

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



EFFECTO DEL YODO EN GERMINACIÓN Y VIGOR EN PLANTAS DE
LECHUGA (*Lactuca sativa* var. Great Lakes)

POR:

MARCO ANTONIO BASALDÚA RIVERA

TESIS

PRESENTACIÓN COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Tesis

EFFECTO DE YODO EN GERMINACIÓN Y VIGOR DE PLANTAS DE
LECHUGA (*Lactuca sativa* var. Great Lakers)


Por:

Marco Antonio Basaldúa Rivera

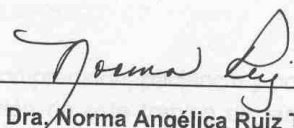
Que somete a la consideración del H. Jurado examinador como
requisito para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

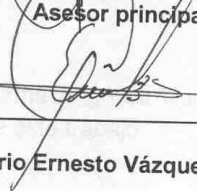
Aprobado por:



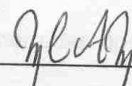
Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor principal




Dra. Norma Angélica Ruiz Torres
Asesor



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Asesor



Ing. María Cecilia Arroyo Medina
Asesor



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coordinador de la División de Agronomía



Buenvista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2009

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios y a la Virgencita de Guadalupe por toda esta dicha y esta maravillosa vida que me ha dado, pero sobre todo por darme la oportunidad de llegar hasta donde ahora estoy y por todas las bendiciones que me han enviado por eso y por todo gracias señor muchas gracias.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Mi Alma Terra Mater por haberme abierto sus puertas y acogerme dentro de ella durante estos años que pase aquí en esta universidad que es la mejor.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza, por su apoyo, confianza y su valioso tiempo que nos dedico en la realizaron de este trabajo de tesis y su apreciable amistad brindada.

A la Ing. Ma. Cecilia Arrollo Medina por su comprensión, paciencia y por todo lo que nos ayudo, enseñó durante la realización de este trabajo de tesis y sus acertadas revisiones, pero sobre todo por su gran amistad que nos ha brindado.

A la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres por sus acertadas aportaciones en las revisiones de este trabajo.

Al Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo por sus comentarios y acertadas revisiones en este trabajo.

Y a todos mis profesores que me ayudaron en mi formación como profesional que con paciencia, dedicación y grandes esfuerzos me ayudaron con sus enseñanzas.

DEDICATORIAS

A mis padres:

La señora Elvia Rivera Sánchez y al señor Gerardo Basaldúa Rojas por ser las principales razones de mi vida y brindarme esta oportunidad para formarme como profesional, gracias por todo su incondicional apoyo, consejos y sobre todo por ese amor que siempre me han brindado LOS AMO.

A mi hermano

Gerardo Basaldúa Rivera y a mi cuñada Erika, gracias carnal por todo esos momentos especiales que hemos pasado pero sobre todo por tu apoyo y sacrificios que has pasado por darme a mí lo necesario para realizarme como lo que hasta hoy soy gracias te quiero mucho.

A mi esposa y a mi hija

Anali y Karen Naomí gracias flaquita por todo tu esfuerzo y paciencia que me has tenido para terminar bien todo este trabajo, pero sobretodo muchas gracias por haberme dado la alegría más grande de mi vida que es mi hija y por estar a mi lado en los momentos más difíciles que he tenido LAS AMO.

A mis abuelitos

La Sra. María del Socorro (†) (mi coquito), la Sra. María (doña Mari), al Sr. Hilario (don Layo) Basaldúa y al Sr. Pedro Rivera (†), por todos sus sabios consejos y sus bendiciones, cuidados y por ser parte de esto ya que siempre me apoyaron moralmente y pues en especial a mi (coquito) que siempre me

ayudo en todo gracias abuelitos los quiero mucho y lo saben aunque unos ya no estén con migo pero esto se los dedico a los cuatro.

A todos mis tías (Mello, Emi, Vicenta, Flor, Roció, Belén, Guille, Mari y a doña Chave) y tíos (Chuy, Chive, Ran, Raúl, Emilio, Federico y José Luis) por su gran apoyo brindado durante mi estancia en la universidad pero en especial por su amistad y consejos brindados gracias a todos.

