.
- Mediante el uso de Cloruro de Sodio en el medio de cultivo, se puede determinar y diferenciar el vigor en lotes de semilla maíz.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

En México, centro de origen del maíz, existen diversos complejos genéticos para rendimiento y otras características agronómicas, que han servido de base a los programas de mejoramiento genético de esta especie. Se ha utilizado en mayor medida al rendimiento de grano como criterio principal para la evaluación y selección; bajo este enfoque, se han desarrollado un gran número de híbridos que sin duda han sido importantes para el aumento de la productividad en maíz; sin embargo, en lo general no se ha dado importancia a la calidad de las semillas (Trueba, 2012; Reyes, 1990; Meza, 1988).

2.1 Uso actual del maíz mejorado

Reyes (citado por Valdés, 2006) menciona que los cereales se han cultivado en varias partes del mundo desde hace miles de años y han sido fundamentales para el desarrollo de diferentes civilizaciones ya que en diversas regiones crecieron y se domesticaron especies como arroz y soya en Asia, trigo y chícharo en Europa, sorgo y mijo en África; que son base de la alimentación mundial.

Para México, Trueba (2012) menciona que es imposible desvincular al maíz de la vida diaria; es historia, tradición y cultura, y es el cultivo que cubre la mayor parte de la superficie sembrada, así como el principal abastecedor de alimento básico al ser la dieta esencial de la mayoría de los mexicanos. Por su parte Delgado (2003) señala que en México, el maíz consumido directamente suministra más de la mitad de las calorías y una tercera parte de las proteínas a la población, sobre todo en las zonas rurales. Durante el 2005 el consumo *per cápita* de maíz en México fue de 330.12 g día⁻¹, lo que significa un aporte diario de 102.9 cal, 26.3 g de proteína y 11.3 g de grasa vegetal (FAO, 2007).

Al representar el maíz al cultivo alimenticio más importante en México, los agricultores que siembran variedades locales o criollos de forma tradicional contribuyen a la conservación y a la generación de su diversidad genética *in situ* (Bommer, 1991). De esta manera los productos tradicionales contribuyen al

mantenimiento de las variedades locales al reproducirlas seleccionando deliberadamente las mejores semillas y aprovechando las diferentes variaciones ocurridas de manera natural (Hernández, 1972; Dobzhansky, 1982). Al respecto Trueba (2012) señala que las principales razones de los productores para la selección de semilla criolla, es la gran adaptación de la misma a sus condiciones de producción y a la calidad del grano; indica asimismo que cuando el productor busca fundamentalmente mejorar el rendimiento y la calidad del grano o forraje, se inclina por el uso de semilla mejorada.

Así, al hablar de mejoramiento, Trueba (2012) menciona que obtener y desarrollar una nueva variedad de maíz, implica una gran inversión económica y por lo menos 12 años de dedicación constante de personal altamente calificado, para elegir el mejor germoplasma. Sin embargo, para la derivación y selección de líneas, formación de híbridos, y/o variedades, evaluación y selección de mejores materiales, validación comercial, incremento de progenitores, producción de semilla y distribución comercial; frecuentemente se tienen resultados después de 20 años o más.

2.2 Generalidades del Híbrido Trilineal HS-2

El HS-2 es un híbrido trilineal, desarrollado en el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética (AMCCG) de la orientación académica en Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados.

Las principales características agronómicas que presenta este híbrido, son su alto potencial productivo para grano y forraje, así como la resistencia al acame. De acuerdo a evaluaciones comerciales de lotes ubicados en los Estados de México (Montecillo y Tecamac), Hidalgo (Acaxochitlan y Pachuca), Puebla (Libres y Quecholac) y Tlaxcala (San Miguel del Milagro, Ixtenco y Tetla) en promedio ha tenido un rendimiento de 12 toneladas ha^{-1} de grano; sin embargo su potencial es de 15 toneladas ha^{-1} bajo condiciones óptimas de manejo. La producción de forraje verde es de 90 toneladas ha^{-1} (30 toneladas ha^{-1} de materia seca, conteniendo 1.9

toneladas ha⁻¹ de proteína). Las zonas de adaptación son los Valles Altos donde la altura sobre el nivel del mar sea entre 2,100 y 2,400 m.

Los caracteres agronómicos distintivos del HS-2 son: 270 cm de altura de planta; mazorca de 18 cm de longitud, 6.5 cm de diámetro y 16 hileras, color de grano blanco, 90 a 95 días a floración media masculina, 165 días a madurez fisiológica, 180 días a madurez a cosecha.

En cuanto a su descripción morfológica, destacan las siguientes características: planta alta, ángulo de inserción semierecto en las hojas debajo y por arriba de la mazorca superior, hoja ausente de arrugas color verde oscuro y ancho en lámina media. La mazorca se caracteriza por presentar una longitud media, diámetro grande, forma cónica cilíndrica, hileras de grano rectas y con grano color blanco cremoso tipo semidentado.

2.3 Factores que inciden en el desarrollo y la producción en maíz

Rodríguez y de León (2008) mencionan que entender claramente todos los factores que intervienen en el crecimiento y desarrollo de una planta de maíz y que se relacionan directamente con los componentes del sistema, mismos que interactúan entre sí: planta, clima, suelo y manejo, permiten proporcionar un ambiente nutrimental idóneo.

Para Rodríguez y de León (2008) la planta de maíz posee un conjunto de genes que determinan su potencial de producción. Este potencial sólo se expresa en condiciones ideales que no se encuentran en la naturaleza, por lo que a lo más que se puede aspirar es a un crecimiento y desarrollo (y rendimiento) que dependen del nivel de restricción que tengan los factores asociados al suelo y al clima en el agrosistema.

Los principales factores del clima que influyen en el crecimiento de la planta son: la radiación solar, la concentración de CO₂, la temperatura, el periodo libre de heladas,

el viento, el granizo y la precipitación. Estos factores resultan incontrolables por el hombre en la agricultura extensiva y solo algunos lograrían ser modificados.

El suelo interacciona con los genes de la planta de maíz y restringe el potencial genético que esta posee para el desarrollo radical. Así suelos con piso de arado, poco profundos, escaso espacio poroso, o con ambientes químicos indeseables, restringirán el crecimiento de las raíces limitando la capacidad de exploración influyendo directamente en la capacidad de abastecimiento de agua y respectiva nutrición.

El ambiente que rodea a la semilla, desde la fecundación del ovulo hasta su madurez fisiológica, influyen en su nivel de vigor (Harrington, 1973).

Roberts y Ellis (1982) mencionan que bajo las condiciones en que se desarrolló la semilla y el ambiente en que se haga germinar, la expresión de su vigor está regulada por la constitución genética de la especie o variedad en cuestión. El genotipo de la semilla puede conferirle también cierto grado de habilidad para amortiguar efectos desfavorables del ambiente (Dickson, 1980).

McDaniel (1973) argumenta que durante el desarrollo de la semilla actúan factores ambientales tales como la nutrición de la planta madre, la disponibilidad de agua y presencia de enfermedades. La interacción entre la capacidad genética de la semilla y el ambiente en que ésta se desarrolla, es la que establece el nivel de vigor (Villaseñor, 1984).

2.3.1 Densidad de población

La fertilización y la densidad de población son consideradas, desde hace tiempo, como los factores más importantes para obtener mejores rendimientos en los cultivos; en el maíz, tales factores ejercen alta influencia sobre las características agronómicas y el rendimiento de grano. Aunque se han realizado varios estudios para determinar la densidad de población ideal, no se tienen una recomendación óptima para todas las condiciones ambientales.

La densidad de población es uno de los factores que más frecuentemente modifica el productor para incrementar el rendimiento de grano, pero no siempre establece la densidad adecuada; si usa una densidad de población mayor a la óptima, incrementa la competencia por luz, agua, y nutrientes; también ocasiona reducciones en el volumen radical, en el número de mazorcas, en la cantidad y calidad de grano por planta, e incrementa la frecuencia de pudriciones de raíz y tallo, propiciando acame de raíz y tallo, así como pudriciones de mazorca y eleva los costos de cosecha (Maya y Ramírez, 2002); por el contrario, densidades de población bajas provocan problemas con malezas o de desperdicio de suelo (Njoka *et al.*, 2005).

Los genotipos de maíz difieren en su respuesta a las densidades de población, en función de su capacidad de producir más de una mazorca, del sistema radical, de la resistencia a las condiciones del tallo y de la capacidad de absorción y aprovechamiento de los nutrimentos (Maya y Ramírez, 2002).

Cuando la densidad de población aumenta, la respuesta del rendimiento de grano se puede describir mediante una parábola, con el típico punto máximo óptimo y con una disminución gradual conforme incrementa la densidad de población, ello debido a que los fotoasimilados disponibles en la planta, son utilizados principalmente en el desarrollo vegetativo o en la respiración de mantenimiento, y en menor medida en el crecimiento de grano. La reducción del rendimiento se presenta porque disminuye el número de granos por unidad de área y por la disminución en el peso de los mismos (López, *et al.*, 2004)

La relación entre la producción y la densidad de población es compleja, ya que la mejor respuesta en rendimiento de grano varía de acuerdo a la condición del suelo, clima, genotipo y prácticas culturales (Sangoi, 2000). La disminución de la distancia entre surcos o el aumento de la densidad de plantas permiten aumentar el rendimiento de grano de maíz, ya que existe diferente respuesta de acuerdo a las características del genotipo utilizado (Widdicombe y Thelen, 2002).

En el desarrollo de las plantas se presentan relaciones secuenciales entre caracteres morfológicos y de componentes del rendimiento, que pueden indicar procesos fisiológicos determinantes del rendimiento (Vidal-Martínez *et al.*, 2001).

Los maíces con alto potencial productivo demandan un manejo eficiente de la población de plantas (Domínguez, 1997); además, aquellos desarrollados en años recientes toleran mayor número de plantas por unidad de superficie (Tollenaar, 1991).

Violic (2001) afirma que las producciones más altas generalmente se logran con rendimientos promedio por planta de 150 a 180 gramos. Este dato sugiere que si se pretende un rendimiento de 12 toneladas de grano por hectárea, la densidad recomendable de plantas deberá ser de entre 67 y 80 mil. Por el contrario, donde solo se esperen 8 toneladas, se sugieren 45 a 55 mil plantas. Para 15 toneladas, serían entre 85 y 100 mil plantas por hectárea.

Como el maíz sembrado a mano, a menudo se establece buscando más de una planta por mata, la disposición espacial a veces puede ser un problema, aun cuando sea apropiada la densidad. Los estudios indican que, cuando crecen en la misma mata más de dos plantas, el rendimiento de grano es afectado por la competencia de agua, nutrimentos y luz, mientras que cuando crecen cuatro o más plantas, por lo general de una a tres de ellas no producen mazorcas (Lafitte, 1993).

2.3.2 Fertilización

Bajo condiciones normales de crecimiento y desarrollo, se entiende por fertilidad del suelo, a la capacidad que este tiene para producir plantas sanas, robustas y productivas de grano y/o forraje; puede ser natural o inducida mediante el manejo apropiado y la aplicación de fertilizantes orgánicos o inorgánicos que conserven permanentemente la fertilidad del suelo (Reyes, 1990).

El uso de fertilizantes es frecuentemente el factor del manejo agronómico que más influye en el rendimiento de los cultivos. Capetillo (2008) menciona que a pesar de esto el rendimiento depende en mucho de la influencia de dos condiciones:

1. El control de factores limitantes: los fertilizantes usualmente presentan una mejor reacción cuando se usan como parte de un conjunto de prácticas para controlar los otros factores, además de la fertilidad del suelo, que limitan los rendimientos.
2. El uso del fertilizante: no se pueden esperar buenos resultados del fertilizante hasta que el agricultor sepa que tipo debe usar y en qué cantidad, así como cuando y como aplicarlo.

Para Salgado y Núñez (2010) en los incrementos del rendimiento, el uso de fertilizantes sirve para:

- a) Complementar los nutrimentos naturales del suelo para satisfacer la demanda de los cultivos con alto potencial de rendimiento.
- b) Complementar los nutrimentos perdidos por lixiviación o la remoción por la planta, y,
- c) Mantener buenas condiciones para el cultivo o mejorar condiciones desfavorables para el mismo.

En el mundo existen algunos experimentos de larga duración donde se ha evaluado la respuesta de los cultivos a la fertilización y en todos se ha obtenido aumentos considerables en el rendimiento (Salgado y Núñez, 2010); sin embargo, Stewart *et al.* (2005) mencionan que los datos que sugieren cifras de 30 a 50% de incrementos debido a la fertilización son reservados, ya que en algunos casos pueden ser mayores.

Los macronutrimentos forman el 99% de la dieta de las plantas. El nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) suman aproximadamente el 60% y son los tres mayores componentes de la fertilidad del suelo, ambos en términos de la cantidad requerida y la probabilidad de deficiencia (Capetillo, 2008).

Se ha considerado que de los 17 elementos esenciales, 3 pueden ser tomados por la planta del aire y del agua (C, H y O), los restantes 14 deben ser considerados nutrientes minerales y se relacionan con el uso de los fertilizantes. Nitrógeno, Fosforo y Potasio son los primarios de mayor relevancia, debido a que deben ser absorbidos en cantidades relativamente altas por la planta, por lo que se requiere su aplicación como fertilizante (National Plant Food Institute, 1988).

Si el objetivo es producción de semilla, el nivel de fertilidad del suelo es un factor importante a considerar, ya que éste proporciona los nutrimentos que la planta requiere para sus funciones. Al respecto, Curtis (1980) menciona que las líneas endogámicas tienen sistemas radicales más débiles y además son mucho más susceptibles a las variaciones del ambiente que los híbridos, por lo que se aplican niveles de fertilización relativamente más altos en los lotes semilleros; algunos resultados preliminares, tienden a favorecer el uso de niveles más bajos de fertilizante para la producción de semilla de las líneas endogámicas.

Nitrógeno

Funciones en la planta

Salgado y Núñez (2010) mencionan que una vez en el interior de las células, el nitrógeno pasa a constituir bases nitrogenadas para las distintas funciones fisiológicas, forma aminoácidos que entran en la síntesis de polipéptidos, hormonas, clorofila y proteínas del vegetal.

Por su parte Rodríguez y de León (2008) mencionan que además de las formas de NH_4^+ y NO_3^- , el nitrógeno puede ser absorbido como urea, amidas y aminoácidos; señalan que el nitrógeno presenta una gran movilidad al interior de la planta; del suelo a la planta se moviliza por flujo de masas y que sus formas metabólicas son NH_4^+ , NH_3 y NH_2OH^- .

Bidwell (1991) señala que un exceso de nitrógeno al interior de la planta es capaz de producir un tallo débil con un retraso en la madurez, y que es causa de una menor riqueza de azúcares en los frutos.

Requerimientos para maíz

Para el caso del maíz, el nitrógeno representa el 40% del total de los nutrientes que necesita la planta para realizar sus funciones y obtener un rendimiento adecuado de grano (The Potash & Phosphate Institute, 1988). Existe una serie de parámetros que indican el requerimiento de nitrógeno para un rendimiento específico; al respecto, Salgado y Núñez (2010) mencionan que la exportación de nitrógeno del suelo para alcanzar un rendimiento de 12 t ha⁻¹ es de 294 kg ha⁻¹, en tanto que Rodríguez y de León (2008) mencionan que para un rendimiento de 12 t ha⁻¹ será necesario 256 kg de nitrógeno ha⁻¹.

Origen y disponibilidad

Cerca del 80% del aire que respiramos es nitrógeno. Cada hectárea de superficie de suelo está cubierta de 37,000 t de nitrógeno, pero se encuentra como gas inerte; debe combinarse con otros elementos antes de que pueda ser utilizado por las plantas (The Potash & Phosphate Institute, 1988).

Por otro lado, solo el nitrógeno en las formas de amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻) en el suelo están disponibles a las plantas; sin embargo, el 98% del nitrógeno del suelo no está disponible para éstas, debido a que se encuentra en forma orgánica como parte del humus; siendo los microorganismos del suelo quienes gradualmente lo convierten en amonio y luego en nitrato. La mayoría de los suelos son bajos en humus por lo que no son capaces de proporcionar nitrógeno lo suficientemente rápido para la obtención de buenos rendimientos. Rodríguez *et al.* (2001) mencionan que por las razones expuestas es necesario el uso de fertilizantes nitrogenados para el cultivo de especies no-leguminosas.

