

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Irradiación de Semillas de Maíz (*Zea mays*) para Promover Resistencia de la Germinación en Condiciones Salinas

Por:

LUIS FERNANDO ZUÑIGA ARROYO

TESIS

Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México
Septiembre del 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Irradiación de Semillas de Maíz (*Zea mays*) para Promover Resistencia de la Germinación en Condiciones Salinas

Por:

LUIS FERNANDO ZUÑIGA ARROYO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal

Dra. Francisca Ramírez Godina
Coasesor

Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Septiembre del 2013

AGRADECIMIENTOS

A la universidad por la oportunidad que me dio para llevar a cabo el estudio de mi carrera profesional, dándome con ello las herramientas necesarias para mi preparación y desarrollo como profesionista.

A mis asesores:

A MC. Wendy Gastelum Ferro, por su dirección, sugerencias y revisión de este escrito.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por su orientación y valiosa ayuda en el desarrollo del presente trabajo.

A la Dra. Francisca Ramírez Godina, por sus consejos y revisión del presente trabajo.

Al Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente, por sus recomendaciones y sugerencias en la elaboración de este proyecto.

A los profesores que a lo largo de la carrera prestaron tiempo, consejos y asesoría, que sin sus conocimientos, enseñanza y experiencia no habría sido posible concluir esta etapa tan importante en mi vida.

DEDICATORIAS

A dios por darme la fuerza necesaria para seguir adelante e iluminarme en las adversidades.

A mis padres: Guadalupe y Fernando, por su enseñanza de vida, por el cariño y apoyo que me han brindado. Con profundo respeto, cariño y admiración.

A mis hermanos: Trinidad, Álvaro, Jesús y Cristina, por su sinceridad y respaldo.

A mis sobrinos: Karen, José y Fernanda quienes han llegado para alegrar mis días.

Todo mi aprecio a mi familia en general, ya que de igual forma son parte importante en mi, por lo que celebro junto a ustedes los logros obtenidos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
INDICE DE CONTENIDO	III
INDICE DE TABLAS	V
INDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VI
INTRODUCCION	1
Objetivo	2
Hipótesis	2
REVISION DE LITERATURA	3
Radiación solar	3
Radiación ultravioleta	3
Fotoreceptores	5
Hormesis	5
Efectos de la radiación UV sobre las plantas	5
Efectos de la radiación UV en los cultivos agrícolas	6
Especies reactivas de oxígeno	8
Maíz	8
Semilla	10
Calidad	10
Vigor	11
Salinidad	11
Efecto de la salinidad en las plantas	12
Salinidad en los suelos	12
Tolerancia a salinidad	14

Estrés -----	15
Estrés salino -----	15
MATERIALES Y MÉTODOS -----	17
Localización -----	17
Descripción de los materiales utilizados -----	17
Descripción de tratamientos -----	18
Procedimiento utilizado en las pruebas de germinación -----	19
Diseño experimental -----	20
RESULTADOS Y DISCUSIONES -----	21
Germinación -----	21
Altura de plántula -----	22
Peso fresco -----	23
Acumulación de materia seca -----	24
CONCLUSIONES -----	25
LITERATURA CONSULTADA -----	26

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1	Relación de tratamientos para semillas de maíz irradiadas con UVC.	18
----------------	--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1	Espectro Electromagnético.	4
Figura 2	Diagrama de flujo del procedimiento para germinación de semillas de maíz (irradiadas y sin irradiar) en soluciones con diferente concentración de NaCl.	19
Figura 3	Porcentaje de germinación para los diferentes tratamientos.	21
Figura 4	Altura de plántulas provenientes de semillas de maíz irradiadas con UVC, germinadas en dos condiciones de salinidad.	22
Figura 5	Diagrama Peso fresco de plántulas provenientes de semillas de maíz irradiadas con UVC, germinadas en dos condiciones de salinidad.	23
Figura 6	Acumulación de biomasa de plántulas provenientes de semillas de maíz irradiadas con UVC, germinadas en dos condiciones de salinidad.	24

RESUMEN

En la actualidad la salinización de los suelos agrícolas es uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura, estas condiciones provocan una disminución en el desarrollo y la producción de varios cultivos, afectando en especial la uniformidad en la germinación y vigor, por ser esta una etapa crítica en el desarrollo de las plantas. La alta calidad de la semilla es absolutamente necesaria en el contexto de los sistemas de producción modernos, porque afecta el establecimiento del cultivo, crecimiento y productividad. El vigor de la semilla es un componente importante de la calidad que está relacionado con un rápido y uniforme desarrollo y emergencia de plántulas. Considerando lo anterior, el desarrollo de una técnica que mejore la capacidad de germinación en condiciones salinas y además aumente el vigor de la semilla, es muy importante en México y en el mundo. De aquí que en este estudio se propone explorar el empleo de la radiación ultravioleta (UV-C) en semilla de maíz (*Zea mays L.*) como tratamiento que pudiera modificar el vigor de la semilla. Se aplicó un diseño completamente al azar en semillas del híbrido "Bisonte", utilizando como tratamientos 4 tiempos de irradiación, empleando como fuente emisora una cámara de radiación UV-C: (200-280 nm) Modelo UVM-225D mineralight °lamp P/N 95-01 89-01 50-Watt/302 nm 115 V-60 Hz 1.25 Amps. Se realizaron siembras en 2 diferentes periodos después de irradiar, utilizando 2 soluciones con diferente concentración salina. De los resultados se desprende que la radiación ultravioleta puede potencialmente convertirse en una alternativa para mejorar la tolerancia a la salinidad en diferentes especies.

Palabras Clave: *Zea mays L.* Radiación Ultravioleta, Salinidad, Germinación, Vigor.

I. INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays*) es una planta de la familia de las gramíneas, en la actualidad, es el cereal con mayor volumen de producción a nivel mundial, superando al trigo y al arroz. Es un cultivo de unos 5000 a 7000 años de antigüedad, cuyo centro de origen se ubica en la zona de México y América central (CONACULTA, 2004)

A nivel mundial la producción de maíz para el ciclo 2010/2011 fue de 829 millones de toneladas, México ocupó el quinto lugar aportando el 4% de lo que se produce mundialmente; el primer productor de maíz fue Estados Unidos con una participación del 21%, China el segundo lugar con el 20% de la producción y en tercer lugar se ubica Brasil con 8%. En México la mayor parte de la producción de maíz (95%) se refiere a variedades de grano blanco. En 2010 el estado de Sinaloa ocupó el primer lugar en la producción nacional de maíz al obtener 5.2 millones de toneladas, lo que representa el 23% del total de la producción en México. El estado de Jalisco es el segundo mayor productor de maíz, con un total de 3.2 millones toneladas, el estado de México está en tercer lugar con una producción de 1.4 millones de toneladas. (Secretaría de Economía, 2012)

Es bien conocido que la exposición de las plantas a radiación ultravioleta produce radicales de oxígeno y peróxidos lo cual conduce a la oxidación, es decir provoca un daño oxidativo. Además las plantas expuestas a la radiación ultravioleta responden anormalmente a muchos tipos de estrés de igual forma ha sido demostrado que se induce un aumento rápido y coordinado en la actividad enzimática a nivel celular (Jordán *et.al.*, 1998)

Es importante destacar que en la actualidad la salinización y la alcalinización (sodificación) de los suelos agrícolas son quizás los problemas más serios que enfrenta la agricultura en nuestros días. La aceleración de estos procesos se debe a la intensificación global de la desertificación, al uso excesivo de fertilizantes químicos y la sobre-explotación de los acuíferos, lo que conduce a un drástico aumento de la

salinidad. Estos procesos provocan una disminución en el desarrollo y la producción de varios cultivos, pues afectan en especial la uniformidad en la germinación y vigor, por ser esta una etapa crítica en el desarrollo de las plantas (Layne-Garsaball, 2008)

De acuerdo a lo anterior el presente trabajo de investigación está orientado a obtener información acerca del uso de la radiación UV-C, con la finalidad de aumentar la germinación y vigor en las semillas de maíz en condiciones de salinidad.