A todos mis primas (Itzel, Dianita, Ale, Edid, Mayra, Cris, Jazmín Lupita, Carmen y Liz) y a mis primos (chato, chucho, julio, carnita, periquito, Pedro, el prieto, miguelito, Erik, el prietito a Jorgito, Santi y la mosca) que siempre estuvieron con migo y me llenaron de alegría siempre que nos juntábamos e echar la cascarita.

A Jorge, Raúl y Ale León mis primos y segundos hermanos por todos sus consejos y apoyo y confianza que jamás podré encontrar el otras personas, gracias.

A mis compañeros de generación en especial a Víctor (chepe), Daniel (gil), Héctor, José Juan, Martin, Tori, Martín S. L, al Ing. Moncho, a mi paijita David, a Raúl (morra), al güero, al cuate, Juan, Ademir, Pichardo, Laurialin, Samuel y peña, a mi compadre Enrique Bucio y a todo aquel que me brindo su amistad gracias.

A Valeria y a Pily por su gran amistad y por su apoyo, consejos y por toda su confianza brindada durante estos años y sobre todo pro ser las mejiores amigas que nunca encontraré.

Y a todos aquellos que hagan un buen uso de este material.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Agradecimientos.....	i
Dedicatorias.....	iii
Índice de contenido.....	v
Índice de cuadros.....	vii
Índice de figuras.....	x
Introducción.....	1
Objetivo.....	3
Hipótesis.....	3
Revisión de literatura.....	4
Origen e importancia de la lechuga.....	4
Producción mundial.....	5
Producción nacional.....	6
Germinación.....	6
Generalidades de plántulas normales.....	8
Generalidades de plántulas anormales.....	8

Prueba de vigor.....	9
Importancia de yodo.....	10
Materiales y métodos.....	16
Ubicación geográfica del experimento.....	16
Diagrama del trabajo.....	16
Material utilizado.....	17
Sustancias químicas utilizadas.....	17
Preparación de yoduro de potasio, yodato de potasio y cloruro de sodio...	17
Tratamiento de la semilla con yodo.....	17
Siembra de semilla.....	18
Parámetros a evaluar.....	19
Plántulas normales (PN).....	19
Plántulas anormales (PA).....	19
Semillas sin germinar (SSG).....	19
Longitud media de plúmula (LMP).....	20
Longitud media de raíz (LMR).....	20
Peso seco de plúmula y raíz (PS P Y R)	20

Vigor.....	20
Índice de velocidad de emergencia.....	21
Análisis estadístico.....	21
Resultados y discusión.....	22
Germinación en ambiente idóneo.....	22
Germinación en ambiente salino de 100 mM NaCl.....	23
Germinación en ambiente salino de 200 mM NaCl.....	25
Germinación en Ambiente de Baja temperatura 3 °C.....	27
Germinación en Ambiente de Baja temperatura 9 °C.....	28
Longitud Media de Plúmula y Longitud Media de Radícula en los Ambientes de Idóneo, Salino 100 y 200 mM de NaCl.....	29
Índice de velocidad de emergencia.....	32
Conclusiones.....	35
Literatura citada.....	38
Apéndice.....	42

Cuadro	ÍNDICE DE CUADROS	Pág.
4.1.	Comparación de medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en ambiente idóneo.....	23
4.2.	Comparación de medias para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Salino de 100 mM de NaCl.....	24
4.3.	Comparación de medias para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Salino de 200 mM de NaCl.....	26
4.4.	Comparación de medias para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente de Baja Temperatura a 3°C.....	27
4.5.	Comparación de medias para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente de Baja Temperatura a 9° C.....	29
4.6.	Comparación de medias para la variable de Longitud Media de Plúmula y Radícula en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo, Salino de 100 y 200 mM de NaCl.....	31

4.7.	Comparación de medias para Índice de Velocidad de Emergencia en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo, Salino de 100 y 200 mM de NaCl.....	33
------	---	----

Figura	ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
3.1.	Esquema de tratamientos de la investigación.....	16
4.1.	Germinación de semillas tratadas con yodo en Ambiente Salino de 100 mM de NaCl.....	25
4.2.	Índice de Velocidad de Emergencia en semillas tratadas con yodo y germinadas en ambiente idóneo y en medio salino de 100 y 200 mM de NaCl.....	34

INTRODUCCIÓN

El yodo o iodo (I), es uno de los halógenos de mayor importancia, parece ser un elemento que en cantidades muy pequeñas, es esencial para la vida animal y vegetal. El yoduro y el yodato se encuentran en aguas marinas, mientras que en los mamíferos superiores el yodo se encuentra en la glándula tiroides.