De acuerdo con Rodríguez (1987) el nitrógeno presente en el suelo se encuentra principalmente en las tres siguientes formas:

1. Nitrógeno orgánico, el cual parte de la materia orgánica del suelo y no está disponible para las plantas en crecimiento.
2. Nitrógeno amoniacal, fijado en minerales arcillosos y disponible en forma latente para las plantas, y
3. Iones de amonio y nitrato o compuestos solubles, que constituyen el nitrógeno que utilizan las plantas.

Pérdidas de nitrógeno en el suelo

El nitrógeno disponible puede quedar inaprovechable cuando los residuos bajos en este elemento son enterrados en el suelo. Esto ocurre porque los microorganismos del suelo que descomponen los residuos, necesitan nitrógeno para formular las proteínas de su cuerpo. La mayoría de los residuos de cultivos como el maíz, trigo, cebada, centeno, caña de azúcar y los tallos del sorgo, proporcionan grandes cantidades de carbono que los microorganismos usan para obtener energía, pero no proporcionan suficiente nitrógeno para sus requerimientos proteicos. Los microorganismos compensan esta deficiencia usando nitrógeno del amonio y nitrato del suelo. Un cultivo puede sufrir una deficiencia temporal de nitrógeno si es sembrado bajo estas condiciones, hasta que los microorganismos terminen de descomponer los residuos y lo liberen cuando mueran (The Potash & Phosphate Institute, 1988).

Cuando el nitrógeno atmosférico se combina con el hidrogeno o el oxígeno, ocurre un proceso llamado “fijación”. Este proceso sucede antes de que éste sea usado por las plantas. La fijación ocurre de diferentes formas:

1. Fijación biológica. Esta puede ser simbiótica o no simbiótica. La primera se refiere a la que realizan microorganismos mientras crecen en asociación con una planta huésped, beneficiando a ambos, al organismo y a la planta. La segunda se refiere específicamente a la acción de ciertas bacterias que viven

de manera independiente en el suelo. La cantidad fijada de nitrógeno por estos organismos es mucho menor que la cantidad fijada simbióticamente. La mayoría de las estimaciones indican que hasta 20 kg ha⁻¹ o más son fijados por bacterias de vida independiente.

2. Oxidación Natural. El calor generado por un relámpago hace que el oxígeno del aire reaccione con el nitrógeno, formándose así nitratos. La lluvia y la nieve agregan de esta forma, solamente alrededor de 6 a 10 kg de nitrógeno ha⁻¹ promedio año⁻¹ (The Potash & Phosphate Institute, 1988).
3. Industrial. Los procesos industriales fijan nitrógeno eficazmente en formas disponibles para las plantas. El proceso más importante sintetiza amoníaco (NH₃) a partir de nitrógeno e hidrógeno de la siguiente forma: $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$. El H₂ es generalmente obtenido del gas natural y el N₂ proviene del aire.

Fósforo

Funciones en la planta

Rodríguez y de León (2008) mencionan que el fósforo es absorbido como HPO₄²⁻ y H₂PO₄⁻, que su movilidad en el suelo es limitada y que se mueve a la planta por difusión. Una vez absorbido como HPO₄²⁻ y H₂PO₄⁻, el fósforo circula y se traslada en el vegetal como fósforo monobásico, siendo interiormente un elemento muy móvil que interviene en la formación de nucleótidos, ácidos nucleicos y fosfolípidos (Malavolta, 2006).

Tiene una importancia vital en la división celular, la respiración, la síntesis de azúcares, grasas y proteínas, la acumulación de energía (con los compuestos ATP y NADP), así como en los fenómenos de fosforilación y en la regulación del pH de las células. Este elemento se acumula principalmente en los tejidos activos, meristemos, semillas y frutos (Mengel y Kirkby, 2000; Rodríguez, 1982).

Requerimientos para maíz

Salgado y Núñez (2010) estimaron que la exportación de P_2O_5 del suelo para alcanzar un rendimiento de 12 t ha^{-1} es de 106 kg ha^{-1} ; por su parte, Rodríguez y De León (2008) mencionan que para un rendimiento de 12 t ha^{-1} serán necesarios 39 kg de fósforo ha^{-1} .

Origen y disponibilidad

Murray (2003) señala que como en el caso del nitrógeno, el fósforo puede añadirse al suelo con fuentes orgánicas o inorgánicas. Las fuentes orgánicas son las mismas que para el nitrógeno; es decir, restos vegetales y animales (Fuentes 2002). Las fuentes inorgánicas son los fertilizantes comerciales y los minerales primarios del suelo. Los minerales del suelo liberan fósforo a través del proceso de meteorización. Al contrario del nitrógeno, no existe fijación biológica de fósforo y la contribución por deposición atmosférica es muy baja.

La transformación de la materia orgánica del suelo es tan importante para el fósforo como lo es para el nitrógeno. El proceso de mineralización libera fósforo inorgánico de las fuentes orgánicas del suelo. La inmovilización es el proceso inverso que convierte el fósforo inorgánico a formas orgánicas. Sin importar si el fósforo proviene de fuentes orgánicas o inorgánicas, una porción de este fósforo existe en forma orgánica y otra en forma inorgánica en el suelo (Murray, 2003).

El fósforo inorgánico en la solución del suelo está presente en dos diferentes formas: ortofosfato primario ($H_2PO_4^-$) y ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). Estas formas de fósforo en la solución del suelo reaccionan fuertemente con la superficie de las arcillas (minerales secundarios) y otros compuestos. Ocurren dos reacciones primarias: adsorción y precipitación. En las reacciones de adsorción, el fósforo es fuertemente retenido en la superficie de los minerales. En las reacciones de precipitación, el fósforo puede reaccionar con otras especies químicas en solución o con la superficie de los minerales formando compuestos insolubles. Estos dos tipos de reacciones dejan escaso fósforo en la solución del suelo. Una parte del fósforo

adsorbido y otra del fósforo precipitado, pueden solubilizarse nuevamente y regresar a la solución del suelo mediante reacciones de re-adsorción (Murray, 2003).

Fuentes (2002) menciona que en el suelo existe suficiente fósforo para satisfacer las necesidades de los cultivos durante muchos años, pero únicamente puede ser asimilado por las plantas cuando se encuentra en la solución del mismo. Una vez asimilados por las plantas, el HPO_4^{2-} y el H_2PO_4^- son convertidos a formas orgánicas, como la Adenosina Difosfato (ADP) y la Adenosina Trifosfato (ATP) (Murray, 2003).

Pérdidas de fósforo en el suelo

Para Murray (2003) existen varias formas por las cuales el fósforo puede perderse del suelo. Fuentes (2002) señala que la forma más importante de pérdida, es por la extracción que hacen plantas y microorganismos, y que éste queda inmovilizado temporalmente hasta que es devuelto al suelo como residuo de cosecha.

Debido a que el fósforo está retenido fuertemente en la fase sólida del suelo, también puede perderse a través de la erosión; además, en estado de solución puede perderse por escorrentía (Fuentes, 2002).

Otra pérdida de fósforo de no menos importancia, es la lixiviación en suelos arenosos de zonas con precipitación pluvial considerable donde se han realizado grandes aplicaciones de fósforo. También existe evidencia que sugiere que las aplicaciones de residuos de corral producen un mayor movimiento de fósforo a través del perfil del suelo que las formas inorgánicas de fósforo (Murray, 2003).

Potasio

Funciones en la planta

El potasio es absorbido por las plantas en forma catiónica K^+ , y su forma metabólica también es K^+ (Rodríguez, 1982; Rodríguez y de León (2008). La adsorción en el suelo dependerá de la concentración de otros cationes que generan competencia

iónica; como ejemplo se puede considerar al Mg^{2+} , el cual posee doble carga y tiene mayor energía de adsorción (Malavolta, 2006).

Al potasio se le considera un catión de gran movilidad en la planta y que se transporta de la solución del suelo a la raíz por difusión (Rodríguez y de León, 2008).

Cuando el potasio entra en el sistema metabólico de las células, forma sales inestables con los ácidos orgánicos e inorgánicos, que sirven para regular el potencial osmótico celular. El potasio interviene en los procesos de síntesis de azúcar y almidón, transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estimulación enzimática (Mengel y Kirkby, 2000; Marschner, 1995).

Requerimientos para maíz

Salgado y Núñez (2010) mencionan que la exportación de K_2O del suelo para alcanzar un rendimiento de 12 t ha^{-1} es de 188 kg ha^{-1} ; entre tanto Rodríguez y de León (2008) mencionan que para un rendimiento de 12 t ha^{-1} será necesario $254 \text{ kg de Potasio ha}^{-1}$.

Origen y disponibilidad

Las fuentes de potasio son idénticas a las del fósforo: residuos de cosecha, biosólidos, fertilizantes comerciales y a través de la meteorización de los minerales en el suelo; sin embargo, a diferencia del fósforo, el potasio en las fuentes orgánicas está presente como potasio inorgánico y no como un componente estructural de los compuestos orgánicos (Murray, 2003).

Debido a que no es parte de la estructura de los componentes orgánicos, el potasio no está sujeto a los procesos de mineralización o inmovilización. El potasio inorgánico es soluble y es la única forma como lo toman las plantas. Después que la planta absorbe al ión Potasio (K^+), éste permanece en forma inorgánica dentro de la planta. Las reacciones dominantes del K^+ inorgánico en la solución son reacciones de intercambio, que permiten sea retenido en las cargas negativas de la superficie de los minerales del suelo. Este K^+ puede liberarse para regresar a la solución del suelo.

Al igual que el NH_4^+ , el K^+ puede fijarse entre las capas de ciertas arcillas. Una parte de este potasio fijado puede regresar a la solución del suelo si existe un gradiente de potencial químico lo suficientemente alta (Murray, 2003).

Para Chirinos (1999), el potasio presente en el suelo puede clasificarse en tres categorías:

1. Potasio relativamente no disponible: esta forma está atrapada en minerales primarios insolubles, que liberan muy poco potasio como para ayudar al crecimiento de los cultivos. Constituye, aproximadamente, 90 a 98% del total de potasio en el suelo.
2. Potasio lentamente disponible: esta forma es disuelta a partir de los minerales primarios o fertilizantes potásicos; puede estar unida al complejo orgánico del suelo. Se convierte lentamente a potasio fácilmente disponible a través de largos periodos de tiempo y constituye del 1 al 10% del potasio total del suelo.
3. Potasio fácilmente disponible: esta forma se encuentra en la solución del suelo y en el complejo de intercambio orgánico e inorgánico del suelo y es fácilmente absorbido por las plantas. Constituye del 0.1 al 2% del potasio total del suelo.

Pérdidas de potasio en el suelo

Chirinos (1999) señala que la cantidad de potasio disponible y presente en el suelo es bastante variable a través del tiempo. Lo anterior se debe a que se encuentra sujeto constantemente a reacciones de hidrólisis, fijación y conversión a formas lentamente disponibles y aún a formas no disponibles. Factores como tipo de arcillas presentes, pH, temperatura y humedad del suelo, cantidad extraída por el cultivo, lixiviación etc. pueden hacer variar considerablemente la reserva de potasio disponible del suelo.

Por su parte, Fuentes (2002) menciona que las pérdidas de potasio se deben principalmente a la extracción que hacen plantas y microorganismos, y que éste queda inmovilizado temporalmente hasta que es devuelto al suelo mediante

aplicación de residuos orgánicos. Asimismo, señala a la fijación en la superficie interna de algunas arcillas, como otra forma de pérdida de potasio, pero que sin embargo se recupera al cabo de cierto tiempo.

2.4 Calidad de semilla

Para el agricultor, la calidad de semilla significa la idoneidad que tenga ésta para sembrarse en su parcela en un momento determinado del año, por lo que requiere que esté bien limpia, bien desgranada, sana, de buen tamaño y con buenas condiciones tecnológicas (Besnier, 1989). Para Moreno (1984) las características biológicas y físicas también repercuten en el valor comercial, por lo que resulta indispensable considerar diversos aspectos para evaluar la calidad y el potencial de las semillas. Ambos autores consideran que entre estos aspectos o componentes están la pureza física y varietal, tamaño, uniformidad, contenido de humedad, sanidad, capacidad germinativa y vigor, entre otros.

Cuando se habla de calidad de semillas, se hace referencia a cuatro componentes: genético, fisiológico, físico y sanitario. La calidad genética en este contexto se refiere a que la variedad mantenga sus características distintivas al pasar de una generación de incremento de semilla a otra; la calidad fisiológica implica que la semilla sea viable, que tenga capacidad de germinación y que se establezca eficientemente en campo. Este segundo atributo se evalúa mediante las pruebas de germinación estándar, de viabilidad y de vigor. La calidad sanitaria se interpreta como el hecho de que la semilla esté libre de microorganismos patógenos (o que estos no sobrepasen tolerancias ya establecidas) que pudieran afectar su desempeño al propiciar la aparición de enfermedades. Finalmente, la calidad física involucra el contar con lotes de semilla donde el nivel de contaminación por elementos físicos no sobrepase las normas definidas; algunas de las características más comúnmente determinadas son la pureza física, el contenido de humedad y el tamaño de la semilla (Flores, 2004).

Para determinar el nivel de calidad de las semillas existen normas aceptadas de manera general, las cuales son establecidas por la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA, por sus siglas en inglés) (Besnier, 1989).

2.4.1 Calidad genética

Meza (1998) menciona que la calidad genética es aquella que obtiene el fitomejorador mediante la selección o inducción del cruzamiento para identificar el material genético sobresaliente; por lo que está determinada por la conservación del genotipo del híbrido o de la variedad producto del trabajo de mejoramiento genético.

Para que las ventajas de los materiales mejorados puedan ser observadas en una siembra a nivel comercial, la semilla establecida debe llevar forzosamente las características del material obtenidas por el fitomejorador, para asegurar que el productor consiga de esta todas las cualidades que la hagan superior y diferente a las demás (Brauer, 1969).

2.4.2 Calidad física

La calidad física de las semillas está referida a las características observables o factibles de medir, de las cuales se consideran como componentes: semilla pura, semilla de otros cultivos, semilla de malezas, materia inerte, contenido de humedad, peso volumétrico, tamaño de la semilla, peso de 1000 semillas, el color y el daño causado por hongos, e insectos (Hernández, 1985; Meza, 1998).

Por su parte, Moreno (1984) señala que uno de los aspectos más importantes del análisis de las semillas es la pureza física.

2.4.3 Calidad fisiológica

Este concepto describe que la semilla debe poseer viabilidad, una alta capacidad de germinación y vigor para establecerse y producir nuevos individuos (Bustamante; citado por Arellano, 1986).

Para algunos autores, la calidad de la semilla, en términos de viabilidad y vigor, se conoce como fisiológica y se establece durante el periodo de desarrollo del cultivo.

La viabilidad se refiere al porcentaje de semillas de un lote que son capaces de germinar y formar una planta normal en condiciones óptimas; sin embargo, no es suficiente para propósitos de la agricultura que una semilla complete la germinación; además, debe poseer la habilidad para germinar bajo un variado y amplio número de condiciones muchas veces adversas en campo, a esto se le conoce como vigor (Bradford, 2004). Al respecto, Arellano (1996) se refiere solo al hecho de que la semilla está viva, en tanto que el vigor se refiere a la capacidad de un lote de semillas para producir plántulas con buenas características en el campo.

El vigor de la semilla depende de la constitución genética de la planta madre y del ambiente que la rodea. Semillas vigorosas producen plantas fuertes, uniformes y saludables que tienen un mejor desarrollo en su establecimiento y adicionalmente exhiben relativamente una mayor longevidad (Doijode, 2001). Para Arellano (1996), el vigor es considerado como la capacidad que tiene la semilla para producir una plántula normal en condiciones adversas y está en función de la tasa de emergencia, crecimiento y desarrollo de plántula, con relación a una tasa máxima para el material en evaluación.

Viabilidad

Con frecuencia la viabilidad se confunde con germinación, usándose ambos términos como sinónimos; sin embargo, desde el punto de vista de la ISTA, la capacidad de germinación considera únicamente plántulas normales, mientras que la viabilidad es la suma de las plántulas normales más las anormales (Miles *et al.*, 1988).