OBJETIVO.

Evaluar el efecto de diferentes tiempos de irradiación con UV-C en semillas de maíz germinadas en dos diferentes niveles de salinidad.

HIPÓTESIS.

- Una mayor exposición a la radiación UV-C aumenta la capacidad de germinación en condiciones de salinidad.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Radiación solar

La radiación ultravioleta (UV) es una forma de energía radiante, invisible, que procede del Sol y que junto con las ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos forma el espectro electromagnético (Roca, 2004).

2.2. Radiación UV

Se considera que la radiación ultravioleta ha jugado un papel fundamental en el origen de la vida en el planeta. A pesar de que esta radiación es necesaria para la síntesis de vitamina D y de que algunas algas utilizan una porción del espectro ultravioleta en la fotosíntesis, esta radiación afecta las complejas moléculas orgánicas de los seres vivos, por su gran energía. Sus efectos varían dependiendo de la sensibilidad de cada especie; tiene gran incidencia en la velocidad de crecimiento de los organismos, provoca alteraciones en las moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) y daña las membranas celulares. Otra de las consecuencias de este tipo de radiación es que provoca la disminución de los rendimientos en las cosechas de maíz, arroz y trigo, etc. (Grijalva, 2009).

La clasificación más conocida de la radiación ultravioleta cuando se utiliza en relación con el medio ambiente, la subdivide en tres tipos; de 200 a 280 nm es llamada UV-C, de 280 a 320 nm se designa UV-B y de 320 a 400 nm se denomina UV-A (Fig.1), siendo estas dos últimas capaces de atravesar la atmósfera terrestre y de ocasionar diversos efectos sobre los seres vivos. Esta última radiación es poco absorbida por el ozono, por lo que llega en mayor cantidad a la superficie de la Tierra y constituye una importante señal fotomorfogénica en las plantas, pero es la menos dañina. Por el contrario, la UV-C es la más energética y dañina para el ADN. Sin embargo, por ser la más absorbida por el oxígeno (O_2) y el ozono (O_3) de la estratosfera prácticamente no llega a la superficie terrestre (Carrasco-Ríos, 2009).

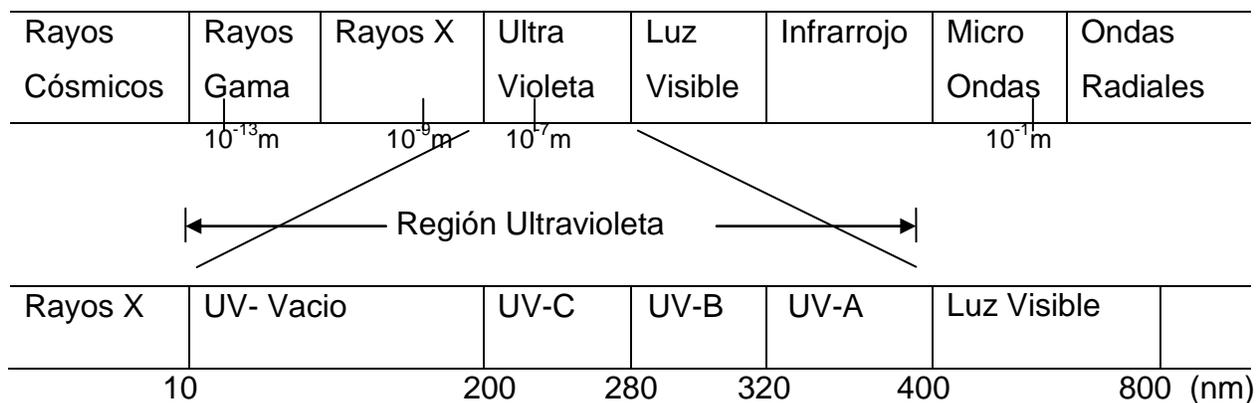


Figura 1: Espectro Electromagn3tico (Carrasco-R3os, 2009).

En particular, los rayos UV-C tienen un fuerte efecto germicida y presentan la m3xima eficacia en correspondencia con la longitud de onda de 253.7 nm. Las radiaciones UV no deben confundirse con las radiaciones ionizantes (Rayos X y Gamma que tienen longitud de onda por debajo de 10 nm), que por su parte modifican la estructura at3mica de la materia. El efecto germicida de las radiaciones UV-C se extiende a bacterias, virus, esporas, hongos, mohos y 3caros; el mismo se debe sobre todo al efecto destructor desplegado por las radiaciones UV-C sobre su ADN donde se efectuan las transformaciones fotoqu3micas de bases pirimidinas, destruyendo asi la capacidad de formar dimeros; todo ello contribuye a da1ar su aparato reproductor, impidiendo su crecimiento y multiplicaci3n (Silveira, 2006).

La radiaci3n UV posee energ3a suficiente para extraer electrones externos de algunos 3tomos, redistribuir los 3tomos de las mol3culas en nuevas mol3culas o acelerar ciertas reacciones qu3micas. Una de las acciones fotoqu3micas de inter3s es la realizada sobre el ox3geno. El UV produce la separaci3n de los dos 3tomos que forman la mol3cula de ox3geno; deja libre ox3geno at3mico, que tiene una existencia muy breve, y se recombina r3pidamente para formar ox3geno molecular (O_2) u ozono (O_3) (Roca, 2004).

2.2.1 Fotoreceptores

Los fotoreceptores son unos pigmentos vegetales que controlan diferentes aspectos del desarrollo e informan a las plantas de los cambios operados en el entorno para optimizar su crecimiento. Los fotoreceptores intervienen en el ciclo biológico de la planta, desde la germinación a la floración y tuberización, pasando por la desetiolación de las plántulas y el alargamiento de tallo y entrenudos. Este proceso es llamado fotomorfogénesis y es facilitado a través de fotorreceptores, los criptocromos y fototropinas son los que captan la luz ultravioleta y azul y los fitocromos, que perciben la luz roja y roja lejana (Martínez, 2002).

2.2.2 Hormesis

Muchos estudios han mostrado efectos negativos de la luz UV-C sobre tejidos vegetales tales como disminución de la síntesis de proteínas, daño en el ADN. Sin embargo actualmente se acepta el concepto de hormesis que establece que es posible obtener un efecto benéfico de la aplicación subletal de un agente capaz de inducir estrés físico o químico (Luckey, 1999).

2.2.3 Efectos de la radiación UV sobre las plantas

Carrasco-Ríos, (2009), señala que a lo largo de la evolución, la radiación UV ha inducido en las plantas diversos cambios anatómicos que han permitido modificar su interceptación y su penetración al interior de las células, por ejemplo, el aumento de ceras y el cambio en la composición de éstas en la superficie foliar observado en especies expuestas a UV, favorece la reflexión de la luz UV desde la superficie foliar y contribuye a reducir la penetración de la radiación UV en las hojas. Por otra parte, las plantas aclimatadas a condiciones de alta radiación UV, como por ejemplo en alta montaña, se caracterizan principalmente por presentar tallos y ramas cortas, resultando plantas de morfología más bien compacta y de tamaño pequeño. La disminución de la altura de las plantas expuestas a altas intensidades de radiación UV ha sido

relacionada directamente con la inducción de entrenudos más cortos en distintas especies, por tal motivo se ha sugerido que el mecanismo por el cual la radiación UV reduce la longitud del tallo sería la oxidación de fitohormonas inductoras del tamaño de las células, como el ácido indolacético (IAA), el cual es susceptible a ser degradado por la radiación UV.