Es un oligoelemento que se emplea principalmente en medicina, fotografía y como colorante. Químicamente, el yodo es el halógeno menos radioactivo y menos electronegativo.

La concentración de yodo disponible en el suelo se encuentra en función del material madre del suelo y la distancia al mar, las zonas montañosas, los valles y las planicies del interior de los continentes muestran bajas concentraciones de yodo que históricamente se asocian con deficiencias de yodo en humanos.

Diversos esfuerzos se han llevado a cabo para añadir yodo en plantas terrestres sobre todo en plantas medicinales y hortalizas, para dar un mayor valor terapéutico y alimenticio. La aplicación de yodo como yodato de potasio

en el agua de riego ($10-80 \mu\text{g L}^{-1}$ por cuatro semanas) fue efectiva durante cuatro años para elevar la concentración de yodo en los suelos y plantas en regiones de China con severa deficiencia de yodo. Por otra parte se encontró que al aplicar yodo con fertilizante al suelo (en forma de kelp y tierra de diatomeas) la absorción de yodo por hortalizas estaba en función directa de la concentración del elemento en el suelo, hasta alcanzar un límite que se presentó diferente para cada especie vegetal.

Para verificar el valor fertilizante, el yodo (como yoduro, yodato u otras formas químicas) fue añadido a una solución nutritiva de un cultivo hidropónico de espinaca, encontrándose que la cantidad de yodo en los tejidos vegetales se elevó al aumentar la concentración en la solución pero detectando un efecto negativo en concentraciones mayores a 10^{-6} molar (1.3 mg L^{-1}) de yoduro, mientras que el yodato no tuvo efecto sobre la acumulación de biomasa en la planta.

La presente investigación se realizó para aportar elementos acerca del potencial de la aplicación del yodo en la práctica agrícola. En esta fase, el estudio se realizó usando como modelo biológico las semillas de lechuga expuestas a diferentes concentraciones de yodo.

PALABRAS CLAVE:

Yodo en lechuga; Germinación; Vigor; Yoduro; Yodato; Cloruro de sodio; Tratamiento de semilla; Plantulas.

Objetivo

Determinar el efecto del yodo aplicado en la semilla sobre la germinación y vigor en plántulas de lechuga.

Hipótesis

Al menos una concentración de yodo en el espectro de 10^{-8} a 10^{-2} Molar promueve la germinación y el vigor de la lechuga.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen e importancia de la lechuga

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque algunos autores afirman que procede de la India, hoy en día los botánicos no se ponen de acuerdo, ya que existe un seguro antecesor de la lechuga, *Lactuca scariola* L., que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas. Siendo las variedades cultivadas actualmente una hibridación entre especies distintas (Lindquist, 1960).

El cultivo se remonta a una antigüedad de 2,500 años, siendo conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas de las que se tienen referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI. Los egipcios las empezaron a cultivar 2,400 años antes de esta era y se supone que la utilizaban para extraer el aceite de las semillas, así como para forraje; en pinturas encontradas en tumbas egipcias, aparecen plantas que se asemejan a las lechugas romanas o de tipo con hojas alargadas y terminadas en punta. Dos años más tarde se obtuvieron numerosas variedades gracias a los estudios llevados a cabo por horticultores alemanes. En la actualidad, la lechuga es una verdura cultivada al aire libre en zonas templadas de todo el mundo y también en invernadero.

La lechuga es una planta anual, que cuando se encuentra en su etapa juvenil contiene en sus tejidos un jugo lechoso de látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta. Se reporta que las raíces principales de absorción se encuentran a una profundidad de 5 a 30 cm. La raíz principal llega a medir hasta 1.80 m, por lo cual se explica su resistencia a sequía.