Copeland y McDonald (1985) mencionan que la viabilidad es una expresión del grado al cual una semilla está viva, metabólicamente activa y posee enzimas capaces de catalizar reacciones metabólicas necesarias para la germinación y crecimiento de la plántula; y que en ese contexto, una semilla viva puede contener tejido vivo y puede o no ser capaz de germinar. Para Roberts (1972) una semilla no

viable es aquella que sufrió un cambio degenerativo irreversible que normalmente representa su muerte.

Por su parte Basu (1995) señala que la viabilidad de la semilla es la propiedad que la hace capaz de germinar bajo condiciones favorables, siempre que cualquier dormancia sea suprimida, en tanto que Ellis y Roberts, y Roberts y Ellis (Citados por Stoyanova, 1991) señalan que la viabilidad de las semillas está en función de la temperatura, la humedad de las semillas, tiempo y condición de la semilla individual.

Germinación

Copeland (1976) define a la germinación, como la reanudación del crecimiento activo del embrión, debido a las reacciones y eventos metabólicos ocasionados por la imbibición de la semilla, culminando con la ruptura de la cubierta seminal; mientras que Moreira y Nakagawa (1988) la definen como un fenómeno por el cual en condiciones apropiadas, el eje embrionario prosigue su desarrollo, mismo que había interrumpido durante la madurez fisiológica.

Ching (1973) afirma que el proceso de germinación puede dividirse en tres fases distintivas que interaccionan entre sí: 1) reactivación de los sistemas conservados desde el periodo de maduración de las células del tejido de almacenamiento y del embrión, 2) síntesis y mantenimiento de enzimas y organelos por degradación catabólica de reservas y, 3) síntesis por anabolismo de nuevos componentes celulares en el eje embrionario o embrión. También afirma que tanto el patrón básico de la germinación como el crecimiento están codificados por las características genéticas de la especie, pero son afectados por factores ambientales en el que se desarrolla y del manejo de las semillas.

Por su parte Diffus y Slaughter (1980) señalan que debido a que las semillas casi invariablemente pasan por un periodo de desecación durante la maduración, la primera fase de la germinación es la absorción de agua por el material polimérico de reserva, hinchándose a consecuencia de ello; aunque este proceso puede ocurrir tanto en semillas muertas como en semillas vivas. Dividen el proceso en dos fases:

1) inicio del metabolismo activo del embrión, seguido rápidamente por el crecimiento y diferenciación, apoyado por la inmediata utilización del material de reserva embrionario y, 2) crecimiento continuo del embrión, apoyado por el flujo de productos de la hidrólisis de los cotiledones o reserva alimenticia extraembrionaria tal como el endospermo; esta fase continúa hasta que la plántula se establece como organismo fotosintético, o muere por haberse terminado la reserva alimenticia. La transición de la fase uno a la dos depende de la aparición de una serie de enzimas hidrolíticas en la reserva alimenticia, en respuesta al crecimiento del embrión.

Bawley (1997) menciona que usualmente el signo visible de que la germinación se ha completado, se tiene cuando la radícula traspasa las estructuras que rodean al embrión; resultado que a menudo se conoce como germinación visible. En este sentido Hilhorst y Toorop (1997) mencionan que la suma de los procesos que proceden e incluyen la protusión de la radícula/coleorriza a través de las estructuras circundantes de la semilla, hasta que la radícula/coleorriza se hace visible; se considera completada la germinación y se inicia el crecimiento.

Prueba de germinación estándar

Entre las pruebas de laboratorio más empleadas en el control de calidad de semillas, se encuentra la prueba de germinación estándar, cuyo principal objetivo es determinar el máximo potencial de germinación. Esta prueba es el principal análisis aceptado internacionalmente, caracterizándose por el empleo de una metodología estandarizada de alta reproducibilidad, generando resultados que proveen información confiable sobre el potencial de germinación bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad (Farrás, 2011), así como de iluminación.

Peretti (1994) señala además, que es una prueba que informa respecto a la cantidad de semillas que más rápidamente han realizado la actividad metabólica y crecimiento propio de la germinación, determinando el porcentaje de plántulas normales obtenidas después de la prueba.

Consiste básicamente en colocar las semillas sobre un sustrato adecuado, humedecido, y controlar las condiciones de incubación durante un cierto periodo de tiempo, durante el cual se realizan conteos de germinación, observando el número de semillas que han germinado. Se puede evaluar también con el número de plántulas obtenidas, identificando plántulas normales y anormales.

La incubación se realiza en espacios con temperatura que oscilen entre 10 y 30°C. Cuando se utilizan temperaturas alternas dentro del ciclo diario, se recomienda que la oscilación térmica sea inferior a 10°C, coincidiendo la temperatura más elevada con el periodo de luz en el caso de utilizar cámaras de iluminación.

Al respecto, la ISTA establece una serie de recomendaciones para cada especie sobre el sustrato a utilizar, la temperatura de germinación, los días de conteo y en algunos casos otras recomendaciones de tratamiento específicos para favorecer la germinación.

Vigor de semilla

El vigor de semilla se define como el conjunto de propiedades que determinan su potencial para una emergencia rápida y uniforme, así como un desarrollo de plántulas normales bajo diversas condiciones de campo (AOSA, 1983) produciendo mayor cantidad de materia seca en menor tiempo (Villaseñor, 1984).

Se distinguen dos tipos de vigor: genético y fisiológico. El primero es producido por heterosis o por disparidad de vigor entre líneas no emparentadas; mientras que el segundo, con origen en el primero, se manifiesta por diferencias entre lotes de semillas del mismo genotipo (Pollock y Ross, 1972).

El vigor de una semilla como lo describe Ching (1973), es una característica que involucra aspectos bioquímicos e influencias exógenas, mismas que en su interacción conforman la complicada naturaleza de este carácter.

El vigor es un rango genético propio de la planta, el cual se expresa a nivel de semilla, pero que se ve afectado por factores externos como la nutrición de la planta

madre, daños mecánicos ocasionados durante la cosecha, el procesamiento y el almacenamiento (Villaseñor, 1984).

Para obtener densidades de población adecuadas y altos rendimientos, se requieren niveles satisfactorios de vigor en las semillas en adición a los criterios tradicionales de germinación, pureza y sanidad (Perry, 1977).

Perry (1980) menciona que en la definición de la ISTA, se da una relación de los factores que pueden ser la causa principal de la variación en el vigor y son utilizadas como una ayuda futura para considerar la extensión del concepto. Estos factores son: constitución genética, desarrollo y nutrición de la planta madre, estado de madurez a la cosecha, tamaño de semilla y peso específico, integridad mecánica, estado y deterioro, y patógenos.

Determinación del vigor

Las pruebas de vigor son más sensibles a la pérdida de calidad, en comparación con la prueba de germinación normal, debido a que propicia que se manifiesten las eventuales diferencias potenciales de los lotes de semillas; sin embargo, sus resultados no necesariamente pronostican la emergencia de las plántulas, sino que dan elementos de juicio al consumidor para determinar si un lote es superior a otro. El grado de esta superioridad estará dado por la constitución genética del lote, las condiciones ambientales prevalecientes durante su periodo de desarrollo en la planta madre, las características del almacenamiento y, finalmente, por las condiciones ambientales que ocurran en campo, durante el desarrollo de las mismas, y que pueden ser tan severas que impiden la emergencia, incluso para los lotes de semillas extremadamente vigorosas (McDonald, 2002).

Es por esto que, una prueba de vigor sólo indicará el comportamiento probable y comparativo entre lotes de semillas cuando las condiciones sean subóptimas; al mismo tiempo identificará aquellos que presenten máximos niveles de tolerancia y adaptabilidad a dichas condiciones (Perry, 1984). Las pruebas de vigor representan el comportamiento potencial de la semilla en el campo (Sako *et al*, 2001), serán un

criterio para establecer el precio justo del mismo (McDonald, 2002) y, finalmente, para decidir sobre el uso de las semillas y sus necesidades de almacenamiento para prevenir pérdidas económicas (Fay *et al*, 1993).

Bennett (2002) menciona que las pruebas de vigor deben:

1. Proporcionar datos con mayor sensibilidad que la sola prueba de germinación normal, en relación con la calidad de semillas.
2. Establecer correlaciones aceptables entre los niveles de vigor que dictaminan y el comportamiento de las semillas en campo.
3. Ser objetivas, rápidas, simples y económicas.
4. Ser reproducibles e interpretables.

Es evidente que actualmente no existe una prueba de vigor que reúna todas estas características. La estrategia es realizar las adaptaciones pertinentes de las pruebas de vigor para utilizarlas eficientemente en algunas especies y bajo condiciones muy particulares (Villaseñor, 1984).

De acuerdo con Perry (1984), una manera de clasificar las pruebas de vigor es en directas e indirectas.

- a) **Directas:** En el laboratorio se aplican factores limitantes para el desarrollo seminal, mismos que repercuten en la reducción de emergencia en campo. Por lo tanto, miden la capacidad de las semillas para emerger bajo condiciones de tensión ambiental.
- b) **Indirectas:** En estas, las características fisiológicas de la semilla, medidas en laboratorio, se relacionan con su comportamiento en campo.

La calidad de las semillas disminuye con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones imperantes durante el tiempo en que estas permanecen almacenadas. El primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido por una reducción en la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente la muerte de las semillas

(Ferguson, 1995). Según este autor, el vigor de las semillas se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas, incluyendo:

1. Cambios en los procesos bioquímicos.
2. La tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas, y
3. La germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés.

Las alteraciones en los procesos bioquímicos son generalmente los primeros signos detectables del deterioro de semillas; entre ellos se encuentra la funcionalidad de las membranas celulares, la cual se mide indirectamente a través de la conductividad eléctrica que expresan (Ferguson, 1995). Asimismo, la prueba de envejecimiento acelerado es una de las pruebas de vigor más populares por su fácil estandarización (Tekrony, 1995) y aplicación a un amplio margen de cultivos (McDonald, 1995).

En términos de establecimiento de plántulas en campo, las variables de calidad fisiológica que permiten estimar el vigor son: la velocidad de emergencia y el peso seco de plúmula y radícula (Hernández *et al*, 2000), así como peso específico, integridad mecánica, estado y deterioro, y patógenos.

Deterioro en la calidad fisiológica

El deterioro motiva la deficiencia generalizada de los procesos metabólicos durante la germinación, incluyendo defectos en la respiración y funcionalidad de la membrana celular, síntesis de proteínas y de ácidos nucleicos, y metabolismo del ADN, entre otros (Cruz *et al.*, 1995).

El envejecimiento de las semillas es un conjunto secuencial de eventos bioquímicos y fisiológicos que reducen progresivamente la calidad, llegando hasta la pérdida de su viabilidad (Marcos-Filho y McDonald, 1988), menoscabando los rendimientos potenciales y, por ende, causando pérdidas económicas (McDonald, 1999).

McDonald (1999) señala que el deterioro de semillas, es diferente en cada especie y genotipo, y es influenciado por factores ambientales y biológicos y, además, no ocurre uniformemente ni en cada semilla ni en cada lote de ellas.

En el mismo sentido, Anderson (1973) menciona que el deterioro de la semilla disminuye la capacidad germinativa, la velocidad de crecimiento de la planta y la tolerancia a condiciones adversas. Dichos efectos están asociados con cambios en el metabolismo a través de procesos bioquímicos, tales como la actividad metabólica durante las primeras horas de germinación, misma que se ha correlacionado con la aptitud germinativa y el vigor de la semilla; aduce asimismo que los síntomas de la semilla deteriorada incluyen pérdida de compuestos solubles debido a una excesiva permeabilidad de la membrana, reducción de la actividad enzimática y producción sustancias tóxicas tales como ácidos grasos libres.

La escasa o nula funcionalidad de las membranas seminales es consecuencia de la peroxidación de lípidos que las constituyen, lo que conlleva a una desorganización y pérdida de actividades metabólicas (Wilson y McDonald, 1986); además, una excesiva permeabilidad de la membrana provoca pérdida masiva de azúcares, iones orgánicos y aminoácidos, entre los componentes celulares y algunos de ellos podrían reducir sus concentraciones respecto a las óptimas para la respiración, actividades enzimáticas y síntesis de macromoléculas.

Basavarajappa *et al.* (1991) mencionan que una causa importante de la muerte de semillas es la pérdida severa de reservas en el embrión, y que a medida que avanza el proceso de su deterioro se ve afectado el crecimiento y desarrollo de una nueva plántula, lo que se expresa con anomalías y daños en sus principales estructuras.

Impacto del deterioro sobre el ADN

La capacidad germinativa de las semillas se reduce concomitantemente con la acumulación de daños en sus sistemas metabólicos, proceso conocido como senescencia. Estos daños metabólicos afectan de tal manera que, según su

intensidad, inhiben o disminuyen la capacidad de reparación y/o replicación del ADN (Burris, 1977).

La información genética se trasmite sin cambios aparentes, lo cual asegura que las características de cada especie se mantengan; sin embargo, es susceptible de sufrir alteraciones espontáneas o bien, inducidas por factores ambientales, como temperatura y humedad, o por agentes químicos o físicos; a estas alteraciones se les denomina mutaciones (Adler *et al.*, 1987). El daño al genoma usualmente produce funcionamiento celular anómalo o inclusive la muerte de la semilla. Se considera mutación a cualquier cambio de la secuencia del ADN, o una serie de rearrreglos en el material genético de una célula (Adler *et al.*, 1987 y Solari, 1996).

Durante el proceso de deterioro de las semillas el ADN es degradado, lo que conlleva a una transcripción deficiente, afectando de esta forma la síntesis enzimática que es crucial en las primeras etapas de la germinación, sin ella las reservas almacenadas en la semilla no pueden ser hidrolizadas y la síntesis de moléculas energéticas como el ATP no se lleva a cabo (McDonald, 1999).

Los radicales libres también tienen efectos negativos sobre el ADN, ya que oxidan las bases nitrogenadas y los residuos de desoxirribosa. Cuando algunas bases son dañadas, el ADN permanece casi intacto; pero cuando los residuos de azúcares son modificados se inducen rupturas en el ADN (Larson, citado por McDonald, 1999); no obstante, se sabe que existe la capacidad genotípica para reparar estas rupturas durante la germinación o la imbibición controlada de la semilla dañada (Osborne, 1982).

El ADN que se degrada durante el envejecimiento, puede ser reparado durante la imbibición, antes de su replicación (Elder y Osborne, 1993; Gutiérrez *et al.*, 1993); sin embargo, su reparación depende del genotipo y de la intensidad de los daños acumulados (Gutiérrez *et al.*, 1993).

2.4.4 Calidad sanitaria

La calidad sanitaria está referida al hecho de que la semilla se encuentra libre de plagas y microorganismos patógenos (bacterias, hongos, virus, micoplasmas y otros), que pudieran afectar la calidad de la semilla y que además, puedan ser diseminados (Meza, 1998).

Para la FAO (2011), la sanidad de las semillas se refiere a la presencia o ausencia de organismos que causan enfermedades, tales como hongos, bacterias y virus, así como plagas animales, incluyendo nematodos e insectos. A su vez, la SAGARPA (2007) considera en La Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas, que la calidad fitosanitaria, es la medida de la sanidad de la semilla que evalúa y determina la presencia o ausencia de organismos patógenos en un lote de semillas.

La sanidad es uno de los principales factores responsables de la expresión de la calidad (Bringel *et al.*, 2001). Se considera que una semilla libre de organismos que constituyan factores de riesgo a la producción, tales como hongos, bacterias u virus, posee calidad fitosanitaria (Hernández, 2011); sin embargo, muchos patógenos son endémicos y se presentan cada año con diferente grado de severidad, dependiendo en gran medida de las condiciones ambientales y la forma de manejo del cultivo (Mc Gee, 1998; citado por González, 2004).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de los sitios experimentales

La investigación se realizó en dos etapas; ambas dentro de las instalaciones del Colegio de Postgraduados, en el *Campus* Montecillo, Estado de México, ubicado en los 19°28'02.37" Latitud Norte y 98°54'15.12" Longitud Oeste a 2244 msnm. La primera fue en el año 2014, en campo de cultivo; la segunda se llevó a cabo en 2015, en el Invernadero No. 4 del lote experimental *Predio Nuevo* y en el laboratorio de Análisis de Semillas del CP-SNICS.