2.2.4 Efectos de la radiación UV en los cultivos agrícolas

Mark y Tevini, (1996), observaron que la reducción del crecimiento provocado por alta radiación UV-B en *Helianthus annuus* L., cv. Polstar y en *Zea mays* L., cv. Zenit 2000, podía ser revertida con el aumento de la temperatura en 4°C. Esta interacción benéfica entre alta radiación UV-B y altas temperaturas, ha sido atribuida a una mayor tasa fotosintética que tendrían las plantas debido a que tanto la UV-B como las altas temperaturas facilitarían la activación de distintos mecanismos de protección, como por ejemplo aumento de la producción de flavonoides y de la síntesis de proteínas de shock término conocidas como HSP (heat shock protein). Además, la interacción radiación UV-B y temperatura serían moduladores positivos de la actividad de la enzima nitrato reductasa. En cultivos de soya con altos flujos de radiación UV-B, el aumento de 1°C en la temperatura genera alteraciones en la morfología del polen y en la germinación, lo que tiene un impacto negativo en la productividad de este cultivo, la que es reducida en un 17%. Pero, durante el crecimiento vegetativo de esta especie, el aumento de CO₂ compensa el efecto dañino que producen las altas temperaturas y altos flujos de radiación UV-B sobre distintos aspectos fisiológicos (Koti, 2007).

En distintos cultivares comerciales de maíz, se encontró que en algunos casos los niveles más altos de radiación no fueron los más dañinos, lo cual podría indicar que bajo condiciones específicas, algunos cultivares desarrollan mecanismos de protección y/o adaptación frente a la UV-B. No obstante lo anterior, fue posible diferenciar parámetros altamente sensibles tales como altura y área foliar, y en menor medida peso fresco y seco total. La sensibilidad diferencial observada entre los cultivares de maíz frente a la radiación UV-B, permitió determinar grados de sensibilidad. De los 15

cultivares estudiados, sólo uno (*Kennedy*) fue insensible, sugiriendo que probablemente corresponde a un cultivar tolerante (Tapia, 2003)

Según Lamikanra (2002), la aplicación de radiación ultravioleta corta (UV-C, 254 nm) a diferentes productos vegetales, controla el crecimiento microbiano y retrasa los procesos asociados con su maduración y senescencia. Al parecer la radiación UV-C induce la acumulación de sustancias naturales antifúngicas que limitan el crecimiento microbiano.

La radiación UV-C ha sido utilizada como agente mutagénico en las plantas, para la activación de algunos genes en maíz transgénico, así como para evitar mutación y/o muerte celular (Stapleton y Walbot, 1994). La radiación UV induce daños que deben ser reparados antes de la replicación del mismo. Aunque la radiación UV-C no es fisiológicamente relevante para la mayoría de las plantas superiores, ésta ha sido utilizada con frecuencia para estudiar el daño al ADN de plantas y animales debido al rango de absorción que posee (260nm) ya que los fotones de UV-C están altamente cargados de energía y los niveles de daño pueden observarse fácilmente (Stapleton, 1992).

Resultados obtenidos por Stapleton y Walbot (1994), indican que al exponer plántulas de maíz a la radiación UV-C se generan daños considerables en el ADN, pero para que estos daños sean cuantificables se requiere de dosis muy altas de irradiación, aunque este daño disminuye con la presencia de flavonoides en las plántulas de maíz púrpura mientras que es más elevado en plántulas de maíz blanco.

La irradiación de las semillas de trigo con un láser de baja intensidad no modifica la germinación de las semillas en medio salino, sin embargo, el crecimiento y morfología de las plántulas si se ve modificado por la irradiación laser de la semilla de trigo (Benavides, 2007).

2.2.5 Especies reactivas de oxígeno

La presencia de especies reactivas de oxígeno (ROS) puede causar daño celular en los tejidos de las plantas. Las ROS se generan en los procesos metabólicos normales como subproductos del metabolismo celular y también participan activamente en la señalización y la función antioxidante de los sistemas dentro de la célula para desintoxicar los productos de reacción del estrés oxidativo. Incluye diferentes tipos de estrés como por sequía y la desecación, la sal, la refrigeración, golpe de calor, los metales pesados, radiación ultravioleta, los contaminantes atmosféricos como el ozono, la temperatura y lesiones, afecta a la fisiología de los productos frescos por desencadenar respuestas que podrían inducir a la acumulación de compuestos fenólicos y otros metabólicos secundarios. Por ejemplo, después de lesiones, la activación de fenilalanina amonio liasa (PAL) es seguida por la síntesis de compuestos fenólicos de protección para reducir la pérdida de agua o el ataque de patógenos (Mittler, 2002).

2.3. Maíz

El origen del maíz (*Zea mays*) no se conoce a ciencia cierta, aunque se cree que se cultiva desde hace más de 7 mil años en México. Formaba parte indispensable de la dieta de civilizaciones como la azteca o la maya, en la que se consideraba como un regalo de los dioses. Sus restos más antiguos son pequeñas mazorcas que datan del año 3600 a.C., encontradas en cuevas de las regiones áridas de Tehuacán, Puebla, México. Se considera que el maíz proviene del teocintle (*Zea mays sp. mexicana* L.) que crece de manera silvestre en la Mesa Central de México. *Zea mays* es originaria de América e introducida en Europa en el siglo XVI y más tarde se extendería su cultivo por todo el mundo (COMAIZ, 2007).

EL maíz pertenece a la clase Liliopsida, y la subclase Commelinidae, al orden Cyperales (o Poales), y la familia Poaceae (o Gramíneas). *Zea* es de origen griego, derivada de *zeo* (vivir). Es conocido con el nombre común de maíz, derivado de la

palabra taína *mahís* con que los indios del Caribe llamaban a esta planta. Dependiendo de la región, *Zea mays* recibe también nombres como oroña, danza, zara, millo, mijo o panizo (CONACULTA, 2004).

La planta del Maíz es de porte robusto, de fácil desarrollo y producción anual; es de inflorescencia monoica, el tallo es erecto, de elevada longitud puede alcanzar 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones, las hojas son largas de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias; se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades, las hojas son afiladas y cortantes. Su fruto, la mazorca, está formado por multitud de pequeños granos muy juntos. Botánicamente, el grano o la semilla de maíz es un fruto seco indehiscente denominado cariósipide, en el cual el embrión está adherido a todos los componentes del ovulo desarrollado (Financiera Rural, 2009). Requiere una temperatura de 25 a 30°C para que tenga un adecuado desarrollo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C. Al presentarse circunstancias adversas pueden alterar el proceso de germinación y provocar la muerte de las plántulas, o que estas sean anormales. Entonces las bajas temperaturas, la presencia de luz y la limitación en el suministro de oxígeno puede inhibir dicha actividad. Estos efectos negativos se asocian con un incremento en la concentración celular de radicales libres, concentración que rebasa la capacidad antioxidante de las plantas. El mismo fenómeno estrés oxidativo se observa en plantas que crecen en ambientes salinos (López, 1991).

El maíz es una de las especies cultivadas más productivas. Es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética. Tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo. El éxito de la tecnología basada en la ciencia para el cultivo del maíz ha estimulado una revolución agrícola generalizada en muchas partes del mundo. Es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como

fuentes de un gran número de productos industriales. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo (Paliwal, 1993).

El maíz de grano blanco se utiliza principalmente para la elaboración de las tradicionales tortillas y tamales, pero también se puede obtener aceite o en la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. El Maíz de grano amarillo también se puede utilizar para consumo humano, sin embargo, se tiene como destino el consumo pecuario en la alimentación del ganado y en la producción de almidones (Financiera Rural, 2009).

2.4. Semilla

Las semillas proceden de los primordios o rudimentos seminales de la flor, una vez fecundadas y maduras. Su función es la de dar lugar a un nuevo individuo, perpetuando y multiplicando la especie a la que pertenece. La semilla consta esencialmente de un embrión (formado por un eje embrionario y uno, dos o varios cotiledones), una provisión de reservas nutritivas, que pueden almacenarse en un tejido especializado (albumen o endospermo) o en el propio embrión, y una cubierta seminal que recubre y protege a ambos (López, 1991).