Las hojas de la lechuga son lisas, sin pecíolos (sésiles); el extremo puede ser redondo o rizado. Su color va del verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo y el cultivar. El tallo es pequeño y no se ramifica, sin embargo, cuando existen altas temperaturas (mayores de 26 °C) y días largos (>12 h), el tallo se alarga hasta 1.20 m de longitud, ramificándose el extremo y presentando cada punta de las ramillas terminales una inflorescencia.

En lo que se refiere a la inflorescencia, ésta se constituye de grupos de 15 a 25 flores, las cuales están ramificadas y son de color amarillo.

Las semillas son largas (4-5 mm), de color blanco crema, aunque existen pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas recién cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia del oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30° C) para inducir la germinación.

Producción Mundial

La producción mundial de la lechuga en el 2002 fue de 18, 75 millones de toneladas dentro de los cuales como principal productor del mundo

encontramos a China con 8 millones de toneladas y como segundo productor del mundo Estados Unidos con 4,35 millones de toneladas.

Asia abarca más de la mitad de la producción mundial de lechuga fresca, con un 54 %, en gran parte de la producción procedente de China que se especializa en lechugas de tipo espárrago o de tallo. América y Europa en importancia con un 26% y 17% respectivamente. El resto de los países registran dinámicas muy bajas en el caso de España, Italia y Francia, incluso negativas.

Producción Nacional

De acuerdo a la SAGARPA en el resumen nacional por delegación del año 2003 en el cultivo de lechuga incluyendo los de riego y temporal, los estados con mayor superficie sembrada y superficie cosechada son: Guanajuato, Puebla, Zacatecas, Sonora, San Luis Potosí, Michoacán, entre otros. Puebla es el estado con mayor producción con 55,106.00 ton, seguido por Guanajuato con 50,863.50 ton y Zacatecas con 35,487.00 ton. Aguascalientes es el estado que obtuvo mayor rendimiento con 36,284 ton ha⁻¹, seguido de San Luís Potosí con 299,595 ton ha⁻¹ y en tercer lugar Tlaxcala con 28,950 ton ha⁻¹.

Germinación

La calidad fisiológica de la semilla incluye los atributos de viabilidad, capacidad de germinación y vigor; siendo la semilla un insumo vivo en la producción agrícola, es importante que cuente con la capacidad de reproducir

una planta y lograr su establecimiento en campo y obtener rendimientos de forraje y/o grano. La semilla como una unidad biológica, es susceptible a ser dañada en todo instante, por lo que su manejo desde la maduración hasta la siembra requiere un alto grado de especialización. La calidad fisiológica depende de factores bióticos y abióticos que pueden fácilmente dañar en la maduración, cosecha, secado, acondicionamiento, almacenamiento, distribución y durante su siembra.

La viabilidad de la semilla significa que es capaz de germinar y de producir una plántula normal, por lo que se usa como sinónimo de capacidad de germinación. La viabilidad denota en grado a que se encuentra viva una semilla, activa y posee enzimas capaces de catalizar reacciones necesarias para la germinación.

La capacidad de germinación es el porcentaje de semilla pura que produce plántulas normales bajo condiciones óptimas de luz, agua, aire y temperatura, indicando esta prueba el potencial de un lote de semilla para establecer plántulas bajo condiciones favorables de campo.

La germinación de la semilla puede ser evaluada en el laboratorio mediante el ensayo de germinación o prueba estándar y consiste en sostener un número de semillas a condiciones favorables por un periodo determinado para cada especie y determinar plántulas normales, que corresponden a la capacidad de germinación (Moreno, 1996).

Generalidades de plántulas normales

Se consideran plántulas normales a aquellas que poseen las estructuras esenciales para producir en el suelo buena calidad preparando en el laboratorio plántulas normales en condiciones de agua, luz y temperatura.

Cuando la prueba de germinación sea en un sustrato artificial, se consideran plántulas normales a aquellas que presenten las estructuras esenciales como son: un sistema radicular bien definido incluyendo raíz primaria, hipocotilo bien desarrollado e intacto, plúmula intacta de color verde y un cotiledón en monocotiledóneas y dos cotiledones en dicotiledóneas.

Aquellas que presenten defectos ligeros, siempre y cuando el resto e sus estructuras revelen un desarrollo vigoroso y balanceado.