La temperatura media anual en las instalaciones del Colegio de Postgraduados es de 15 °C y la precipitación pluvial media anual es de 644.8 mm. El clima es C (W0) (W) b (y'); templado subhúmedo con lluvias en verano y menos de 5% de lluvias en invierno, con una temperatura media anual que oscila entre 12 y 18°C (García, 1988).

3.2 Material vegetal

En la primera etapa, se utilizó semilla de los progenitores hembra: CL12 x CL11 y Macho: CL7 origen 2008 para la generación del maíz híbrido trilineal denominado HS-2. En la segunda etapa se utilizó al material híbrido generado (HS-2).

3.3 Experimentos realizados

3.3.1 Evaluación del rendimiento y variables agronómicas en la producción de semilla del híbrido HS-2

En la primera etapa de la experimentación se realizó la producción de semilla del híbrido HS-2 a partir de la siembra de sus progenitores. Estos fueron manejados con 4 niveles de densidad de población y 4 niveles de fertilización nitrogenada.

El progenitor macho fue sembrado el 23 de abril de 2014, en fajas de 3 surcos a lo largo de los 100 m del lote experimental. La siembra del progenitor hembra se realizó el 30 de abril en parcelas de 6 surcos de ancho y 10 m de largo.

Con la finalidad de lograr eficiencia en la polinización, la relación de surcos hembra surcos macho fue 6:3; asimismo, el desespigamiento del progenitor hembra se realizó con oportunidad y eficiencia.

Niveles de densidad de población

Los tratamientos de densidad de población fueron: 40, 50, 60 y 70 mil plantas ha⁻¹. Para el control de este factor, la siembra del progenitor hembra se realizó de forma manual, depositando tres semillas por mata, con la distancia entre matas que correspondió a cada tratamiento. Antes de la segunda labor se realizó un primer raleo de plantas, dejando un margen para el raleo de las plantas fuera de tipo. Las plantas fuera de tipo se eliminaron cuando se evidenció la plena identidad del progenitor hembra. Al final, se tuvo el número de plantas que correspondieron a cada densidad de población.

Niveles de fertilización

Los tratamientos de fertilización consistieron en una dosis fija de fósforo (60 kg ha⁻¹) y de potasio (60 kg ha⁻¹) al momento de la siembra, y 4 dosis de nitrógeno: 70, 140, 210 y 280 kg ha⁻¹. Para el caso de la fertilización nitrogenada, se aplicó una base de 70 kg a la siembra; en cada parcela se completó el respectivo nivel de fertilización nitrogenada a la segunda labor.

Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo mediante un diseño experimental en Bloques Completos al Azar.

La distribución de los tratamientos fue mediante un arreglo factorial balanceado 4x4, con 4 repeticiones para un total de 64 unidades experimentales aleatorizadas.

VARIABLES EVALUADAS

Para la evaluación del efecto de los tratamientos en la 1ª etapa, se midieron las siguientes variables respuesta en diversas etapas fenológicas:

- a) Días a la floración masculina. Se realizó la anotación considerando desde la fecha de siembra hasta que apareció la primera espiga.
- b) Días a la floración femenina. Se realizó la anotación diaria del número de plantas en las que les fueron apreciados los primeros estigmas.
- c) Altura de planta. Se realizó la anotación una vez aparecida la espiga y se midió desde el nivel del suelo hasta la base de la misma.
- d) Altura de mazorca. Se midió desde del nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la primera mazorca.
- e) Rendimiento de mazorca. Se obtuvo a partir del peso de las mazorcas de la parcela útil.

La cosecha de las mazorcas del progenitor hembra se realizó el día 4 de noviembre de 2014 con aproximadamente 24% de humedad en el grano. Al momento de la cosecha, se colectaron solo las mazorcas de la parcela útil, conformada por los 4 surcos centrales y 8 m de longitud. La totalidad de mazorcas sanas obtenidas de cada parcela útil fue pesada, envasada e identificada. Finalizada la cosecha se procedió al traslado y deposición de la totalidad de la producción a una celda de secado de la Planta de Beneficio de Semillas dentro de las instalaciones del Colegio de Postgraduados. El material permaneció en celda de secado por alrededor de 18 días hasta alcanzar un contenido de humedad de alrededor del 11%.

Finalizado el proceso de secado, se tomó muestra de cada tratamiento. La muestra consistió en la selección de las 20 mejores mazorcas. Dicha muestra fue desgranada manualmente, se obtuvo una muestra de grano de aproximadamente 6 kg, misma que fue clasificada por forma y tamaño de grano. Para la clasificación por forma se utilizó "Criba Oblonga" de 5.75 mm, de donde se consideró al material sobrenadante a la criba como Bola y al subyacente como Plano. Para la clasificación por tamaño se hizo pasar a cada tipo por juego de "cribas" con alveolos de 9, 8 y 6.5 mm, de donde toda la semilla retenida en la criba de 9 mm se consideró tamaño grande; la retenida en la criba de 8mm, tamaño medio, la retenida en la criba de 6.5 mm, tamaño chico, y a la semilla que pasó por la criba de 6.5 mm, se le consideró como desecho.

3.3.2 Determinación de la calidad fisiológica de la semilla

En la segunda etapa de la experimentación se determinó la calidad fisiológica de la semilla del híbrido generado, a partir de dos pruebas de evaluación del vigor; para ello, se procedió a considerar únicamente a la semilla de forma y tamaño plano medio.

3.3.2.1 Evaluación del vigor de la semilla a diferentes profundidades de siembra

La evaluación del vigor consistió en la siembra del híbrido a 3 niveles de profundidad en suelo y bajo invernadero.

La semilla de los 16 tratamientos fue sembrada el 17 de abril de 2015, en 2 almacigueros de 5x2 m, armados sobre el nivel de terreno y perimetrados con tabla de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Cada almaciguero se dividió en 2 secciones longitudinales. Cada sección fue dividida transversalmente en 48 surcos de 75 cm de largo separados a cada 10 cm. En cada uno de los surcos se sembraron 25 semillas separadas a cada 2 cm. Al final de la siembra se aplicó riego pesado, con la finalidad de favorecer el proceso de germinación de las semillas.

Se realizaron riegos periódicos con base a la necesidad de humedad en el suelo. Desde el primer día en que ocurrió la siembra, se realizó observación y conteo de la aparición de coleóptilos. Una vez alcanzado el máximo periodo de emergencia, las plántulas fueron extraídas del suelo el día 5 de mayo. Al momento de la extracción se realizó: último conteo de coleóptilos emergidos y medición de longitud de mesocótilos. La totalidad de plántulas obtenidas por surco fue envasada e identificada en bolsas de papel. Finalizada la extracción se procedió al traslado y deposición del material a una estufa de secado en el laboratorio de Beneficio de Semillas del Colegio de Postgraduados. El material permaneció en estufa de secado por alrededor de 4 días a 72 °C de temperatura hasta alcanzar peso seco constante.

Niveles de profundidad de siembra

Los tratamientos de profundidad de siembra fueron: 12, 8 y 4 cm. Para el control de este factor, en cada sección de los almacigueros, fueron sembrados, cubiertos y razados con una capa de suelo de 4 cm, los 48 tratamientos de cada uno de los respectivos niveles. Así, por nivel, se realizó una distribución aleatoria de los surcos asignados para cada tratamiento; es decir, en la sección uno del almacigo uno, se sembraron 16 tratamientos aleatorizados en los 48 surcos disponibles; para el siguiente nivel del mismo almacigo y sección, se sembró en alguno de los 32 surcos disponibles para que el último nivel se sembrara sobre los 16 surcos restantes.

Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo mediante un diseño experimental en Parcelas Divididas.

La distribución de los tratamientos fue mediante un arreglo factorial 3x16 con 4 repeticiones para un total de 192 unidades experimentales aleatorizadas.

Variables evaluadas

Para la evaluación del Vigor de semilla de los 16 tratamientos obtenidos en campo, se midieron las siguientes variables respuesta:

- a) Velocidad de emergencia. Se realizó la anotación a partir del cálculo con la totalidad de coleóptilos emergidos a la superficie del suelo, realizando conteo diario a partir del 5º día de la siembra.
- b) Porcentaje de emergencia. Se realizó la anotación a partir del cálculo una vez considerado el máximo periodo de emergencia, mediante del conteo realizado de todas las plántulas emergidas y desarrolladas al 18º día de la siembra.
- c) Longitud de mesocótilo. Se realizó la anotación una vez considerado el máximo periodo de emergencia, realizando medición de 5 plántulas promedio desarrolladas al 18º día de la siembra.

- d) Peso seco de parte aérea. Se realizó la anotación una vez considerado constante el peso seco de las plántulas.

3.3.2.2 Evaluación del vigor de la semilla en medio salino

La evaluación del vigor consistió en la siembra del híbrido a un solo nivel de salinidad y bajo condiciones de ambiente controlado en laboratorio.

La semilla de los 16 tratamientos fue sembrada el 21 de mayo de 2015, en cajas Petri de 15 cm de diámetro. Cada caja Petri fue fondeada con papel filtro de “Poro Medio” como medio absorbente de solución salina, en cuyo caso se utilizó cloruro de sodio (NaCl) grado reactivo a una concentración de 15 dS m⁻¹. En cada caja Petri fueron depositadas 20 semillas asperjadas con la solución mediante el uso de un atomizador hasta generar una película de 1 mm con la finalidad de favorecer el proceso de germinación.

Se realizaron aspersiones periódicas con base a la necesidad de humedad en el medio. Se realizó observación y conteo de semillas en protrusión, y una vez alcanzado el máximo periodo para cuantificar este carácter, las semillas con radícula y plúmula fueron extraídas el 29 de mayo. Al momento de la extracción se realizó una clasificación del nivel de protrusión observado (Figura 1). La clasificación realizada consistió en la generación de 8 niveles identificados de la siguiente manera:

Nivel 1 Semillas sin ninguna evidencia de protrusión.

Nivel 2 Semillas que presentaron ruptura de pericarpio e hinchazón del área embrional.

Nivel 3 Semillas con protrusión menor a 2 mm.

Nivel 4 Semillas con protrusión definida (presencia de plúmula y radícula con longitud mayor a 2 mm).

Nivel 5 Semillas con plúmula colorida.

Nivel 6 Semillas con plúmula débil, radícula pequeña y presencia de raíces adventicias.

Nivel 7 semillas con radícula y plúmula ligeramente vigorosas.

Nivel 8 Semillas con radícula y plúmula vigorosas.



Figura 1. Clasificación del nivel de protrusión observado en la evaluación del vigor de semilla en medio salino.

Posteriormente, a los niveles de clasificación que presentaron protrusión, les fue asignada una calificación acorde al grado de desarrollo del embrión, considerando el crecimiento de radícula y plúmula (Cuadro 1).

Cuadro 1. Calificación del nivel de protrusión observado en las semillas sometidas a medio salino.

Nivel	Calificación del nivel de protrusión
3	0.5
4	1.0
5	1.5
6	2.0
7	2.5
8	3.0

Nivel de salinidad

El experimento consistió en la evaluación de 16 tratamientos derivados del manejo en campo de 4 niveles de densidad de población y cuatro niveles de fertilización nitrogenada que se pusieron a germinar en un medio salino: 15 dS m⁻¹ con NaCl.

Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo mediante un diseño experimental en Bloques Completos al Azar; con 16 tratamientos y cuatro repeticiones. Las cuales quedaron ubicadas en cada una de las cuatro parrillas de la cámara de germinación.

Variable evaluada

Para la evaluación del vigor de semilla de los 16 tratamientos obtenidos en campo, se utilizó una variable respuesta:

- a) Índice de vigor. Se realizó la anotación a partir del cálculo de la suma aritmética de la multiplicación del valor de calificación de cada nivel por el número de semillas clasificadas en el respectivo nivel de protrusión, expresado en puntaje.

3.4 Análisis estadístico

Debido a la variación visible de los datos obtenidos de cada una de las variables respuesta evaluadas, los datos obtenidos de cada experimento fueron sometidos a una “Prueba de Bondad de Ajuste” con la finalidad de confirmar el supuesto de normalidad o simetría de la distribución.

Una vez confirmada la no necesidad de realizar transformación, o de utilizar metodologías basadas en la teoría del modelo lineal generalizado, los datos de las variables evaluadas fueron analizados mediante el Modelo Lineal General (GLM) y así determinar la significancia estadística de los tratamientos.

Para tener una idea más clara de cuál de los factores, densidad de población (DEN) y fertilización nitrogenada (FER), afectó en mayor medida a las variables evaluadas, se consideró pertinente separar el efecto de estos factores en el respectivo análisis estadístico de los experimentos involucrados en la segunda etapa.

Para el análisis estadístico se aplicó la técnica estadística más generalizada para la prueba de hipótesis. Se realizó Análisis de Varianza y comparación de medias

mediante la prueba de Fisher (Fisher's Least Significant Difference: LSD) con nivel de significancia al 10%, para lo cual se utilizó el software estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de variables medidas en campo

Los resultados del Análisis de Varianza aplicado a las variables respuesta rendimiento (REN), velocidad de aparición de flor masculina (VAFMAS), velocidad de aparición de flor femenina (VAFFEM), altura de planta (APLA) y altura de mazorca (AMAZ) se muestran en el Cuadro 2, donde se observa que la interacción densidad de población x fertilización nitrogenada (DEN x FER) no resultó estadísticamente significativa, para ninguna de las variables respuesta; por su parte, el factor densidad de población (DEN) solo resultó significativo para la variable rendimiento, en tanto que el factor fertilización nitrogenada (FER) con un nivel de probabilidad de error tipo 1 del 10% ($\alpha=0.10$), de igual manera, solo influyó en el rendimiento..

Cuadro 2. Cuadrados medios y valor de probabilidad para el experimento de evaluación del rendimiento de semilla híbrida.

FV	GL	REN	VAFMAS	VAFFE M	APLA	AMAZ
DEN	3	18.558 (<.0001)	18.09 (0.6833)	38.41 (0.5555)	119.99 (0.4896)	143.79 (0.3033)
FER	3	1.006 (0.1006)	14.91 (0.7442)	30.33 (0.6476)	141.68 (0.4160)	66.87 (0.6305)
DEN x FER	9	0.453 (0.4588)	7.90 (0.9902)	15.96 (0.9734)	81.77 (0.8226)	52.17 (0.8974)
Error	44	0.456	36.08	54.65	146.24	115.06
R ²		0.77	0.20	0.21	0.42	0.32
C.V. (%)		8.81	50.94	54.99	5.50	9.12
Media		7.659	11.79	13.44	219.82	117.65

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, REN= Rendimiento ($t\ ha^{-1}$); VAFMAS= Velocidad de Aparición de Flor Masculina ($flor\ día^{-1}$), VAFFEM= Velocidad de Aparición de Flor Femenina ($flor\ día^{-1}$), APLA= Altura de Planta (cm), AMAZ= Altura de Mazorca (cm), DEN= Densidad, FER= Fertilización, CV= Coeficiente de Variación.

4.1.1 Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento y variables agronómicas

En el Cuadro 3 se observa que la densidad de población (DEN) a cualquier nivel, no muestra diferencia significativa para las variables: velocidad de aparición de flor masculina (VAFMAS), velocidad de aparición de flor femenina (VAFFEM), altura de

planta (APLA) y altura de mazorca (AMAZ); la única variable en la que se encontraron diferencias estadísticas significativas, fue el rendimiento (REN), con una diferencia de 2,446.1 kg ha⁻¹ entre los niveles de 70,000 y 40,000 plantas ha⁻¹, equivalentes a 28.2% más rendimiento; otra diferencia estadística significativa, se presentó entre el nivel de 70,000 y el nivel 50,000 plantas ha⁻¹ con 1,412.3 kg ha⁻¹ (16.3%), en tanto que entre el nivel 70,000 y el nivel 60,000 plantas ha⁻¹ (299.3 kg ha⁻¹; 3.4%) no hay diferencia estadística.

Cuadro 3. Comparación de medias para el factor Densidad de Población (DEN) y su efecto sobre la evaluación de la producción del progenitor hembra.