2.4.1. Calidad de semillas

Moreno (1996) menciona que la calidad fisiológica de la semilla es la capacidad de estas para germinar, emerger y dar origen a nuevas plántulas uniformes y vigorosas y los parámetros más importantes que determinan la calidad de las semillas son la pureza física, la calidad genética, poder germinativo, el vigor, la latencia, la homogeneidad del lote, el estado fitosanitario y el contenido de humedad.

2.4.2. Vigor de semillas

La ISTA (International Seed Testing Association) citada por Sayers (1982) define vigor en las semillas como “la suma de aquellas propiedades que determinan el nivel de potencial de actividad y comportamiento de una semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plantas.

El vigor es definido como aquellas propiedades de las semillas, las cuales determinan una rápida y uniforme emergencia para el desarrollo de plántulas normales en un amplio rango de condiciones de campo o de vivero (AOSA, 1983). Perry (1981), fue el primero en distinguir entre germinación y vigor de la semilla, al identificar que las propiedades de cada semilla, tales como la velocidad de germinación y de crecimiento de plántulas varían dentro de cada lote de semilla.

El vigor de la semilla es una característica muy importante puesto que se ha detectado que es la principal causa sobre discrepancias entre germinación y la emergencia en campo, principalmente cuando las condiciones de campo son adversas, por tal, motivo a nivel internacional hay un acuerdo generalizado entre analistas y tecnólogos de semillas acerca de la importancia de este (Matthews, 1980).

2.5. Salinidad

La salinidad es un estrés abiótico complejo que simultáneamente presenta componentes osmóticos e iónicos. Por ello, una concentración elevada de sales en el medio radical afecta negativamente el desarrollo de la planta, debido fundamentalmente a los efectos hiperosmóticos e hiperiónicos del estrés. La pérdida de homeostasis, tanto hídrica como iónica, ocurre tanto a escala celular como a nivel planta y provoca graves daños moleculares que detienen el crecimiento de la planta (Dell'Amico, 2005).

La salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La alta concentración de sales le ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico. Un fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones. La

respuesta adaptativa para lograr tolerar la salinidad afecta a tres aspectos en la actividad de la planta:

- a) Prevenir o reparar el daño o detoxificación.
- b) Control de la homeostasis iónica y osmótica.
- c) Control del crecimiento, que debe reanudarse pero con una tasa reducida (Alcaraz, 2009).

2.5.1 Efecto de la salinidad en las plantas

De acuerdo con Laynez (2007) las plantas están sometidas frecuentemente a situaciones desfavorables para su desarrollo y funcionamiento óptimo ocasionadas por alteraciones en el medio ambiente. La salinización es un proceso de enriquecimiento del suelo con sales más solubles que el sulfato de calcio, por lo general se trata de cloruros y sulfatos de sodio y de magnesio. Esto provoca valores muy altos de la presión osmótica en el agua del suelo, con evidentes repercusiones sobre la vegetación (interfiere en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas).

Las sales actúan en forma tóxica antes que como estímulo de la germinación de la semilla. La acción tóxica del catión o del anión puede superar al efecto producido sobre la presión osmótica. Además, al bajar los potenciales hídricos (Ψ) en el suelo, las sales bajan la tasa y la germinación total. Los efectos de la salinidad varían dependiendo del estadio de crecimiento y de la duración del estrés. En algunas especies, la tolerancia a la salinidad en la germinación es independiente de la tolerancia a la salinidad en la emergencia, crecimiento vegetativo, floración y fructificación (Bazzigalupi, 2008).

2.5.2. Salinidad en los suelos

Al proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio de Ca y Mg se le denomina salinización. Las condiciones necesarias para que tenga lugar la acumulación son el aporte de sales y la imposibilidad de su eliminación. El uso

indiscriminado de grandes cantidades de fertilizantes químicos y la sobre-explotación de los acuíferos han ocasionado un drástico aumento de la salinidad. Actualmente, la tercera parte de las tierras irrigadas en el mundo están afectadas, en mayor o menor medida, por esta condición. Esto provoca valores muy altos de la presión osmótica en el agua del suelo, con evidentes repercusiones sobre la vegetación (interfiere en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no cultivadas) (Layne-Garsaball, 2008).

La salinidad de los suelos precede al origen de la civilización humana y continúa siendo en la actualidad el mayor tipo de estrés abiótico que perjudica la productividad y calidad de las cosechas. Aproximadamente el 20% del área cultivada a nivel mundial y cerca de la mitad de las tierras irrigadas son afectadas por este factor. Dicho fenómeno tiende a aumentar en los suelos de riego, por el inevitable aporte de sales minerales disueltas en el agua utilizada con este fin. Las cantidades excesivas de sal en el suelo afectan de manera adversa el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando de manera negativa diversos procesos biológicos como la germinación de la semilla y su vigor, crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto. Como resultado del estrés osmótico, las plantas pueden responder con un amplio rango de respuestas fisiológicas a nivel molecular, celular y de organismo. Estas incluyen, por ejemplo, cambios en el desarrollo y la morfología de las plantas (inhibición del crecimiento apical, incremento en el crecimiento de las raíces y cambios en el ciclo de vida), ajuste en el transporte iónico (concentración, expulsión y secuestro de iones) y cambios metabólicos (metabolismo del carbono y la síntesis de solutos compatibles) (Fuentes, 2007).

El interés por mejorar la tolerancia de los cultivos a la salinidad ha ido creciendo en los últimos años, empleando métodos de mejora y selección tradicionales o producción de organismos modificados genéticamente. La incorporación de genes procedentes de parentales silvestres tolerantes, la domesticación de plantas halófilas silvestres, y la identificación de caracteres relacionados con tolerancia empleando marcadores moleculares, o bien la incorporación de genes cuya expresión modifica mecanismos bioquímicos y fisiológicos involucrados en la tolerancia (Shannon, 1997).

2.5.3. Tolerancia a salinidad

La respuesta de las plantas tanto al estrés hídrico como al estrés salino reduce la habilidad de las plantas para absorber agua. Las plantas tolerantes a la salinidad difieren de las sensibles en el hecho de poseen una baja tasa de intercambio de iones Na^{++} y Cl^- y en el transporte hacia las hojas y en la capacidad de compartimentar estos iones para ser llevados al citoplasma o a la pared celular y con esto evitar la acumulación de sales en las mismas (Munns, 2002).

La tolerancia a la salinidad depende primordialmente de tres factores; a) morfología de la planta, b) toma y transporte de sales y, c) eventos fisiológicos y metabólicos a nivel celular. La toma de sales en las raíces y su transporte en el xilema depende de complejos patrones de regulación de desarrollo que no han sido desarrollados experimentalmente con técnicas moleculares, sin embargo basados en los mecanismos a la tolerancia de sales hay un sinnúmero de análisis moleculares que demuestran los cambios específicos a nivel genético dicha tolerancia (Winicov, 1997).

Según Feuchter (2000) la tolerancia de una planta a la sal puede ser definida como la capacidad de sobrepasar los efectos de un exceso en su medio radicular de crecimiento. El modo de tolerancia puede variar; por ejemplo la mayoría de las plantas evitan la salinidad, otras la evaden, o resisten y una pocas lo toleran. El evitar la sal va acompañado por una germinación limitada, crecimiento y reproducción estacional a una época del año, buscando un crecimiento radicular en capas del suelo libres de sales o limitando la absorción salina. Se registra que la evasión salina se acumula en algunas células específicas o secretando los excesos. La tolerancia se mantiene en aquellas plantas cuyo protoplasma funciona normalmente y sobrepasa un contenido alto de sales, sin daño aparente.