Aquellas que estén invadidas por hongos o bacterias, siempre y cuando sea evidente que la fuente de infección no es la misma semilla, y que estén presentes las estructuras esenciales (Moreno, 1996).

Generalidades de plántulas anormales

Estas son las que no se pueden clasificar como normales por tener alguna deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales lo que les impide el desarrollo normal cuando crecen en un suelo preparado y en condiciones favorables de agua, luz y temperatura. (Moreno, 1996).

Prueba de vigor

El vigor de las semillas indica la habilidad para emerger y poder ser establecida en campo. El vigor no es fácilmente detectado en un ensayo de germinación, no siempre es necesario una prueba especial que evalúe vigor, mediante la manifestación del potencial de la semilla a superar condiciones adversas o mostrar fisiológicamente aspectos como rapidez en velocidad de germinación, uniformidad y alto número de plántulas normales.

La ISTA (2004) lo define como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de la plántula. Las que se comportan bien se denominan semillas de alto vigor y las que se comportan pobremente son denominadas semillas de bajo vigor.

Esta definición engloba los procesos que han sido directamente relacionados con las diferencias en el vigor de las semillas:

- Procesos y relaciones bioquímicas durante la germinación, tales como reacciones enzimáticas y actividad respiratoria.
- Capacidad de emergencia de plántulas bajo condiciones desfavorables del medio ambiente.

Entre las causas de la variabilidad del vigor de las semillas se citan las siguientes: genotipo, medio ambiente y nutrición de la planta, estado de

madurez en el momento de la cosecha, tamaño, peso y peso volumétrico, daño físico, deterioro, envejecimiento y patógenos.

Evaluar el vigor de la semilla es de gran utilidad para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas. Igualmente es de valor para comparar el potencial biológico de lotes con porcentajes de germinación similares y también para tomar decisiones sobre el tiempo de almacenaje al que pueden ser sometidas las semillas, ya que se ha visto que el vigor y la longevidad están altamente correlacionados (Moreno, 1996)

Importancia del yodo

El yodo o iodo (I) es un elemento químico de número atómico 53 situado en el grupo de los halógenos (grupo 17) de la tabla periódica de los elementos. Como los restantes halógenos del grupo VII de la tabla periódica, el yodo forma moléculas diatómicas.

El yodo es el alógeno menos abundante, presentándose en la corteza terrestre con una concentración de 0,14 ppm, mientras que en el agua del mar su abundancia es de 0.052 ppm. El yodo para uso medicinal, industrial o alimenticio se obtiene de los yoduros, I⁻, presentes en el agua de mar y en algas, o en forma de yodatos, IO₃⁻ a partir de los nitratos de Chile. En el suelo,

el yodo se encuentra tanto en materia inorgánica como en forma de complejos haloorgánicos (Bostock *et al.*, 2003).

No se conoce una función metabólica del yodo en plantas (Benton-Jones, 1998), pero su valor como micro nutriente benéfico está bien establecido (Borst Pauwels, 1961). Sin embargo, varias especies de plantas marinas (como el alga denominada “Kelp” *Laminaria digitata*) se reportan como acumuladores de yodo alcanzando hasta el 1% de su peso seco como yodo (Leblanc *et al.*, 2006), no apareciendo reportada esta actividad en plantas terrestres. En las plantas marinas el yodo se acumula principalmente en forma inorgánica y en segundo lugar como complejos con aminoácidos (Roche y Yagi, 1952). Tampoco se reporta si el yodo se acumula en forma iónica o con valencia cero. Esta última posibilidad es importante desde el punto de vista industrial (Yokohama y Kobayashi, 2003).