DEN (plantas ha ⁻¹)	Variables dependientes				
	REN (kg ha ⁻¹)	VAFMAS (flor día ⁻¹)	VAFFEM (flor día ⁻¹)	APLA (cm)	AMAZ (cm)
70,000	8,676.2 a	11.84 a	11.87 a	220.81 a	118.94 a
60,000	8,376.9 a	11.49 a	13.25 a	220.69 a	121.25 a
50,000	7,263.9 b	13.32 a	15.62 a	217.19 a	114.19 a
40,000	6,230.1 c	10.42 a	13.01 a	217.67 a	116.11 a
DMS (p≤0.10)	485.0	4.32	5.31	008.69	007.71

DEN: Densidad de población, REN= Rendimiento; VAFMAS= Velocidad de Aparición de Flor Masculina, VAFFEM= Velocidad de Aparición de Flor Femenina, APLA= Altura de Planta, AMAZ= Altura de Mazorca, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Entre el nivel de 60,000 y el de 40,000 plantas ha⁻¹ se encontró diferencia estadística de 2,146.8 kg ha⁻¹ (25.6%), y asimismo existió diferencia estadística a favor del nivel de 60,000 plantas ha⁻¹ cuando se compara con el de 50,000 plantas ha⁻¹, siendo esta diferencia de 1,113 kg ha⁻¹ (13.3%).

La diferencia encontrada entre los niveles de 50,000 y 40,000 plantas ha⁻¹ también es estadísticamente significativa con 1,033.8 kg ha⁻¹; es decir 14.2% más en rendimiento con las poblaciones de 50,000 en relación a la de 40,000 plantas ha⁻¹.

El rendimiento de semilla mostró una tendencia positiva al incrementar la densidad de población; las más altas fueron estadísticamente superiores. Feizbakhsh *et al.* (2007) mencionan que un mayor número de mazorcas garantiza un mayor rendimiento, aunque el tamaño de la mazorca disminuya. Resultados similares fueron reportados por Sprague (1985), Esehie (1992), Gutiérrez y Luna (2002), Blumenthal *et al.* (2003), Yasari (2012) y Cervantes *et al.* (2013), quienes

encontraron que usualmente el rendimiento de semilla se incrementa significativamente con el aumento en la densidad de población.

Ajamnouroozi y Bohrani (1998) mencionan que los cambios que se producen con el aumento de la densidad de plantas, incrementan los rendimientos al principio y luego descienden, y que estos cambios en realidad se presentan en forma de una parábola; además de que los bajos rendimientos a bajas densidades de siembra se deben a la escasez de plantas y en altas densidades de población provocan esterilidad. También afirman que la densidad de plantas en cada región está determinada por la competencia para la obtención de agua, luz y nutrientes.

Respecto al índice de intercepción de luz, Purcell *et al.* (2002) señalan que el incremento de la densidad de población conduce a una disminución en el uso eficiente de la radiación solar; y que si se considera que el uso eficiente de la radiación es constante y que la duración del ciclo del cultivo no está afectado por la densidad de plantas, el incremento de ésta podría acortar el tiempo requerido para alcanzar el mayor índice de intercepción de luz, aumentar la acumulación de la radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo y causar una mayor producción de biomasa en la maduración del cultivo.

Además del ciclo de cultivo, el potencial de rendimiento del maíz depende de la duración de las fases fenológicas (Bolaños y Edmeades, 1993) o de la duración del área verde fotosintéticamente activa (Fisher y Palmer, 1984).

En evaluaciones de tres dosis de fertilización y cuatro densidades de población (45, 60, 75 y 80 mil plantas ha⁻¹) en dos cruza simples de maíz, Espinosa y Tadeo (1992) mostraron que es recomendable utilizar la densidad de 60 mil plantas ha⁻¹ en lotes de producción de semilla donde las cruza simples se utilicen como progenitores hembra, ya que, además de tener un buen rendimiento de semilla, se facilita el manejo del cultivo.

Tadeo *et al.* (2012) concluyeron que existe efecto estadístico significativo favorable al manejar los híbridos en densidades de 70,000 plantas por hectárea con respecto a

50,000; el mayor rendimiento se obtuvo con la cruza simple del híbrido H-47, con 10,302 kg ha⁻¹ y la menor producción fue con la cruza simple de H-50 (8,974 kg ha⁻¹). Se encontró que la versión androestéril tuvo un rendimiento de 9,864 kg ha⁻¹, lo cual no fue diferente estadísticamente al rendimiento de la versión fértil que rindió 9,282 kg ha⁻¹.

Varias investigaciones han estudiado el efecto de la densidad de población en la producción de semilla de maíz (Gutiérrez y Luna 2002) indicando que la densidad óptima de plantas para producción de semilla puede variar entre 40 y 100 mil plantas ha⁻¹.

4.1.2 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y variables agronómicas

En el Cuadro 4 se observa que la fertilización nitrogenada (FER) a cualquier nivel, no muestra diferencia significativa para las variables: velocidad de aparición de flor masculina (VAFMAS), velocidad de aparición de flor femenina (VAFFEM), altura de planta (APLA) y altura de mazorca (AMAZ); la única variable en la que se encontraron diferencias estadísticas significativas, fue el rendimiento (REN) al considerar un 10% de probabilidad de error; la diferencia estadística resultó a favor del nivel de 70 kg ha⁻¹, aunque la diferencia en relación a los otros niveles, representan un máximo de 638.6 kg ha⁻¹, equivalente a solo 7.9% más en rendimiento.

Las diferencias entre los niveles 140, 210 y 280 kg ha⁻¹ de fertilización nitrogenada, no resultaron estadísticamente diferentes entre sí, ya que tan solo se encontró diferencia de 45.2 kg ha⁻¹ entre el nivel de 140 y el nivel 210, de 95.1 kg ha⁻¹ entre el nivel de 140 y el nivel de 280 kg y de 49.9 kg ha⁻¹ entre el nivel de 210 y el nivel 280 kg ha⁻¹.

Cuadro 4. Comparación de medias para el factor Fertilización Nitrogenada (FER) y su efecto sobre la evaluación de la producción del progenitor hembra.

FER (kg ha ⁻¹)	Variables dependientes				
	REN (kg ha ⁻¹)	VAFMAS (flor día ⁻¹)	VAFFEM (flor día ⁻¹)	APLA (cm)	AMAZ (cm)
70	8,108.8 a	12.948 a	14.999 a	223.73 a	120.13 a
140	7,565.3 b	11.720 a	13.239 a	218.37 a	118.06 a
210	7,520.1 b	11.849 a	13.756 a	219.44 a	116.69 a
280	7,470.2 b	10.716 a	11.872 a	218.00 a	115.87 a
DMS (p≤0.10)	484.99	4.3153	5.3114	0.0869	0.0771

FER: Fertilización nitrogenada, REN= Rendimiento; VAFMAS= Velocidad de Aparición de Flor Masculina, VAFFEM= Velocidad de Aparición de Flor Femenina, APLA= Altura de Planta, AMAZ= Altura de Mazorca, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Los resultados obtenidos difieren a los encontrados por Bravo y Chan (1987), Barbieri *et al.* (2000), Osborne (2002) y Blumenthal *et al.* (2003), quienes han señalado que el rendimiento de maíz responde favorablemente con el incremento en la fertilización nitrogenada.

En evaluaciones del efecto de la fertilización nitrogenada, se menciona que en maíz el peso del grano y el número de granos por mazorca están influenciados positivamente por la disponibilidad de nitrógeno (Lemcoff y Loomis 1986).

Tadeo *et al.* (2012) determinaron que en un suelo Vertisol Pelico de pH 6.5 al aplicar 170 kg de nitrógeno por hectárea se obtuvo mayor rendimiento (10,377 kg ha⁻¹) que en un suelo sin fertilizar (8,769 kg ha⁻¹). Asimismo, Espinosa y Tadeo (1992) señalan que la respuesta típica de las plantas a suelos de baja fertilidad conduce a la reducción de la cantidad de semilla producida, más que en su calidad. Por su parte Stamp *et al.* (2000), al comparar dos dosis de nitrógeno (0 y 200 kg ha⁻¹) en una cruz simple y otra trilineal de maíz obtenidas por androesterilidad o por desespigamiento, encontraron que el estrés ocasionado por la deficiencia de nitrógeno redujo el número de granos por mazorca, pero la interacción entre la androesterilidad y los niveles de nitrógeno no fue significativa.

4.2 Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla

4.2.1 Efecto de la profundidad de siembra sobre el vigor de la semilla

Los resultados del análisis de varianza aplicado a las variables respuesta velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE), longitud de mesocotilo (LM) y peso seco de parte aérea (PSPA), considerando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), se muestra en el Cuadro 5, donde se observa que las interacciones densidad de población×fertilización nitrogenada×profundidad de siembra (DEN×FER×PROF), densidad de población×fertilización nitrogenada (DEN×FER) y fertilización nitrogenada×profundidad de siembra (FER×PROF) no afectaron a ninguna de las variables respuesta.

Cuadro 5. Cuadrados medios y valor de probabilidad en las variables de vigor evaluadas.

FV	GL	VE	PE	LM	PSPA
DEN	3	0.0603 (0.8584)	175.53 (0.4944)	0.1695 (0.9905)	0.0605 (0.0956)
FER	3	0.0745 (0.8154)	275.82 (0.2902)	9.9703 (0.0956)	0.0429 (0.7087)
PROF	2	187.6265 ($<.0001$)	76666.85 ($<.0001$)	190.6008 ($<.0001$)	0.4989 ($<.0001$)
DEN×FER	9	0.2189 (0.5086)	198.71 (0.5196)	2.4937 (0.8429)	0.0108 (0.9394)
DEN×PROF	6	0.4375 (0.0956)	394.43 (0.1028)	1.4984 (0.9231)	0.0281 (0.4237)
FER×PROF	6	0.2105 (0.5069)	163.83 (0.3255)	8.2380 (0.1066)	0.0362 (0.2647)
DEN×FER×PROF	18	0.1897 (0.6989)	248.23 (0.6110)	3.1644 (0.8205)	0.0133 (0.9640)
Error	135	0.2376	218.64	4.6149	0.0280
R ²		0.93	0.86	0.49	0.39
C.V. (%)		20.83	23.02	38.70	48.91
Media		2.34	64.22	5.55	0.34

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, VE= Velocidad de Emergencia (plantas día⁻¹), PE= Porcentaje de Emergencia (%), LM= Longitud de Mesocótilo (cm), PSPA= Peso Seco de Parte Aérea (mg), DEN= Densidad de población (plantas ha⁻¹), FER= Fertilización nitrogenada (kg ha⁻¹), PROF= Profundidad de siembra (cm), CV= Coeficiente de Variación.

Así, el único factor que propició un alto afecto significativo en todas las variables respuesta fue profundidad de siembra (PROF).

Por otro lado, se encontró efecto al considerar un nivel de significancia del 10% de probabilidad de error ($\alpha=0.10$) en los siguientes factores: densidad de población (DEN) sobre el peso seco de parte aérea (PSPA), fertilización nitrogenada (FER) sobre longitud de mesocótilo (LM) y en la interacción densidad de población x profundidad de siembra (DEN x PROF) sobre velocidad de emergencia (VE).

Densidad de población y su efecto en el vigor

En el Cuadro 6 se observa que por efecto de la densidad de población (DEN) solo hay diferencias significativas para la variable peso seco de parte aérea (PSPA). La máxima diferencia estadística se presentó entre el nivel de 50,000 y el de 70,000 plantas ha⁻¹, con 76.86 mg (19.6%) a favor del nivel de 50,000; asimismo se presentó diferencia estadística entre el nivel de 50,000 y el de 40,000 plantas ha⁻¹, 18.8% a favor del nivel de 50,000 plantas ha⁻¹.

Cuadro 6. Comparación de medias para el factor Densidad de Población y su efecto en el vigor de la semilla.

DEN (plantas ha ⁻¹)	Variables dependientes			
	VE (plantas día ⁻¹)	PE (%)	LM (cm)	PSPA (mg)
50,000	2.34 a	61.42 a	5.56 a	392.38 a
60,000	2.37 a	65.28 a	5.59 a	341.96 ab
40,000	2.35 a	65.59 a	5.46 a	318.69 b
70,000	2.29 a	64.58 a	5.57 a	315.52 b
DMS (p≤0.10)	0.197	5.969	1.977	67.6

DEN: Densidad de población, VE= Velocidad de Emergencia; PE= Porcentaje de Emergencia, LM= Longitud de Mesocótilo, PSPA= Peso Seco de Parte Aérea, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Para la mayoría de las variables de calidad fisiológica de la semilla, los cambios en los niveles de densidad de población no mostraron efectos significativos; resultados que coinciden con los reportados por Jocely (1979), Espinosa y Tadeo (1992) y

Martínez *et al.* (2005) quienes encontraron que la densidad de población de plantas no tiene efecto en la calidad de la semilla producida.

Raya *et al.* (2012) concluyen que el atributo fisiológico vigor no fue influenciado por las densidades de población utilizadas en los genotipos hembra de 2 híbridos sembrados, por lo que el comportamiento del atributo evaluado debe ser controlado genéticamente; ya que el vigor no mostró diferencias estadísticas significativas cuando se modificó la densidad de población.

Fertilización nitrogenada y su efecto en el vigor

Para el caso del factor fertilización nitrogenada (FER), se observa (Cuadro 7) que solo hubo efecto estadístico significativo sobre longitud de mesocótilo (LM). La máxima diferencia estadística resultó a favor del nivel de 280 kg ha⁻¹ cuando se compara con el nivel de 70 kg ha⁻¹ (1.09 cm) con 17.8% más de longitud.

Cuadro 7. Comparación de medias para el factor Fertilización Nitrogenada y su efecto en el vigor de la semilla.

FER (kg ha ⁻¹)	Variables dependientes			
	VE (plantas dia ⁻¹)	PE (%)	LM (cm)	PSPA (mg)
280	2.319 a	64.74 a	6.13 a	341.69 a
140	2.359 a	65.28 a	5.62 ab	356.04 a
210	2.385 a	66.13 a	5.40 ab	319.19 a
70	2.297 a	60.73 a	5.04 b	351.62 a
DMS (p≤0.10)	0.196	5.97	0.87	67.60

FER: Fertilización nitrogenada, VE= Velocidad de Emergencia; PE= Porcentaje de Emergencia, LM= Longitud de Mesocótilo, PSPA= Peso Seco de Parte Aérea, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

En la mayoría de las variables analizadas, los cambios en los niveles de fertilización nitrogenada no mostraron efectos significativos; así, estos resultados coinciden con los reportados por Jocely (1979), Espinosa y Tadeo (1992) y Martínez *et al.* (2005) quienes encontraron que la aplicación de diferentes dosis de fertilización nitrogenada no muestra efecto en la calidad de la semilla producida.

Delouche, (1980) menciona que cuando no se encuentra influencia de la fertilización nitrogenada en la calidad fisiológica de las semillas, se debe al hecho de que las plantas tienen la tendencia a reaccionar ante el menor grado de disponibilidad de los nutrientes priorizando la preservación de la especie; es decir, producir menos semillas pero con calidad.

Por su parte, Mateus *et al.* (2012) no encontraron efecto de la fertilización nitrogenada sobre la calidad fisiológica de semillas de trigo al medir las variables emergencia en campo, prueba de germinación y peso seco de plántulas, en un experimento en donde se aplicó nitrógeno al suelo a razón de 20 kg ha⁻¹ y cuatro niveles de fertilización foliar (0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹); los resultados obtenidos por este autor corroboran los obtenidos en otros cultivos, tales como avena negra (Silva *et al.*, 2001), avena blanca (Kolchinski y Schuch, 2004) y arroz (Souza *et al.*, 2010); y contrario a los resultados obtenidos por Abrantes *et al.* (2010) en semillas de mijo e Imolesi *et al.* (2001) en semillas de maíz.

Imolesi *et al.* (2001) encontraron que la fertilización nitrogenada influye en la calidad fisiológica de las semillas de híbridos y líneas de maíz, y mencionan que el resultado de este atributo en la semilla producida dependerá en igual medida del ambiente de producción. Además, observaron que parte de las plántulas procedentes de semillas producidas con el nivel de nitrógeno más alto, presentaron plúmula corta, cuya longitud no llegó a la mitad de la altura del coleóptilo; concluyen que para algunos materiales un aumento en la fertilización nitrogenada propicia una reducción del vigor de las semillas producidas, aumentando así el número de plantas anormales.