La tolerancia a las sales es un carácter poligénico, heredable, que involucra respuestas al estrés iónico y osmótico a nivel celular. Esta capacidad varía durante las distintas etapas de crecimiento y desarrollo. La mayoría de cultivos son especialmente sensibles

durante los primeros estadios de crecimiento. La remolacha azucarera sobresale por su baja tolerancia al las sales durante la germinación, pero durante las últimas etapas de su crecimiento es capaz de soportar elevadas concentraciones salinas. El arroz puede germinar con normalidad en suelos con un nivel de sales entre 4 y 8 mmhos/cm pero provocar la pérdida del cultivo antes del macollaje. El agropiro (forraje cultivado en suelos salinos) manifiesta alta tolerancia una vez implantada, aunque es sensible durante la germinación y los primeros estadios de desarrollo. (Niborski, 2000)

2.6. Estrés

El estrés es el conjunto de respuestas bioquímicas o fisiológicas que definen un estado particular del organismo diferente al observado bajo un rango de condiciones óptimas. Se define la resistencia al estrés como la capacidad de un organismo para resistir, evitar y escapar a los estímulos ambientales negativos o poder permanecer bajo un estado particular de estrés sin que su fenotipo se vea modificado de manera significativa; su estado “ideal” se identifica al ser observado bajo condiciones óptimas y se le denomina “normal” (Benavides, 2002).

2.6.1. Estrés salino

El estrés salino rompe la homeostasis iónica de las plantas al provocar un exceso tóxico de sodio (Na^+) en el citoplasma y una deficiencia de iones como el potasio (K^+). El sodio inhibe muchas enzimas y por eso es importante prevenir la entrada del mismo al citoplasma. Las plantas emplean varias estrategias para combatir el estrés iónico que les impone la salinidad. La compartimentación del sodio es una respuesta económica para la prevención de la toxicidad por este ion en el citosol, porque el ion sodio puede ser usado como osmolito en la vacuola para ayudar a conseguir la homeostasis iónica. Muchas plantas tolerantes a la salinidad (halófitas) cuentan con esta estrategia. El estrés salino inhibe la división celular y la expansión directamente, es decir inhibe el crecimiento de la planta, de hecho el bajo crecimiento de vegetales en

zonas salinas es una característica adaptativa de las plantas para sobrevivir a este tipo de estrés (Alcaraz, 2009).

Existen, principalmente, tres componentes del estrés salino que afecta a las plantas: a) efecto osmótico, b) efecto nutricional y c) efecto tóxico. El primero está dado por una disminución del potencial osmótico del suelo que origina menor disponibilidad de agua para la planta. Efectos nutricionales por este estrés pueden ser considerados cuando el vegetal tiene problemas para absorber ciertos iones esenciales (nutrientes) en presencia de elevadas cantidades de sales solubles en el suelo. El efecto tóxico está dado, principalmente, por ciertos iones como Cl y Na. La toxicidad del Na puede ser directa, como en el caso de especies sensibles al exceso de Na o indirecta, cuando existe un deterioro de la estructura del suelo, lo que origina un crecimiento muy pobre de las plantas, debido a deficiencias de O, y a la disminución de la conductividad hidráulica del suelo (Ochoa, 1994).

A menudo ocurren otros tipos de estrés secundarios, como el daño oxidativo. Las plantas disponen de complejos mecanismos moleculares de respuesta a estos efectos de la salinidad, que incluyen biosíntesis de solutos compatibles, control del flujo hídrico, y transporte de iones para restablecer la homeostasis (Zhu, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente trabajo de investigación se llevo a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) y en el Departamento de Horticultura en el laboratorio de Fisiología, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Descripción de los materiales utilizados

Material vegetativo

Se utilizaron semillas de maíz (*Zea mays*) híbrido Bisonte (ASGROW), el cual es un maíz blanco, con grano de peso específico y planta medianamente tolerante a sequía y salinidad.

Material utilizado para germinación

- Cámara de radiación UV-C: (200-280 nm) Modelo UVM-225D Meneralight °lamp P/N 95-01 89-01 50-Watt/302 nm 115 V-60 Hz 1.25 Amps.
- Solución salina de NaCl a una concentración 100 mM
- Papel ancore
- Bolsas de plástico transparentes
- Lápiz tinta
- Cámara germinadora:
- Estufa

Descripción de tratamientos

Tabla 1. Relación de tratamientos para semillas de maíz irradiadas con UVC.

Num. Tratamiento	Simbología	Descripción
1	0m1ddiN	0 minutos de irradiación, siembra en condiciones normales (sin entorno salino)
2	1m1ddiN	1 minuto de irradiación, siembra en condiciones normales 1 día después de la irradiación
3	10m1ddiN	10 minutos de irradiación, siembra en condiciones normales 1 día después de la irradiación
4	30m1ddiN	30 minutos de irradiación, siembra en condiciones normales 1 día después de la irradiación
5	0m 30ddiN	0 minutos de irradiación, siembra en condiciones normales (sin entorno salino)
6	1m30ddiN	1 minuto de irradiación, siembra en condiciones normales 30 días después de la irradiación
7	10m30ddiN	10 minutos de irradiación, siembra en condiciones normales 30 días después de la irradiación
8	30m30ddiN	30 minutos de irradiación, siembra en condiciones normales 30 días después de la irradiación
9	0m1ddiNaCl	0 minutos de irradiación, siembra en condiciones de 100mM de NaCl
10	1m1ddiNaCl	1 minuto de irradiación, siembra en condiciones de 100mM de NaCl 1 día después de la irradiación
11	10m1ddiNaCl	10 minutos de irradiación, siembra en condiciones de 100mM de NaCl 1 día después de la irradiación
12	30m1ddiNaCl	30 minutos de irradiación, siembra en condiciones de 100mM de NaCl 1 día después de la irradiación
13	0m30ddiNaCl	0 minutos de irradiación, siembra en condiciones de 100mM de NaCl
14	1m30ddiNaCl	1 minuto de irradiación, siembra en condiciones de 100mM de NaCl 30 días después de la irradiación
15	10m30ddiNaCl	10 minutos de irradiación, siembra en condiciones de 100mM de NaCl 30 días después de la irradiación
16	30m30ddiNaCl	30 minutos de irradiación, siembra en condiciones de 100mM de NaCl 30 días después de la irradiación

Proceso de siembra

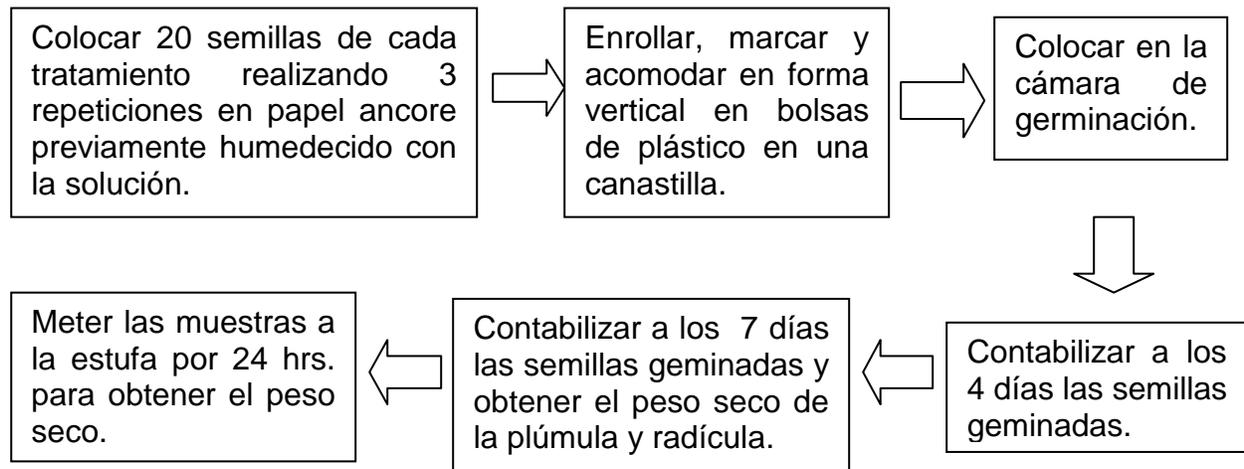


Figura 2. Diagrama de flujo del procedimiento para germinación de semillas de maíz (irradiadas y sin irradiar) en soluciones con diferente concentración de NaCl.