La concentración de yodo disponible en el suelo se encuentra en función del material madre de suelo (Aston y Brazier, 1979) y la distancia al mar. Tanto en los lechos oceánicos como en el suelo el yodo es volatilizado por microorganismos (Amachi *et al.*, 2001) y plantas (Bostock *et al.*, 2003), permitiendo su movilidad entre diferentes regiones (Según Laturus, 2001, la volatilización de yodo por microalgas marinas contabiliza emisiones entre 10^7 y 10^8 g año⁻¹), en el caso de algas cafés como *Laminaria* la volatilización depende de haloperoxidasas dependientes de vanadio (Leblanc *et al.*, 2006). El viento también es un factor involucrado al movilizar aerosoles marinos hacia las zonas terrestres, pero su efecto es limitado por la topografía. Las zonas montañosas,

los valles y las planicies del interior de los continentes muestran bajas concentraciones de yodo que históricamente se asocian con deficiencias de yodo en humanos (Aston y Brazier, 1979). Como un ejemplo, en el estudio de Shinonaga *et al.* (2001) se estableció que la concentración de yodo en cereales de grano de zonas agrícolas continentales de Europa iba desde 0.002 a 0.03 $\mu\text{g g}^{-1}$, valores bajos en comparación con los arriba citados.

En cuanto a los factores edáficos que modifican la disponibilidad y absorción del yodo en el suelo se ha encontrado que a mayor cantidad de materia orgánica en el suelo ocurre mayor absorción del yodo por las plantas, sobre todo cuando este se encuentra en forma de yodato (IO_3^-) (Seki *et al.*, 1984). Este efecto parece depender de la habilidad de las sustancias húmicas para complejar o adsorber el yodo (proceso al parecer mediado por microorganismos) y disminuir su volatilización (Bostock *et al.*, 2003). Se sabe también que parece existir una relación negativa entre el contenido de arcillas del suelo y la absorción de yodo por las plantas y que el pH del suelo no parece ejercer efecto alguno en el intervalo de 5.4 a 7.6 (Shinonaga *et al.*, 2001).

Diversos esfuerzos se llevan a cabo para añadir el yodo en plantas terrestres (sobre todo en plantas medicinales y hortalizas) para darles un mayor valor terapéutico o alimenticio (Cui *et al.*, 2003). Por otra parte Weng *et al.*, (2003) encontraron que al aplicar yodo como fertilizante al suelo (en forma de kelp y tierra de diatomeas) la absorción de yodo por hortalizas estaba en función directa de la concentración del elemento en el suelo hasta alcanzar un límite que se presentó diferente para cada especie vegetal. Al respecto es

sabido que existe una gran variación en los contenidos de yodo en el agua, y ello tiene impacto sobre la concentración de yodo de los alimentos y por ende en la población que consume dicha agua y alimentos (Pedersen *et al.*, 1999).

Para verificar su valor como fertilizante el yodo (como yoduro y yodato u otras formas químicas) fue añadido a la solución nutritiva de un cultivo hidropónico de espinaca, encontrándose que la cantidad de yodo en los tejidos vegetales se elevó al aumentar la concentración en la solución pero detectando un efecto negativo en concentraciones mayores a 10×10^{-6} molar (1.3 mg L^{-1}) yoduro, mientras que el yodato no asumió efecto sobre la acumulación de biomasa en la planta (Zhu *et al.*, 2003). En tomate, cebada, Umaly y Poel (1970) encontraron que 1 mg L^{-1} de yoduro de potasio en la solución nutritiva promovió el crecimiento, mientras que 5 mg L^{-1} no ejerció efecto distinguible del testigo y 10 mg L^{-1} tuvo un efecto inhibitorio. Los mismos autores encontraron que en plantas de chícharo todas las concentraciones de yoduro de potasio ejercieron efecto negativo. Se encontró que al alcanzar las concentraciones inhibitorias, el yoduro fue más tóxico que el yodato (Umaly y Poel, 1971). Este mismo resultado fue reportado por Whitehead (1973) para las plantas forrajeras que crecieron con soluciones nutritivas de yoduro y yodato de potasio a concentración desde 0.2×10^{-7} molar hasta 1.0×10^{-6} molar. Whitehead (1973) reportó que la mayor parte del yodo absorbido por las plantas se retuvo en la raíz y una cantidad menor fue transportada a los tallos y hojas.

Adicional al valor fertilizante, el yodo parece funcionar como antioxidante en prácticamente todos los organismos. Se cree que constituye uno de los

primeros antioxidantes utilizados por los organismos fotosintéticos primitivos (Venturi y Venturi, 2007).