Por otro lado, Maior *et al.* (2008) encontraron que cuando se incrementaron los niveles de nitrógeno de liberación lenta (120 kg ha⁻¹), la semilla producida tenía mayor emergencia en campo durante la evaluación de la respectiva calidad fisiológica; explican que el nitrógeno liberado lentamente y disponible durante todo el ciclo de cultivo, permitió una formación adecuada de las proteínas almacenadas en la semilla.

Se sabe que los altos niveles de nitrógeno pueden alterar la absorción de fósforo por la planta (Marmaril y Miller, 1970); lo cual lleva a tomar en consideración que en plantas deficientes de fósforo, la disponibilidad de energía en forma de trifosfato de adenosina (ATP, por sus siglas en inglés) puede disminuir; con esto la absorción de nitrato activo puede verse afectada (Rufty Júnior *et al.*, 1990).

Al respecto Carbalho y Nakagawa (2000) mencionan que el aumento en el porcentaje de germinación en función de las dosis de nitrógeno se debe principalmente a la relación que este nutriente guarda con la formación del embrión y los órganos de reserva.

Profundidad de siembra y expresión del vigor

En el Cuadro 8 se observa que la profundidad de siembra (PROF), tuvo efecto estadístico significativo sobre las variables velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE), longitud de mesocótilo (LM) y peso seco de parte aérea (PSPA).

Cuadro 8. Comparación de medias en cuatro parámetros que evalúan el vigor de la semilla.

PROF (cm)	Variables dependientes			
	VE (plantas día ⁻¹)	PE (%)	LM (cm)	PSPA (mg)
4	4.09 a	95.26 a	3.59 b	441.84 a
8	2.25 b	70.50 b	6.22 a	310.72 b
12	0.67 c	26.89 c	6.84 a	273.84 b
DMS (p≤0.10)	0.52	17.13	1.10	67.60

PROF= profundidad de siembra, VE= Velocidad de Emergencia, PE= Porcentaje de Emergencia, LM= Longitud de Mesocótilo, PSPA= Peso Seco de Parte Aérea, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

En las variables velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia, se encontró una tendencia a mostrar los mayores valores conforme el nivel de profundidad descende; asimismo esta tendencia se mantiene para la variable peso seco de parte aérea. Para el caso de la variable longitud de mesocótilo, como era de esperarse, la tendencia es inversa, es decir, los mayores valores se obtienen conforme asciende el nivel de profundidad evaluado.

Cuando se analiza a la variable velocidad de emergencia, comparando al nivel de 4 cm con el nivel de 8 cm, se observa una diferencia estadística de 1.84 días planta⁻¹; en tanto que, cuando se compara al nivel de 4 cm con el de 12 cm, la diferencia es mayor (3.42 días planta⁻¹). Entre los niveles de 8 y 12 cm la diferencia estadística encontrada es de 1.58 días planta⁻¹ en velocidad de emergencia.

Finalmente en la variable porcentaje de emergencia se encontró que al comparar al nivel de 4 cm con el nivel de 8 cm, se observa una diferencia estadística de 24.75% más en el porcentaje de emergencia con el nivel de 4 cm, y si se compara con el de 12 cm, la tendencia es aún mayor, toda vez que fue de 68.4%. Entre los niveles de 8 y 12cm, la diferencia estadística encontrada es de 43.6% más con el nivel de 8 cm.

La misma tendencia se presenta con la variable peso seco de parte aérea, en donde al comparar los niveles de 4 cm con los de 8 y 12 cm, se observan respectivamente, diferencias estadísticas de 24.75 y 68.45% favorable a la menor profundidad. Igual comportamiento se observa al comparar al nivel de 8 cm con el de 12 cm, que muestra una diferencia estadística de 43.6%.

En cuanto a la variable longitud de mesocótilo, al comparar al nivel de 12 cm con el de 8 cm, no se observa diferencia estadística significativa, aunque numéricamente la mayor longitud de mesocótilo se obtuvo con el nivel de 12 cm, con una diferencia de tan solo 0.62 cm. Entre los niveles de profundidad de 12 y 4 cm, la tendencia es a establecer una diferencia estadística, en cuyo caso fue de 3.25 cm o 47.5% más con el nivel de 12 cm. Comparando los niveles de 8 y 4 cm, la diferencia estadística encontrada es de 2.63 cm o 42.3% más en la menor profundidad.

Al respecto, muchas investigaciones han coincidido en demostrar que el tamaño de la semilla definirá en gran medida el nivel de expresión del vigor; es decir, existe una fuerte correlación entre el tamaño de la semilla y su vigor. Por su parte, Ambika *et al.* (2014), señalan que la variación genética es la causa de las diferencias en el tamaño de las semillas entre variedades; y que la variación en tamaño se debe a la cantidad de flujo de nutrientes en la semilla desde la planta madre; mencionan

asimismo que la testa y el eje embrionario son los primeros en desarrollarse en una semilla, mientras que la acumulación de sustancias de reserva se produce más tarde.

Por otro lado, Orosco (1993) menciona que la profundidad de siembra tiene un efecto directo en el aprovechamiento del agua del suelo al momento de la imbibición, por lo que influye en el porcentaje y en la velocidad de emergencia de una semilla, así como en el vigor de las plántulas.

Cuellar (1985) encontró que la profundidad de siembra influye notablemente en el establecimiento del frijol, ya que observó una reducción en la velocidad y porcentaje de emergencia a medida que aumenta la profundidad de siembra; menciona además, que los efectos negativos de la profundidad de siembra, se presentan a partir de 12 cm.

En este contexto se confirma lo indicado por Heydecker (1972), quien establece que cuando las condiciones para la germinación de las semillas son favorables, el vigor alcanza mejor expresión, a través de una mayor longitud de las estructuras de las plántulas.

Efecto de densidad de población y profundidad de siembra en el vigor

En la Figura 2 se observa que al evaluar la velocidad de emergencia (VE) mediante el factor profundidad de siembra (PROF), existe un efecto de interacción de este factor con el origen de la semilla en función de la densidad de población (DEN).

De manera general se observa una tendencia negativa, donde todos los niveles de densidad de población disminuyeron la velocidad de emergencia al aumentar los niveles de profundidad de siembra. El máximo valor lo presenta 40,000 plantas ha⁻¹ en el nivel de profundidad de 4 cm; valores similares presentan los demás niveles de densidad de población.

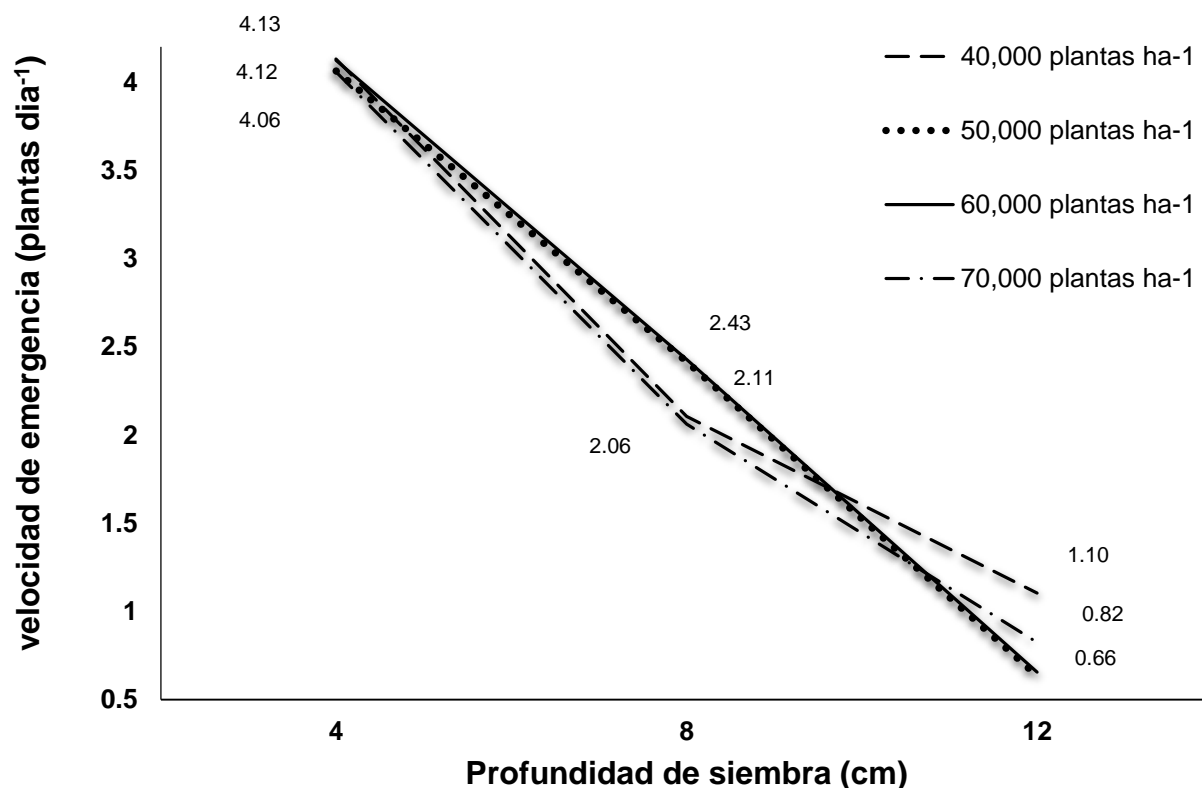


Figura 2. Velocidad de emergencia (VE) en semilla del híbrido trilineal HS-2 obtenida en cuatro densidades de población.

Cuando los niveles de densidad de población pasan de la profundidad de siembra de 4 a la de 8 cm, la velocidad de emergencia disminuye en mayor proporción en los niveles de 40,000 y 70,000 plantas ha⁻¹ que en los de 60,000 y 50,000 plantas ha⁻¹; los niveles de 40,000 y 70,000 plantas ha⁻¹ disminuyen un aproximado de 49%, mientras que en los niveles de 50,000 y 60,000 plantas ha⁻¹ hay una disminución de 41%.

Cuando el paso es de los niveles de profundidad de siembra de 8 al de 12 cm, la disminución en la velocidad de emergencia es contraria a lo observado durante el paso de los niveles de 4 a 8 cm; toda vez que los niveles de 40,000 y 70,000 plantas ha⁻¹ son los que disminuyen en menor proporción que los niveles de 60,000 y 50,000 plantas ha⁻¹; el nivel de 40,000 disminuye un 47% y el nivel de 70,000 plantas ha⁻¹ un 59%, mientras que el nivel de 60,000 disminuye hasta en un 73% la velocidad de emergencia. El nivel de 50,000 presenta similar porcentaje de disminución respecto

al nivel de 60,000 plantas ha^{-1} cuando se pasa de 8 al de 12 cm en la profundidad de siembra.

Al hacer una comparativa del paso de los niveles de profundidad de siembra de 4 al de 12 cm, los niveles de 60,000 y 70,000 plantas ha^{-1} disminuyen la velocidad de emergencia hasta en un 84%, mientras que los niveles de 70,000 y 40,000 plantas ha^{-1} un 79% y 73% respectivamente.

A este respecto, queda confirmado que el oxígeno es uno de los principales factores que afectan el proceso de germinación y que al aumentarse la profundidad de siembra, la cantidad de este elemento disminuye en una relación inversamente proporcional; siendo el substrato requerido por la respiración para producirse energía, la cual es necesaria para que ocurra la germinación (Tayler, 1997). Al producirse la imbibición se propicia un incremento por demás importante en la intensidad de la actividad metabólica, donde la respiración es la primera actividad en ser detectada (Bewley, 1997). Al reiniciarse la actividad respiratoria, ocurre un importante incremento en el consumo de oxígeno al activarse las enzimas del ciclo de Krebs, así como los procesos glicolíticos y oxidativos de la pentosa fosfatasa (Bewley, 1997); por lo tanto la germinación de las semillas en un ambiente con déficit de oxígeno permite diferenciar la condición de vigor de las mismas; es decir, al disminuir el oxígeno en la atmósfera disminuye la capacidad germinativa, siendo afectadas aquellas semillas menos vigorosas, que al tener sus mitocondrias deterioradas, tendrán mayores dificultades para reiniciar su actividad respiratoria.

4.2.2 Efecto del medio salino sobre el vigor de la semilla

Los resultados del Análisis de Varianza aplicado a la variable dependiente índice de vigor (IV), se muestran en el Cuadro 9, donde se observa que, no hubo efectos significativos del factor fertilización nitrogenada (FER) ni en la interacción densidad de población x fertilización nitrogenada (DEN x FER), el único factor que afectó significativamente a la variable dependiente fue la densidad de población (DEN).

Cuadro 9. Cuadrados medios y valor de probabilidad en la evaluación del vigor de la semilla en medio salino.

FV	GL	Cuadrado medio	Pr>f
DEN	3	2.2334	(0.0012)
FER	3	0.6557	(0.1526)
DEN×FER	9	0.2011	(0.8174)
Error	45	0.3554	
R ²		0.424263	
C.V. (%)		27.00096	
Media		2.07813	

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, DEN: Densidad de población, FER: Fertilización nitrogenada, CV= Coeficiente de variación.

Densidad de Población y su efecto en el vigor

Para el caso del factor densidad de población, en el Cuadro 10 se observa efecto estadístico significativo sobre la variable Índice de vigor (IV).

Cuadro 10. Comparación de medias para el factor Densidad de Población y su efecto en el vigor de la semilla.

Densidad de población (plantas ha ⁻¹)	Índice de vigor (puntos)
70,000	2.67 a
60,000	2.30 ab
50,000	1.95 b
40,000	1.88 b
DMS (p≤0.10)	0.4245

DMS= Diferencia Mínima Significativa.

El comportamiento de la variable índice de vigor respecto al factor densidad de población, presentó la máxima diferencia entre 70,000 y 40,000 plantas ha⁻¹ con 0.8125 puntos, es decir, 30.1% más en el índice de vigor; asimismo hubo diferencia estadística entre el nivel de 70,000 y el nivel de 50,000 plantas ha⁻¹, 27.7% a favor del nivel de 70,000 plantas ha⁻¹. La diferencia entre los niveles de 70,000 y de 60,000 plantas ha⁻¹, no resultó estadísticamente significativa, aunque fue superior en 70,000 plantas ha⁻¹ con 0.3939 puntos (14.7%). De igual forma no existió diferencia estadística entre el nivel de 60,000 y 40,000 plantas ha⁻¹, sin embargo la diferencia favorece al nivel de 60,000 con tal solo 0.4156 puntos (18%). La diferencia entre los

niveles de 60,000 y de 50,000 plantas ha⁻¹ fue de 0.35 puntos a favor del nivel de 60,000 (15.2%). Por último, tampoco se encontró diferencia estadística entre el nivel de 50,000 y el nivel de 40,000 plantas ha⁻¹, ya que tan solo se observó una diferencia de 0.066 puntos (3.4%) más en el índice de vigor con 50,000 plantas ha⁻¹.

A este respecto, los resultados encontrados no coinciden con lo reportado por Raya *et al*, (2012), quienes en la evaluación de la calidad fisiológica de semilla de maíz de 2 progenitores hembra sembrados a diferente densidad de población, encontraron que el atributo fisiológico germinación no mostró diferencias estadísticas significativas, y mencionan que éste podría estar controlado genéticamente.

Las diferencias estadísticas y numéricas encontradas entre los niveles de densidad de población evaluados, puede deberse a la mayor o menor velocidad de desdoble de reservas en la semilla, influida por el tipo de iones presentes en el medio salino. Al respecto Ashraf y Rauf (2001) en un estudio de osmoacondicionamiento de semillas de maíz, encontraron que mediante el uso de soluciones de NaCl, KCl, y CaCl₂, se aumenta la velocidad y el porcentaje final de germinación en condiciones de estrés salino, además se incrementa la biomasa final de plúmulas y radículas. Sin embargo, Dodd y Donovan (1999) mencionan que un incremento de la salinidad en el medio, generalmente reduce la germinación. Dos procesos regulan esta reducción: los efectos osmóticos debidos a una disminución del potencial de solutos del medio, creando un estrés hídrico para la semilla y los efectos iónicos debidos a la absorción y/o acumulación de iones por la semilla durante la imbibición. Por su parte, Bradfor (1995) menciona que durante la imbibición, la semilla puede absorber sales del medio debido al bajo peso molecular de estas, y que esto, en la mayoría de los casos resulta toxico.