Evaluación

De acuerdo con las normas de la Asociación Internacional de Semillas (ISTA 1995), se realizó la prueba de germinación normal o estándar. Para esto se emplearon tres repeticiones de 20 semillas por tratamiento. Las semillas se colocaron sobre papel húmedo (Ancore) los cuales se enrollaron (a manera de taco), y se colocaron verticalmente dentro de bolsas de plástico para evitar pérdida de humedad. Todos los tratamientos se pusieron en una cámara de germinación a una temperatura de 25° C durante 7 días. Las variables evaluadas fueron: plántulas normales a los cuatro días (PNPC), plántulas normales a los siete días de incubación (PNSC); también se evaluó la longitud de la plúmula (LP), raíz (LR), total (LT). Además, se cuantificó el peso seco acumulado en cada uno de estos órganos (PSP, PSR y PST) respectivamente.

Variables evaluadas

- **Porcentaje de germinación**

Para esta variable únicamente se realizó un conteo del número de semillas germinadas consideradas como normales (ISTA, 1995), el resultado es reportado en porcentaje.

- **Vigor**

En esta variable se analizaron; plántulas normales a los cuatro días (PN4), plántulas normales (PN7), plántulas anormales (PA7) y semillas muertas (SM7) a los siete días de incubación; también la longitud de plúmula (LP), raíz (LR), total (LT) el peso seco acumulado en cada uno de estos órganos (PSP, PSR y PST) respectivamente.

- **Diseño Estadístico y Análisis de Datos**

Se utilizó un DBCA (Diseño de bloques completamente aleatorizados) en el cual se evaluaron dos condiciones de salinidad (0 y 100mM, NaCl), cada una de éstas incluyó radiaciones en distintos tiempos (0,1, 10 y 30 min) y siembras escalonadas 1 y 30 DDI (Días Después de la Irradiación). Los datos obtenidos fueron analizados con el paquete estadístico SAS 9.0. y graficados con el paquete SigmaPlot® 10.0, se realizó una comparación de medias Tukey 0.05 de confiabilidad para cada una de las variables evaluadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación

Los resultados obtenidos del análisis de comparación de medias en relación al porcentaje de germinación son los que se presentan en la siguiente figura;

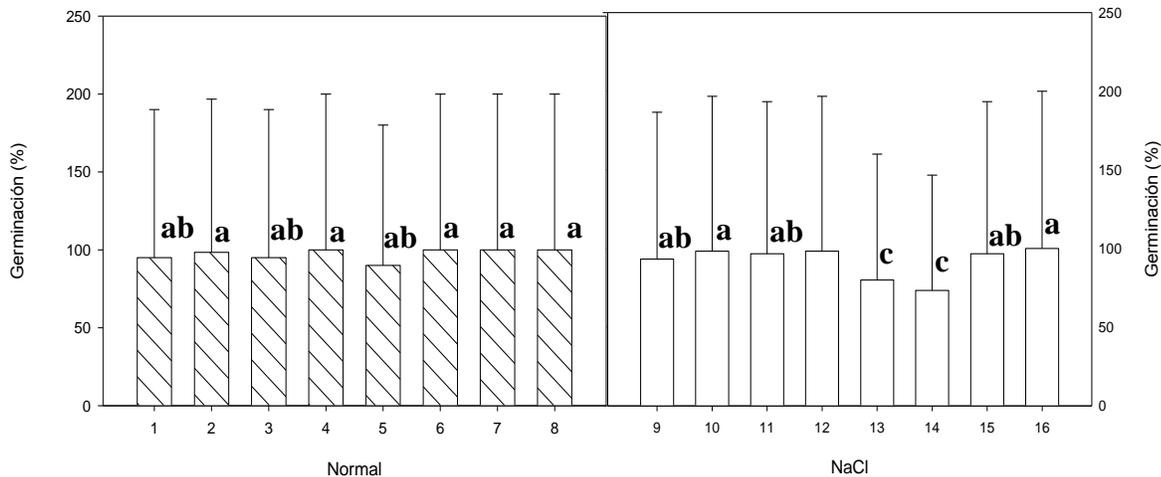


Figura 3. Porcentaje de germinación para los diferentes tratamientos. Las líneas muestran el error estándar. Letras iguales significa que no existió diferencia entre tratamientos.

Como puede observarse el tratamiento trece el cual no recibió irradiación tuvo un menor porcentaje de germinación con respecto del resto de los tratamientos que si fueron irradiados por un tiempo superior a un minuto, los resultados para los tratamientos germinados en condiciones normales no mostraron diferencia estadística significativa en relación a aquellos germinados en condiciones de salinidad, de igual forma se puede observar en el tratamiento catorce que la irradiación con UVC durante un minuto no promueve resistencia a la germinación en condiciones de salinidad ya que mostro diferencia significativa con los tratamientos 15 y 16. Nuñez y Mazorra (2001) utilizando brasinoesteroides en concentraciones de 0.01 ppm en maíz encontraron que éstos incrementan ligeramente (3.4%) la germinación en condiciones de 100 mM de NaCl, resultados muy similares a los obtenidos en este trabajo. Hernández y colaboradores (2009) encontraron que irradiando la semilla de maíz a bajas frecuencias (60Hz) electromagnéticas se obtienen resultados favorables en la

tasa de emergencia de las plántulas y en acumulación de materia seca. Éstos mismos autores (2009) mencionan que al exponer semilla de maíz a la luz láser ($\lambda=65\text{nm}$) en lapsos de 20 segundos mejora el porcentaje de emergencia de plántulas.

Altura de plántula

Los resultados obtenidos de acuerdo a la prueba de Tukey y el análisis de varianza indican que existieron diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.001$) en la variable altura de planta, para aquellos tratamientos que fueron sembrados en condiciones normales en comparación con aquellos que fueron sembrados en condiciones de salinidad, la Figura 4 muestra las diferencias entre éstos, además se puede observar que dentro de los tratamientos sembrados en condiciones normales no existe diferencias entre éstos y los testigo (tratamiento uno y cinco) mientras que los tratamientos que fueron sembrados en condiciones salinas si muestran diferencia significativas con respecto de los testigos (tratamiento nueve y trece) sembrados en condiciones normales no así entre ellos, es decir que no hubo diferencia de altura de planta entre a los diferentes tiempos de irradiación. Domínguez y colaboradores (2005), indican que al irradiar las semillas de maíz con un campo electromagnético de baja frecuencia se obtienen resultados en establecimiento de plántulas al cuarto día. Munns (2002) menciona que variedades de maíz tratadas en condiciones de salinidad de 80 a 100mM redujeron considerablemente el crecimiento de las plantas al acumular el NaCl en las hojas en mayor cantidad con respecto a su testigo.

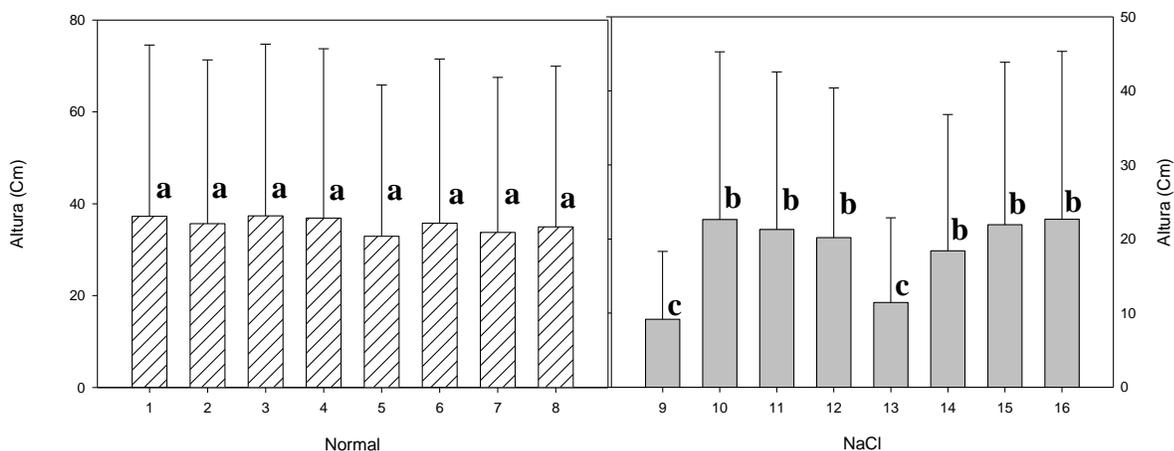


Figura 4. Altura de plántulas provenientes de semillas de maíz irradiadas con UVC, germinadas en dos condiciones de salinidad. La barra representa el error estándar en cada caso. Letras iguales significa que no existió diferencia entre tratamientos.