Además del efecto fertilizante y su valor antioxidante, el yodo parece relacionarse con el proceso de generación controlada de radicales libres, lo cual eleva la capacidad de tolerancia de los organismos frente al estrés ambiental. Esta faceta del uso del yodo no ha sido investigada ni aplicada en la práctica agrícola. En el caso de las plantas marinas se sabe que el exceso de yodo libre en solución es tóxico para los organismos, pero el yodo es rápidamente incorporado en compuestos orgánicos formando aminoácidos y lípidos yodados, con una mayor tolerancia al estrés oxidativo causado por radicales libres (Venturi y Venturi, 2007).

La capacidad potencial del yodo de inducir estrés oxidativo controlado, y una posterior respuesta de inducción de tolerancia al estrés se extrae indirectamente de la siguiente evidencia experimental: (1) El yoduro (I-) en presencia de agua funciona como inductor en las bacterias de las haloperoxidasas, enzimas capaces de formar yodometabolitos (Van Pée, 1996), demostrando una reacción de volatilización del yodo en presencia de estrés oxidativo. (2) La reacción de tinción de almidón frente al yodo-yoduro de potasio es evitada por la presencia de gran cantidad de ascorbato (10^{-4} M) (Sharma y Sharma, 1990), demostrando claramente un efecto oxidativo del yodo en los tejidos vegetales, efecto que se revierte por antioxidantes. (3) En animales el yodo se encuentra relacionado con reacciones de apoptosis y del sistema

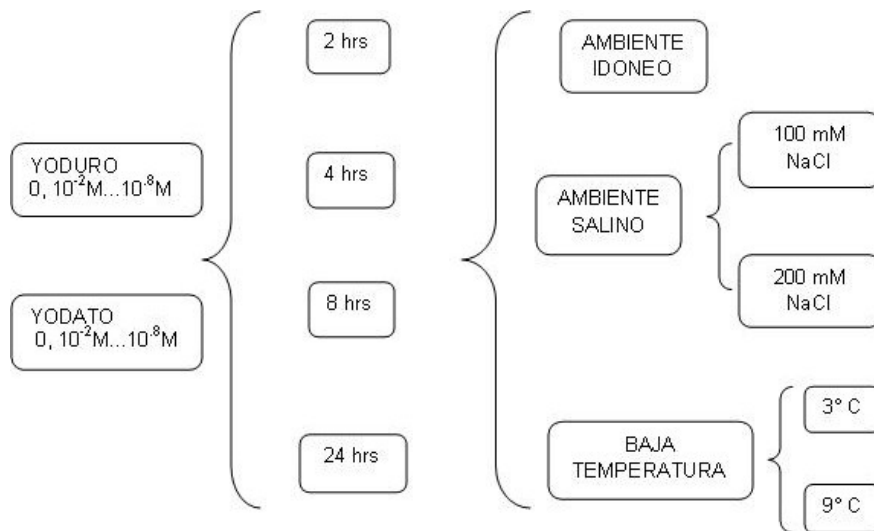
inmune, mismas que se sabe dependen de la generación controlada de radicales libres (Venturi y Venturi, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica del experimento

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Ensayos de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, la cual está ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con una latitud norte de 25° 22', una longitud oeste de 101° 00' y una altitud de 1742 msnm.

Esquema de la investigación



Las pruebas de germinación se realizarán en tres diferentes ambientes: uno idóneo sin aplicación de estrés, salino (100 mM y 200 mM de NaCl) y baja temperatura (3 y 9 °C), en el ambiente idóneo se colocarán en una cámara de germinación a 26 °C durante siete días, el salino consistió en humedecer el sustrato (papel filtro) con una solución a 100 y 200 mM de

NaCl, en la cámara germinadora a 26 °C, y el ambiente de baja temperatura se colocaron en refrigeradores a 3 y 9 °C durante siete días.

Material utilizado

El experimento en el laboratorio se utilizaron, cajas de plástico, papel filtro, semillas de lechuga de la variedad Great Lakes, pinzas, tijeras, vasos pequeños de plástico, charolas de 200 cavidades, balanza analítica, refrigeradores, una cámara de germinación y estufa de secado. La cámara de germinación estaba a una temperatura de 26° C y los refrigeradores a una temperatura de 3 y 9° C.