V. DISCUSION GENERAL

Los aspectos más importantes a considerar en la producción de semilla híbrida de maíz, son las condiciones en las que se establecen los progenitores para obtener buenos resultados; de éstas, en lo general, las características edáficas y climáticas son determinantes; y de manera particular debe considerarse el manejo del cultivo, el cual ha sido estudiado y analizado, a partir de que existen respuestas diferenciales que son determinadas por efectos genéticos y de interacción genotipo por ambiente.

En esta investigación se estudió el efecto de la densidad de población y de la fertilización nitrogenada, sobre el rendimiento y la calidad fisiológica de la semilla del híbrido de maíz HS-2.

Para la evaluación en campo fueron consideradas las siguientes variables respuesta: rendimiento, distribución espacial y fechas en la aparición de las inflorescencias masculina y femenina, altura de planta, y altura de mazorca; mientras que para la evaluación de la calidad fisiológica en condiciones de invernadero, se consideraron cuatro variables para determinar el vigor: velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, longitud de mesocótilo y peso seco de parte aérea; y solo una sola variable para la evaluación en laboratorio: índice de vigor.

Cabe destacar que la tendencia de los resultados indica que con 70,000 y 60,000 plantas ha^{-1} se obtienen los mayores rendimientos. De igual manera, la dosis mínima de fertilización nitrogenada (70 kg ha^{-1}), muestra un comportamiento similar, debido a que la nutrición de la planta queda satisfecha con dosis más reducidas; sin embargo, es conveniente seguir con registros constantes del manejo de la fertilización, con la finalidad de conocer el comportamiento del progenitor hembra, con el propósito de mantener el nivel óptimo del rendimiento, ya que la variación de la fertilidad en el medio edáfico es cambiante de manera permanente.

También es importante destacar que, aun cuando en apariencia el predio en el que se estableció el experimento, muestra similitudes en sus condiciones edáficas, fue posible observar una variación significativa en el resultado obtenido al aplicar

amplios intervalos de dosificación de nitrógeno, que en apariencia debieran establecer diferencias significativas, mismas que no se dieron, ya que solamente se logran evidenciar algunas tendencias, sin que haya un efecto significativo sobre el rendimiento.

Por otro lado, la tendencia de los resultados de la evaluación de la calidad fisiológica de la semilla, respecto al comportamiento del vigor, establecen que prácticamente con cualquiera de los niveles de densidad de población de plantas, se obtiene igual velocidad de emergencia, porcentaje de germinación y longitud de mesocótilo; solo el peso seco de parte aérea es favorecido cuando se emplea 50,000 plantas ha⁻¹. Respecto a los niveles de fertilización nitrogenada, el de 280 kg ha⁻¹, define la mayor longitud de mesocótilo. De lo anterior se infiere que algunas características de la calidad de las semillas están influenciadas por el ambiente de producción; así, genotipo, clima, suelo y manejo resultan determinantes para la obtención de una buena semilla.

De manera particular debe destacarse que en el manejo de la producción de semilla de maíz, la densidad de población es entre otras, la de mayor importancia por su efecto directo en la calidad física de la semilla; mientras que con una fertilización óptima se consigue una buena calidad fisiológica. A este respecto, se ha encontrado que mediante el uso de cruza simples de maíz, se ha logrado una mayor producción de materia seca que la obtenida de las líneas progenitoras y que la fertilización de la planta madre influye directamente en el vigor de la semilla.

Es importante señalar que para discutir sobre el vigor de la semilla, deben considerarse los efectos que resultan de los siguientes factores: genéticos, ambientales, etapa o grado de madurez de la semilla, tamaño y peso específico, daños mecánicos, edad y deterioro, y ataque de microorganismos.

En esta investigación se encontró que, al considerar de manera particular a las variables respuesta en la evaluación del vigor; la velocidad de germinación no mostró diferencias estadísticas, de tal manera que el efecto de los niveles de manejo en

densidad de población de plantas y de fertilización nitrogenada al progenitor femenino no correlacionan con las diferencias encontradas estructuralmente en las plántulas de las semillas evaluadas; tal es el caso de la longitud del mesocótilo; lo que resulta contrario a lo establecido como regla, respecto a que los cambios de énfasis en los criterios de la evaluación de la calidad fisiológica, tales como velocidad de germinación y de desarrollo de plántulas, correlacionan con criterios morfológicos y estructurales de las plántulas.

Por otro lado, se tiene que la tendencia del índice de vigor, muestra que con el nivel de 70,000 plantas ha⁻¹, se obtiene la máxima expresión de este carácter en semilla del híbrido HS-2; lo cual hace suponer que una mayor cantidad de plantas por superficie, favorece el que la semilla producida presente mayor vigor; sin embargo, no hay que olvidar que adicionalmente debe contemplarse que son en su conjunto las condiciones de manejo, la herencia y el ambiente, los que determinan el que una semilla presente alto o bajo grado de germinación y vigor. Asimismo, hay que tomar en cuenta lo que algunos autores mencionan, en el sentido de que el proceso de deterioro de la semilla juega un papel importante en su calidad fisiológica, y que está determinado principalmente por la interacción que existe entre el componente genético de la variedad, el contenido de humedad de la semilla y, la temperatura y humedad relativa del ambiente en que se encuentre el material. Al respecto se puede mencionar que la condición de manejo en la cosecha y en la primera fase del acondicionamiento de la semilla, se realizaron con un adecuado contenido de humedad, y asimismo se dio un tratamiento cuidadoso durante el secado y en la clasificación de la semilla por forma y tamaño.

Finalmente, es importante mencionar que todo el esfuerzo y dedicación para lograr una semilla de buena calidad, a partir de un buen manejo postcosecha; durante el acondicionamiento, o en el almacenamiento, a pesar de esmerarse en buscar condiciones óptimas; suelen darse acciones inapropiadas en el secado y/o en el control de plagas de almacén, entre otros; que podrían propiciar efectos de deterioro, que dieran lugar a posibles daños en el sistema de membrana celular; es decir, los mecanismos energéticos y de síntesis se ven afectados y con ello disminuyen tanto

la tasa respiratoria como la actividad de muchas enzimas. La reducción en la producción de energía y en la biosíntesis, produce de manera general un efecto sobre la germinación y el crecimiento y desarrollo de las plántulas. A medida que el deterioro avanza, la resistencia o tolerancia de las semillas a las condiciones ambientales desfavorables disminuye, lo que conlleva a una pérdida de la capacidad germinativa y de la expresión del vigor.

VI. CONCLUSIONES

El rendimiento más alto de semilla beneficiada (8.7 t ha^{-1}) se obtuvo con la densidad de población de $70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$, en tanto que por efecto de la fertilización nitrogenada el rendimiento superior (8.1 t ha^{-1}) se obtuvo con el nivel más bajo (70 kg ha^{-1}).

De manera general, ninguno de los cuatro niveles de densidad de población y de fertilización nitrogenada influyeron en la calidad fisiológica de la semilla del híbrido HS-2.

En la evaluación del vigor a tres profundidades de siembra, solo hubieron efectos significativos en peso seco de parte aérea y en longitud de mesocótilo, respectivamente por el efecto de la densidad de población y de la fertilización nitrogenada.

La prueba de vigor utilizando solución salina, evidenció que con $70,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ se obtuvo el mayor índice de vigor en semilla de maíz del híbrido HS-2.

La solución salina a una concentración de 15 dS m^{-1} permitió diferenciar por su vigor a semillas obtenidas de los 16 tratamientos bajo estudio.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abrantes, F.L., Kulczynski, S.M., Soratto, R.P., Barbosa, M.M.M. 2010. Nitrogênio em cobertura e qualidade fisiológica e sanitária de sementes de painço (*Panicum miliaceum* L.). Revista Brasileira de Sementes, v.32, n.3, p.106-115. Consultado el 14 de agosto de 2015 en: <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v32n3/v32n3a12.pdf>
- Adler, I.D., Sabih J. and Würglar. 1987. Screaming for possible human carcinogens and mutagens: a symposium reporte: Mut. Res. 213: 27-39.
- Ajamnouroozi H., and Bohrani J. 1998. The effects of planting configuration and plant density on the yield and yield components of the late maturing grain corn cultivar of S.C 704 and the intermediate maturing corn cultivar of S.C 704 in the region of Aliabad Kamin in the province of Fars. In Proceeding 5th Congress of Iranian Agronomy and Plant Breeding. Karaj, Iran. p. 380.
- Ambika S., Manonmani V., and Somasundaram G. 2014. Review on Effect of Seed Size on Seedling Vigour and Seed Yield. Research Journal of Seed Science, 7: 31-38. DOI: 10.3923/rjss.2014.31.38 URL: <http://scialert.net/abstract/?doi=rjss.2014.31.38>
- Anderson, J.D. 1973. Metaloc changes associated with senescence. Seed Sci. and Technol, 1: 401-406.
- Andrade, B.H.J. 1992. Mejoramiento de semilla de maíz y su relación con emergencia y rendimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de genética, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 98 pp.
- AOSA (Association of Official Seed Analysts). (1993). Seed vigour testing handbook. Contribution No: 32 to the Handbook on Seed testing. 93 p.
- Arellano, R.I.J. 1996. Efecto de fitopatógenos trasmitidos por semilla en el comportamiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el altiplano de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 89 pp.
- Artola, M.A. 1983. Influencia del genotipo y prácticas culturales en la producción de semilla hibrida de sorgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 94 p.
- Ashraf M., and Rauf H. 2001. Inducing salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) through seed priming with chloride salts: Growth and ion transport at early growth stages. Acta Physiol. Plant. 23: 407–414.
- Barbieri P., Sainz H., Andrade F., and Echeverria H. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. Agronomy Journal 92:283-288.
- Basavarajappa, B.S., and Shetty, H.S. 1991. Membrane deterioration and other biochemical changes associated with accelerated ageing of maize seed. Seed Sci. and Technol, 19: 279-286.
- Basu, R.N. 1995. Seed viability. In: Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. A.S. Basra. (ed) Food products Press, New York, U.S.A. pp: 1-4.

- Bawley, D.J. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*. 9 (7): 1055-1066.
- Bennett, M.A. 2002. Saturated salt accelerated aging (SSAA) and other vigor test for vegetables seeds. p 188-198., In: McDonald, M.B., y S. Contreras (ed.). seeds: trade, production and Tecnology. Proceedings international Seed Seminar. Colección de extensión. Facultad de agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. 15-16 octubre. Santiago, Chile.
- Besnier, R.F. 1989. Semillas, biología y tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 637 p.
- Bidwell, R.G.S. 1990. Fisiología Vegetal. A. G. T. editor. Pag: 245-192.
- Blumenthal, J., Lyon, D., Stroup, W. 2003. Optimal plant population and nitrogen fertility for dryland corn in western Nebraska. *Agronomy Journal* 95:878-883.
- Bolaños J. y Edmeades, G.O. 1993. La fenología del maíz. Síntesis de resultados experimentales del Programa Regional de Maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Guatemala, Guatemala, C. A. Vol. 4:251–261.
- Bommer, D.F.R. 1991. The historial development of international collaboration in plant genetic resources. In Th J.L., van Hintun, L. Frese and P.M. Peerer (eds), Searching for New Concepts for Collaboration Genetic Resources Management: Pepers of the EUCARPIA/IBPGR Symposium. International Board for Plant Genetic Resources. Pp3-12.
- Bradford, K.J. 2004. Seed production and Quality. Department of Vegetable Crops. University of California. Davis, California, U.S.A. 134 p.
- Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. In: Seed development and germination. J. Kigel and G. Galili (eds). Marcel Dekker. New York, U.S.A. PP: 351-396.
- Brauer, H.O. 1969. Fitogenética aplicada: los conocimientos de la herencia vegetal al servicio de la humanidad. Editorial LIMUSA. México D .F. 518 pp.
- Bravo A., and Chan J. 1987. Relaciones agua-suelo-planta atmósfera del maíz de riego en zonas semiáridas. I. Rendimiento de grano. *Terra* 5(2):132-139.
- Bringel, J.M.M., Moraes, M.H.D., Menten, J.O.M., and Bedendo, I.P. 2001. Qualidade sanitária e fisiológica de sementes de soja produzidas na Regiã de Balsa, Maranhão. *Summa Phytopathologica, Jaboticabal* 27 (4): 438-441.
- Burris, J.S. 1977. Effect of location of production and natural material parentage seeding vigour in hybrid maize (*Zea mays* L.). *Seed Sci. and Technol.* 5: 703-708.
- Capetillo, B.A. 2008. Aplicación de un modelo conceptual de fertilización para estimar el requerimiento de nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.). Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados, Tepetates, F.M. Altamirano, Veracruz. 89 p.
- Caro, V.J. 1987. Estudio metodológico para determinar formulas optimas de producción de semillas de maíz de buena calidad. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 80 pp.

- Carvalho, N.M. e Nakagawa J. 2000. Sementes: ciência tecnologia e produção. Jaboticabal: FUNEP, 588p.
- Cervantes, O.F., Covarrubias, P.J., Rangel, L.J.A., Terrón, I.A.D., Mendoza, E.M., y Preciado, O.R.E. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 24 (1): 101-110.
- Ching, T.M. 1973. Biochemical aspects of seed vigor. *Seed Sci. and Technol.* 1(1):73-88.
- Chirinos, U.H. 1999. Recomendaciones de la fertilización potásica. En *Informaciones Agronómicas. Edición para México y Norte de Centroamérica. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Volumen 3 numero 5 febrero de 1999. Página 2 y 3.* Consultado el 21 de agosto de 2015 en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/E535FOC1206E6B0C06256AE8005B51B7/\\$file/IA+COM+3-4.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/E535FOC1206E6B0C06256AE8005B51B7/$file/IA+COM+3-4.pdf)
- Copeland, L.D. 1976. *Principles of seed science and technology.* U.S.A. Burgess Publishing Co. 369 p.
- Copeland, L.O. and McDonald, J.K. 1995. *Principles of seed science and technology.* Third edition. Chapman and Hall. New York, U.S.A. 280 p.
- Cruz, G.F., González, H.V.A., Molina, M.J., Vázquez, R.J.M. 1995. Seed deterioration and respiration as related to ADN metabolism in germination maize. *Seed Sci. and Technol.* 23: 477-486.
- Cuellar, D.G. 1985. Efecto de la profundidad de siembra sobre el vigor de las plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León. 65 pag.
- Curtis, D.L. 1980. Some aspects of *Zea mays* L. (Corn) seed production in the USA. In: P. D. Hebblethwaite (Ed.) *Seed production.* Butterworths. Publishers. USA. p 389-400.
- Delgado, G.C. 2003. Energía, sistema alimentario moderno y salud. *El Catoblepas.* Volumen (19): 15. Consultado el 28 de marzo de 2015 en: <http://www.nodulo.org/ec/index.htm>
- Delouche, J.C. 1980. Environmental effects on seed development and seed quality. *Hort Science*, v.15, n.6, p.775-780, 1980.
- Dickson, M.H. 1980. Genetics aspects of seed quality. *Hort. Sci.*, 15(6): 771-774.
- Diffus C. y Slaughter C. 1980. Las semillas y sus usos. Traducción del inglés por F. Márquez S. AGT Editor, S.A. México, D.F. p 88-89.
- Dobzhansky T. 1982. *Genetics and the origin of species.* Columbia University Press. Series: The Columbia Classic in Evolution. New York. 364 p.
- Dodd G. y Donovan L. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany* 86(8):1146-1153.
- Doijode, S.D. 2001. *Seed Storage of Horticultural Crops.* Haworth Press. New York, U.S.A. 339 p.
- Domínguez, V.A. 1997. *Tratado de fertilización.* 3a. ed. Mundi-Prensa. México, D. F., México. 613 p.