Peso fresco

Al analizar los datos obtenidos y aplicar la prueba de Tukey con una confiabilidad del 99% ($\alpha=0.001$) se encontró que existió diferencia altamente significativa en peso fresco entre aquellas plántulas sembradas en condiciones normales y las que fueron sembradas en condiciones de salinidad, el tratamiento ocho es el que acumuló mayor cantidad de peso fresco aunque no mostro diferencias con respecto del testigo uno (tratamiento uno), si muestra diferencias con respecto al tratamiento cinco (testigo dos) el cual no recibió radiación, Chen (2004) en su estudio sobre la influencia de irradiación laser He-Ne sobre semillas y crecimiento de plántulas de maíz, concluyo que dicho tratamiento contribuye a acelerar el crecimiento y desarrollo de las plántulas. Mientras que en las plántulas germinadas en condiciones de salinidad no se encontraron diferencias entre los diferentes tiempos de exposición con respecto al testigo, pero si con respecto a aquellas plántulas provenientes de semillas germinadas en condiciones normales, las cuales no se vieron afectadas por la cantidad de sales. Éstos resultados se pueden observar en la siguiente figura (5).

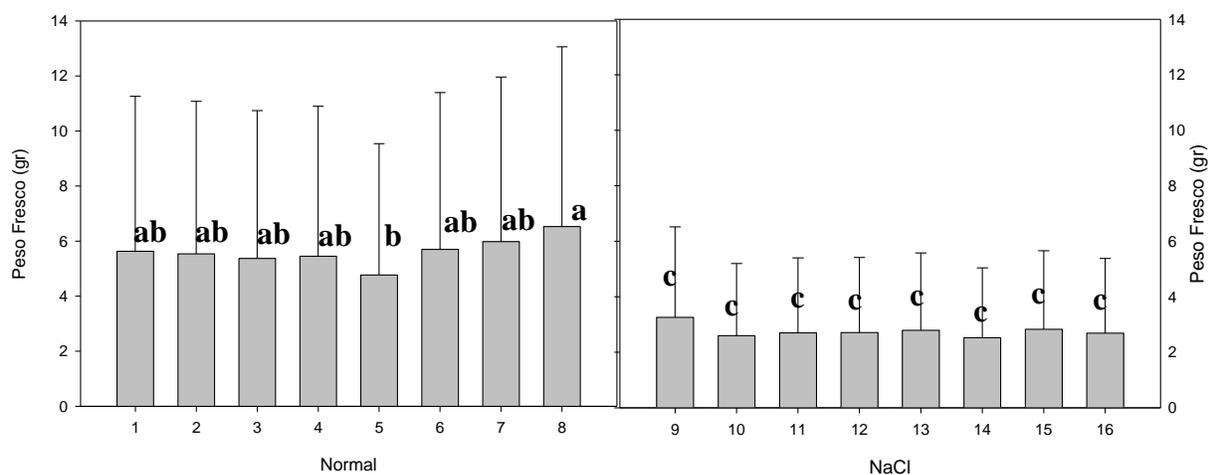


Figura 5. Peso fresco de plántulas provenientes de semillas de maíz irradiadas con UVC, germinadas en dos condiciones de salinidad. La barra representa el error estándar en cada caso. Letras iguales significa que no existió diferencia entre tratamientos.

Acumulación de materia seca

En cuanto a la acumulación de materia seca o biomasa el tratamiento que acumuló mayor cantidad de ésta fue el tratamiento diez, el cual mostró diferencias estadística significativa con el tratamiento 16, el resto de los tratamientos no mostró diferencias significativas con respecto de los testigos. Los resultados muestran que la acumulación de biomasa fue ligeramente mayor en aquellos tratamientos sembrados en condiciones normales, aunque sin ser estadísticamente significativos.

Hernández (2006), al analizar los efectos de irradiación láser de baja intensidad (potencia de 30 mW y una longitud de onda de 660 nm) como tratamiento pregerminativo sobre semillas de maíz (*Zea mays* L.), concluyeron que las respuestas positivas más altas se observaron con los tratamientos de 30 y 60 segundos, dichos tratamientos incrementaron de manera importante la tasa de emergencia de plántulas así como el peso seco de éstas.

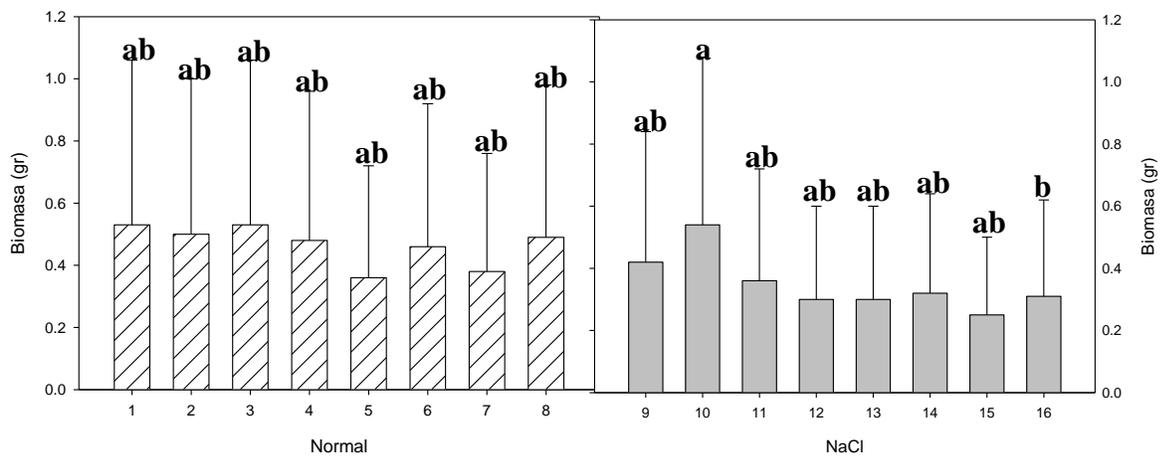


Figura 6. Acumulación de biomasa de plántulas provenientes de semillas de maíz irradiadas con UVC, germinadas en dos condiciones de salinidad. La barra representa el error estándar en cada caso. Letras iguales significa que no existió diferencia entre tratamientos.

V. CONCLUSIONES

El porcentaje de germinación de las semillas de maíz no fue modificado por la radiación UV-C (200-280 nm).

La capacidad de germinación en condiciones de salinidad es promovida cuando la semilla es irradiada por un periodo de tiempo superior a un minuto. La radiación UV-C estimula a la semilla para sobrevivir en condiciones salinas.

El crecimiento de plantas provenientes de semillas de maíz, sembradas en condiciones salinas, fue modificado por la irradiación UV-C que se dio como tratamiento pregerminativo. La irradiación aplicada tuvo un efecto a largo plazo que contribuyo a acelerar el crecimiento y desarrollo de las plantas sembradas en condiciones salinas.