- Elder, R.H., and Osborne, D.J. 1993. Function of DNA synthesis and DNA repair in the survival of embryos during early germination and dormancy. *Seed Sci. Res.* 3: 43-43.
- Esechie H. 1992. Effect of planting density on growth and yield of irrigated maize (*Zea mays*) in the Batinah Coast region of Oman. *Journal of Agricultural Science* 119:165-169.
- Espinosa A., y Tadeo M. 1992. Producción de semilla del híbrido doble de maíz en respuesta a la fertilización nitrogenada y densidad de población. *Rev. Fitotec. Méx.* 15:1-9.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Semillas en emergencia, manual técnico. Estudio FAO producción y protección vegetal 202. Roma, Italia. 85 pp. Consultado el 20 de septiembre de 2015 en: <http://www.fao.org/docrep/015/i1816s/i1816s00.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) FOASTAT. 2007. Central de datos estadísticos de consumo. Consultado el 28 de marzo de 2015 en: <http://foostat.fao.org/site/345/default.aspx>
- Farrás T. 2011. Criterios de evaluación de plántulas de *Glycine max* (Soja) según el sustrato utilizado en el análisis de germinación. Instituto Nacional de Semillas (INASE). Serie de Divulgación Técnica No. 4. Consultado el 14 de octubre 2015 en: <http://www.inase.org.uy/files/docsb3f54297b8d3f9b9.pdf>
- Fay, A.M., McDonald, M.B., and Still, S.M. 1993. Vigor testing of *Rudbeckia fungida* Seed. *Seed Science and Technol*, 21, 2, 453-462.
- Feistritzer, W.P. 1979. Situación mundial de las semillas. In: mejoramiento de la producción de semillas. Colección FAO, Producción y protección vegetal. Roma, Italia. No. 15: 1-9.
- Feizbakhsh M., Nemati H., Mokhtarpour A., Mossavat A., Saberi F., Sheikh F. 2007. The effect of eliminating shoots and that of plant density on the yield and its components of sweet corn. *Journal of Constructive Research in Agronomy and Horticulture* 77:66-69.
- Ferguson J. 1995. An Introduction to seed vigour testing. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, Copenhagen, Zurich: International Seed Testing Association. Pp 1-9.
- Fisher, K.S., and Palmer, A.F.E. 1984. Tropical maize. In: Goldsworthy, P. R. and Fisher, N. M. (eds.). *The Physiology of tropical field crops*. John Wiley & Sons. New York., U.S.A. p 213-248.
- Flores, H.A. 2004. Introducción a la tecnología de las semillas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 160 p.
- Fuentes, Y.J.L. 2002. Manual práctico sobre utilización se suelo y fertilizantes. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Mundi Prensa. Madrid, España. 155pp.
- González, M.A. 2004. Patógenos fúngicos prevalentes en granos de maíz en la zona maicera núcleo Argentina. *Revista de Investigaciones*. No. VI. Facultad Ciencias Agrarias. Buenos Aires, Argentina.

- Gutiérrez G., Cruz, F., Moreno J., González-Hernández V.A., and Vázquez-Ramos J. M. (1993). Natural and artificial seed ageing in maize: germination and DNA synthesis. *Seed Sci. Res.* 3: 279-282.
- Gutiérrez R., Luna M. 2002. Riego, densidad de plantas y fertilización nitrogenada en producción de híbridos de maíz en Zacatecas. *Agricultura Técnica en México* 28(2):95-103.
- Harrington, J.F. 1973. Biochemical basis of seed longevity. *Seed Sci. and Technol*, 1(2): 453-461.
- Hernández, X.E. 1972. Exploración etnobotánica de maíz. *Fitotecnia Latinoamericana* 8:46-51.
- Hernández, J.A., Carballo A., Hernandez A., Gonzalez, F.V. 2000. Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición de vigor en semillas de maíz. *Revista Fitotecnia mexicana*, 23: 239-250.
- Hernández, L.A. 1985. Efecto de la fertilización y densidad de población en el rendimiento y calidad de semilla de Girasol. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Genética. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 103 pp.
- Hernández, L.A. 2011. Apuntes del curso de analisis de semillas. Postgrado de Semillas. IREGEP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Heydecker E. 1972. Vigor. In: *Viability of Seeds*. Roberts, E. H. (ed.). Chapman and Hall. London, Great Britain. pp: 209-252.
- Hilhorst, H.W.M. and Toorop, P.E. 1997. Review on dormancy, germinability and germination in crop and weed sed. *Advances in Agronomy*. 61: 111-164.
- Imolesi, A.S., Von Pinho, E.V.R., Pinho, R.G.V., Vieira, M.G.G.C., e Corrêa, R.S.B. 2001. Influência da adubação nitrogenada na qualidade fisiológica das sementes de milho. *Ciência e Agrotecnologia*, v.25, n.5, p.1119-1126. Consultado el 14 de agosto de 2015 en: http://www.editora.ufla.br/site/adm/upload/revista/25-5-2001_10.pdf
- Jocely A. 1979. Influencia de adubacao mineral NPK sobre a qualidade de semente de milho. *Bragantia* 38:165-174.
- Kolchinski, E.M., e Schuch, L.O.B. 2004. Relação entre a adubação nitrogenada e a qualidade de grãos e de sementes em aveia branca. *Ciência Rural*, v.34, n.2, p.379-383.
- La Jornada. Martes 20 de marzo de 2012. Consultado el 21 de agosto de 2015 en: <http://www.jornada.unam.mx/2012/03/20/sociedad/038n1soc>
- Lafitte, H.R. 1993. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de campo. CIMMYT. México, D.F. 122 P Consultado el 21 de agosto de 2015 en: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/727/43157.pdf>
- Lemcoff J., and Loomis R. 1986. Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Sci.* 26:1017-1022.
- López, S.J.A., Reyes, M.C.A., Castro, N.S. y Briones, E.F. 2004. Componentes del crecimiento de grano de cultivares prolíficos de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27 (Núm. Especial 1): 23-26.

- Maior, B.J.A., Contreiras, R.A.P. de A., Mauad M., Albuquerque, J.C., Yamamoto, C.R., da Silva, C.K., e de Freitas, M.E. 2008. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. *Agrarian*, v.1, n.2, p.91-102.
- Malavolta E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. Editora agronómica CERES Ltda. Sao Paulo, Brasil. 631 p.
- Marcos-Fiho J., McDonald, M.B. 1998. Sensitivity of RAPD analysis, germination and vigour test to detect the intensity of deterioration of naturally and artificially aged soybean seeds. *Seed Sci. and Technol*, 26: 177-237.
- Marmaril, C.P. and Miller, M.H. 1970. Effects of ammonium on the uptake of phosphorus, sulfur, and rubidium by corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.62, n.6, p.753-758, Nov./Dec.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plant. Second edition. Academic Press. San Diego, CA, USA. 889 p.
- Martínez C., Mendoza L., García G., y Martínez A. 2005. Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Rev. Fitot. Mex.* 28(2):127-133.
- Mateus, P.A., Zucareli C., Fronza V., e De Pariva, O.E.A., Panoff B. 2012. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de trigo. *Revista Brasileira de sementes*, Vol. 34 nº 2 p272-279.
- Maya, L.J.B., y Ramírez, D.J.L. 2002. Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4): 333–338.
- McDaniel, R.G. 1973. Genetic factors influencing seed vigour; biochemistry of heterosis. *Seed Sci. and Technol*, 1(1): 25-50.
- McDonald, M.B. 2002. Standardization of Seed Vigor Test. p 200-208, In: McDonald, M.B., y S. Contreras (ed.). *seeds: trade, production and Technology. Proceedings international Seed Seminar. Colección de extensión. Facultad de agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. 15-16 octubre. Santiago, Chile.*
- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Sci. and Technol*, 27: 177-237.
- Mengel K., and Kirkby, E.A. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute. Worblaufen-BERN, Switzerland. 665 p.
- Meza, H.P.A. 1998. Efecto de la pérdida de hojas en el desespigamiento sobre la productividad y calidad de semilla de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 91 pp.
- Miles, D.F., Tekrony, D.M., and Egli, D.B. 1988. Changes in viability, germination and respiration of freshly harvested soybean seed during development. *Crop Sci.* 28: 700-704.
- Moreira de C.N. y Nakagawa J. 1988. Semillas, ciencia, tecnología y producción. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 406 p.

- Moreno, M.E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología, U.N.A.M. México D.F. 383 p.
- Murray, T.S. 2003. Transformaciones de los nutrientes en el suelo. En Informaciones Agronómicas. Instituto de la potasa y el fosforo. Volumen 49 2003. Página 1-4. Consultado el 21 de agosto de 2015 en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/332C64992BEFD5BC852579A300779480/\\$FILE/Inf-Agro%2049.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/332C64992BEFD5BC852579A300779480/$FILE/Inf-Agro%2049.pdf)
- National Plant Food Institute. 1988. Manual de fertilizantes. Ed. LIMUSA. México, D. F. 292 pp.
- Njoka, E.M., Muraya M., Okumo M. 2005. Plant density and thinning regime effect on maize (*Zea mays* L.) grain and fodder yield. Australian Journal of Experimental Agriculture 44: 1215–1219.
- Orosco, A.Ma.S. 1993. Efecto de la profundidad de siembra y la fertilización en el establecimiento de tres zacates forrajeros. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 106 pag.
- Osborne, D.J. 1982. Deoxyribonucleic acid integrity and repair in seed germination: The important in viability and survival; In: Khan, A. A. (ed). The physiology and biochemistry of seed development, dormancy and germination. Elsevier Biomedical Press, pp. 435-463.
- Osborne L., Scheppers S., Francis D., Schlemmer R. 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. Crop. Sci. 42:165-171.
- Peretti A. 1994. Manual de Análisis de semillas. Ed. Hemisferio Sur S.A., 281 Pág.
- Perry, D.A. 1977. A vigour test for seeds of barley (*Hordeum vulgare*) based on measurement on Plumule growth. Seed Sci. And Technol. 5: 709-719.
- Perry, D.A. 1980. The concepts of seed vigour and its relevance to seed production techniques In: seed production. P. D. Hebblethwaite (ed) Buternworths Publishers.
- Perry, D.A. 1984. Manual de métodos de ensayo de vigor. Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero. Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. Madrid, España.
- Pollock, B.M. and Ross. 1972. Seed and Seedling vigour. In: Seed Biology. Kozlowski (ed.) Vol. I. pp: 313-338.
- Purcell, L.C., Ball, R.A., Reaper, J.D. and Vories, E.D. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. Crop Sci. 42: 172-177.
- Raya, P.J.C., Aguirre, M.C.L., Medina, O.J.G., Andrio, E.E., Castellanos, S.A., Covarrubias, P.J., y Ramírez, P.J.G. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm. 4, 1 de julio - 31 de Agosto, p. 633-641. Consultado el 11 de julio de 2015 en: <http://site.ebrary.com/lib/bibliocolpossp/Doc?id=10638404&ppg=7>
- Reyes, C.P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT EDITOR S. A. México, D. F. 460 pp.
- Roberts, E.H. 1972. Viability of seeds. Chapman and Hall Ltd. London, London, Great Britain. 448 p.

- Roberts, E.H., and Ellis, R.H. 1982. Physiological, ultraestructural and metabolic aspects of seed viability. In: Khan, (ed.). The physiology and biochemistry of seed development, dormancy and germination. Elsevier Biomedical Press.
- Rodríguez J., Pinochet D., y Matus F. 2001. Fertilización de los cultivos. Ediciones LOM. Santiago, Tolca, Valdivia. 117 p.
- Rodríguez, M.R. y de León C. 2008. El cultivo del maíz, temas selectos. Mundi Prensa. México, D.F. 158 pp.
- Rodríguez, S.F. 1982. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editorial, S.A. México D.F. 157 p.
- Rodríguez, S.J. 1987. Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo de maíz y la cebada en el Estado de Tlaxcala. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. (Documento xerografiado depositado en el centro de documentación del C. P.
- Rufty, J.T.W., Mackown, C.T., and Israel D.W. 1990. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. *Plant Physiology*, Maryland, v.94, n.1, p.328-333, Nov.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural y Pesca y Alimentación). 2007. Ley sobre producción, certificación y comercio de semillas. Consultado el 9 de agosto de 2015 en: <http://snics.sagarpa.gob.mx/somos/Documents/Ley%20de%20semillas.pdf>
- Sako Y., McDonald, M.B., Fujimura K., Evans, A.F., and Bennett, M.A. (2001). A System Automated Seed Vigour Assessment. *Seed Science and Technol*, 29, 625-636.
- Salgado, G.S. y Núñez R. 2010. Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos. Grupo Mundi-Prensa. México D.F. 146 pp.
- Sangoi L. 2000. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural*, Santa Maria. 31(1): 159–158.
- Silva, R.H., Zucareli C., Nakagawa J., Silva, R.A., e Cavariani C. 2001. Doses e épocas de aplicação do nitrogênio na produção e qualidade de sementes de aveia-preta. *Revista Brasileira de Sementes*, 23 2: 51-55. Consultado el 14 de agosto de 2015 en: <http://www.abrates.org.br/revista/artigos/2001/v23n2/artigo07.pdf>
- Solari, A.J. 1996. Genética Humana: Mutación. Ed. Pamanericana, 1a ed. Pp:71-86.
- Souza, L.C.D., Sá, M.E., Martins, H.S.D., Abrantes, F.L., Silva, M.P., e Arruda N. 2010. Produtividade e qualidade de sementes de arroz em resposta a doses de calcário e nitrogênio. *Revista Trópica*, 4 (2): 27-35. Consultado el 11 de julio de 2015 en: <http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/153/101>
SITADO POR Mateus 2012.
- Sprague G. 1985. Corn and corn improvement. Am. Soc. Agron. Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA. p 645-648.
- Stamp P., Chowchong S., Menzi M., Weingartner U., Kaeser O. 2000. Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop Sci*. 40:1586-1587.
- Steward, M.W., Dibb, D.W., Johnston, A.E., and Smyth, T.J. 2005. The contribution of comercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal*, 97(1): 1-6.

- Stoyanova, S. D. 1991. Genetic shifts and variations of gliadins induced by seed ageing. *Seed Sci. and Technol.* 19: 363-371.
- Tadeo, R.M., Espinosa, C.A., Beck D., y Torres, J.L. 2007. Rendimiento de semilla de cruza simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México* 33 (2): 175-180.
- Tadeo, R.M., Espinosa, C.A., Chimal, N.N., Arteaga, E.I., Trejo, P.V., Canales, I.E., Sierra, M.M., Valdivia, B.R., Gómez, M.N.O., Palafox, C.A., y Zamudio, G.B. 2012. Densidad de población y fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles. *Terra Latinoamericana* 30 (2): 157-164.
- Taylor, A.G. 1997. Seed storage, germination and quality. In: *The Physiology of vegetables Crops*. H. C. Wien (ed). CAB International. Pp: 1-36.
- Tekrony, D.M. 1995. Accelerated ageins. In: H. A. Van Venter (ed.). *ISTA seed vigour testing seminar*. Copenhagen, ISTA. Pp 33-72.
- The Potash & Phosphate Institute (PPI). (1988). *Manual de fertilidad de los suelos*. 1ª. Impresión en español. Potash & Phosphate Institute. Narcroos, Georgia, U.S.A. 85 p.
- Tollenaa, M. 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Sci.* 31:119–124.
- Trueba, A.J.C. 2012. *Semillas mexicanas mejoradas de maíz su potencial productivo*. Colegio de postgraduados, Montecillo, México. 132 pp.
- Valdés N. 2006. *Embriogénesis de semillas artificiales de maíz*. Tesis de licenciatura UPIBI-IPN. México.
- Vidal-Martínez V.C, Clegg M., Jonson B., and Valdivia-Bernal R. (2001) Phenotypic and genotypic relationships between pollen and grain yield componentes in maize. *Agrociencia* 35(5): 503-511.
- Villaseñor, H.E. 1984. *Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz*. Tesis de Maestría en Ciencias, especialidad genética. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, México. 149 p.
- Violic, A.D. 2001. *Manejo Integrado de Cultivos. El maíz en los Trópicos*. FAO. Consultado el 3 de septiembre de 2015 en: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s22.htm#TopOfPage>
- Widdicombe, W.D., and Thelen, K.D. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern Corn Belt. *Agronomy Journal* 94:1020-1023.
- Wilson, D.O., and McDonald, M.B. 1986. The lipid peroxidation model of seed ageint. *Seed Sci. and Technol*, 27: 177-237.
- Yasari E., Noori M., and Haddadi M. 2012. Comparison of seed corn single coesses SC 704 and SC 770 response to different plant densities and nitrogen levels. *Journal of Agricultural Science* 4(5):263-272.