VI. LITERATURA CONSULTADA

- Alcaraz, A. J.** 2009. Salinidad y vegetación. Geobotánica, Tema 18. 2 p.
- AOSA (Association of Official Seed Analyst)** 1983. Seed vigor testing handbook. Contribution No. 32 to handbook on seed testing. 93 p
- Bazzigalupi, S. M. y Andrés, A. N.** 2008. Tolerancia a la salinidad durante la germinación de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) Cien. Inv. Agr. 35(3): 277-285.
- Benavides-Mendoza A. Garnica-Serna J. Hernández-Aguilar C. Fuentes-Lara L. Ramírez H.** 2007. Irradiación láser de semillas de lechuga para modificar la calidad nutricional de las hojas. Tecnología Química. Edición Especial. p. 102-104.
- Benavides, M.A.** 2002. Ecofisiología y química del estrés en plantas, Departamento de Horticultura/UAAAN, 2002. Saltillo, Coah. México. p. 7.
- Carrasco-Ríos, L.** 2009. Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas. IDESIA (Chile) Volumen 27, N° 3, Páginas 59-76.
- Chen, Y.P., Ming Y., Wang, X.L.** 2004. Influence of He-Ne laser irradiation on seeds thermodynamic parameters and seedlings growth of *Isatis indogotica*. Plant Science 168, 601-606.
- COMAIZ**, (Comercializadora de granos). 2007. Todo sobre el *Zea mays* o Maíz, Quiminet, 31-10-2007.
- CONACULTA** (Comisión Nacional de Cultura). 2004. Expediente Técnico para la Postulación como Patrimonio Inmaterial y Oral de la UNESCO, México, D.F.
- Dell'Amico, J. M. y Parra, M.** 2005. Efecto del estrés por Na Cl en el contenido de cloruros, el potencial osmótico real y el crecimiento de dos cultivares de tomate cubano. Cultivos tropicales. Vol. 26, No. 2, p. 39-44.
- Feuchter, F. R.** 2000. Recuperación de suelos salinos agrícolas, mediante el establecimiento de praderas bajo riego y cultivos alternativos. Zoe Tecno-campo, Centro Regional Universitario del Noroeste, Universidad Autónoma Chapingo, Cd. Obregón, Sonora, México.

- Financiera Rural.** 2009. Autor anónimo. Monografía del maíz grano. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. p. 1-2. www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural.pdf.
- Fuentes, A. L. Sosa, C. M. y Pérez, H. Y.** 2007. Aspectos fisiológicos y bioquímicos del estrés salino en plantas. Monografía. Universidad Camilo Cienfuegos. Archivo electrónico.
- Grijalba, B. E. Villamizar, R. L. y Cotes, P. M.** 2009. Evaluación de la estabilidad de *Paecilomyces* sp. y *Beauveria bassiana* frente a la radiación ultravioleta. Revista Colombiana de Entomología. vol.35 no.1.
- Hernández AC, Carballo CA, Artola A, Michtchenko, A.** 2006. Laser irradiation effects on maize seed field performance. Seed Sci. Technol., 34: 193-197.
- Hernández Aguilar C., Dominguez P.A., Carballo C.A., Cruz O.A., Ivanov R., López B.J.L., and Valcarcel M.J.P.** 2009. Alternating magnetic field irradiation effects on three genotype maize seed field performance. Acta Agrophysica, 170, 7-17.
- ISTA (International Seed Testing Association).** 1995. Handbook of vigor test methods. 2. ed. Zurich. 117 p.
- Jordan, B. R. James, P. E. y A.-H.-Mackerness.** 1998. Factors Affecting UV-B-Induced Changes in *Arabidopsis thaliana* L. Gene Expression: the Role of Development, Protective Pigments and the Chloroplast Signal. Plant Cell Physiol. 39(7): 769-778.
- Koti, S. Reddy, K.R. Kakani, V.G. Zhao, D. Gao, W.** 2007. Effects of carbon dioxide, temperature and ultraviolet-B radiation and their interactions on soybean (*Glycine max* L.) growth and development. Environ Exp Bot 60:1-10.
- Lamikanra, O. Richard, O. and Parker, A.** 2002. Ultraviolet induced stress response in fresh cut cantaloupe. Phytoch. 60: 27-32.
- Layne-Garsaball, J. Méndez, J. y Mayz-Figueroa, J.** 2007. Efecto de la salinidad del suelo sobre la germinación de semillas de maíz de diferentes pesos en el oriente venezolano. Temas Agrarios - Vol. 12:(2):62-73.
- Layne-Garsaball, J. Méndez, J. y Mayz-Figueroa, J.** 2008. Efecto de la salinidad y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz

- (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 11(1):17-25.
- López, B. L.** 1991. Cultivos herbáceos, Vol. 1, Cereales. Ediciones Mundi-Prensa Madrid. Págs. 313-315.
- Luckey, T. D.** 1999 Radiation Hormesis Overview, *RSO Magazine*, Vol.8 No.4:22-34.
- Mark, U. Tevini, M.** 1996. Combination effects of UV-B radiation and temperature on sunflower (*Helianthus annuus* L., cv Polstar) and maize (*Zea mays* L., cv. Zenit 2000) seedlings. *J Plant Physiol* 148 (1-2): 49-56.
- Martínez, J. Monte, E. y Ruiz, F.** 2002. Fitocromos y desarrollo vegetal. *Investigación y Ciencia*. 305: 35-46.
- Matthews, S.** 1980. Controlled deterioration: a vigour test for crop seeds. In seed production Hebblethwaite ed. Butterworth and Co. Led. London UK. p. 647-660.
- Mittler, R.** 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7, 405–410
- Moreno, M. E.** 1996. El análisis físico y biológico de las semillas agrícolas. Instituto de Biología. UNAM. México D.F. p. 106.
- Munns, R.** 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Blackwell Science Ltd, *Plant, Cell and Environment*, 25, 239–250
- Niborski, M.** 2000. Exceso de sales y sodio en los suelos de las regiones áridas y semiáridas. Cátedra de conservación y manejo de suelos. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Núñez, M, Mazorra, L.** 2001. Los brasinoesteroides y la respuesta de las plantas al estrés. *Cultivos Tropicales* 22(3):19-26.
- Ochoa, M. A.** 1994. Producción de forraje en suelos salinos E.E.A. INTA Rama Caida, Mendoza, Argentina.
- Paliwal, R. L.** 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N°25.
- Perry, D.A.** 1981. El concepto de vigor de semilla y su relevancia en los técnicos de producción en: Hebbethwaite, p.d (ed). Producción moderna de semillas. Tomo II. Agropecuaria hemisferio sur. Uruguay, p. 693-701.

- Roca, M. J. y Almela, L.** 2004. La irradiación como tratamiento de poscosecha. Horticultura. Vol. 177. p. 28-29.
- Sayers, R.** 1982. Curso de actualización sobre tecnología de semillas. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas. p.129 – 132.
- Secretaría de Economía.** 2012. Autor anónimo. Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. Dirección General de Industrias Básicas. p. 2-13.
- Shannon, M.C.** 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, 60: 75-120.
- Silveira, A. C. Aguayo, E. Artés-Hernández, F. Artés, F.** 2006. Radiación UV-C y envasado en sala blanca, alternativas a la desinfección con cloro de melón “Galia”. V Simposio Ibérico sobre maduración y Post-recolección, Alicante, España, *Anales*: 1: 181-185. Medio de divulgación: Internet; www.post2006.umh.es/
- Stapleton, A.E.; Walbot, V.** 1994. Flavonoids can protect maize DNA from the induction of ultraviolet radiation damage. *Plant Physiol* 105 (3): 881-889.
- Tapia, F.M. Faúndez F. N. y Castillo G. M.** 2003. Fotosensibilidad de plantines de maíz (*Zea mays*) expuestos a radiación ultravioleta del tipo B. Universidad de Chile. Archivo electrónico. E-mail: mtapia@uchile.cl
- Winicov I, Bastola D.R.** 1997. Salt tolerance in crop plants: new approaches through tissue culture and gene regulation. *Acta Physiologiae Plantarum* 19: 435-449
- Zhu, J. K.** 2001. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science* 6, 66–71.