Sustancias químicas utilizadas

Se utilizó yoduro de potasio, yodato de potasio en el espectro de 10^{-8} a 10^{-2} M, agua desionizada y cloruro de sodio (NaCl) a 100 y 200 mM.

Preparación de yoduro de potasio, yodato de potasio y cloruro de sodio.

Se pesaron 1660.14 mg de yoduro y 2139.9 mg de yodato para obtener una concentración de 10^{-2} M. Sucesivas diluciones de 1:10 permitieron obtener el resto de las concentraciones 10^{-3} , 10^{-4} , etc.

Tratamiento de la semilla con yodo

Se colocaron 200 semillas en vasos de polietileno y se les agregó la solución de yoduro y yodato en el espectro de 10^{-2} M hasta 10^{-8} M con un testigo, al cual solo se le agregó agua desionizada y se expusieron a tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas.

Siembra de semilla

La siembra de la semilla de lechuga se hizo en cajas de plástico, dentro de ellas se ubicaron dos piezas de papel filtro cortados a la medida de la caja, el papel filtro fue previamente sumergido en agua. Las cajas se colocaron en la cámara germinadora a una temperatura de 26°C.

Para ambiente salino se realizó de igual forma, en cajas petri de plástico, dentro de ellas se colocaron dos piezas de papel filtro, lo cual se corto a la medida de la caja, el papel filtro fue previamente sumergido en la solución de cloruro de sodio (NaCl). Una vez listas las cajas se metieron dentro de la cámara germinadora a 26°C.

Para el ambiente de baja temperatura se realizó el mismo procedimiento, pero la diferencia fue que al final las cajas petri con las semillas se colocaron en refrigeradores a temperaturas de 3 y 9°C.

En cada caja se acomodaron 50 semillas por cada repetición y se etiquetaron con la fecha, tratamiento y repetición.

Después de la siembra las cajas se colocaron en charolas y se trasladaron a la cámara de germinación a una temperatura de 26°C y a los refrigeradores con temperaturas de 3 y 9°C. El reemplazo del volumen de agua en las cajas se llevó a cabo con agua desionizada.

Las determinaciones de germinación se realizaron a los cuatro y siete días después de la siembra.

Parámetros a evaluar

Plántulas normales (PN)

Se consideraron aquellas que poseen las estructuras esenciales para producir plantas bien desarrolladas.

Raíz: Larga y vigorosa, de preferencia que sobrepase el largo normal.

Hipocotilo: Largo y vigoroso, de preferencia sin hendiduras. Lesiones que alcancen el tejido conductor central.

Cotiledones: a) Dos. b) Si hay necrosis o lesión, se clasifica como normal, siempre y cuando abarquen menos de la mitad del cotiledón.

Epicotilo: Presente y completamente libre de deterioro.

Plántulas anormales (PA)

Las plántulas que mostraron alguna deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales, lo que les impidió un desarrollo normal en condiciones favorables, plantas dañadas, sin cotiledones, con fisuras, sin raíz primaria, plántulas deformes, con un desarrollo débil, plántulas con estructuras esenciales deterioradas por hongos y bacterias.

Semillas sin germinar (SSG)

Son aquellas que no germinaron y que se les clasifique como latentes o duras.

Longitud media de plúmula (LMP)

En este parámetro se utilizaron 10 plántulas (por repetición), que se tomaron al azar, se utilizó un vidrio con papel milimétrico, se midió la longitud de la plúmula y el dato de cada planta se reportó en centímetros, después se determinó su valor promedio.

Longitud media de raíz (LMR)

En este parámetro se utilizaron las mismas 10 plántulas del parámetro anterior, donde se tomaron los datos de igual forma, pero ahora se midió la radícula, obteniendo los datos en centímetros, después se determinó su valor promedio.

Peso seco de plúmula y raíz (PS P Y R)

Las plántulas que se utilizaron para la evaluación de este parámetro fueron las 10 que se usaron para evaluar los parámetros de longitud de plúmula y raíz de secado. El material vegetativo se puso en bolsas de papel blanco enceradas y fueron llevadas a una estufa con temperatura de 65 °C por 24 horas.

Al siguiente día se retiraron las plántulas de la estufa y de la bolsa, después se pesaron en la balanza analítica ya citada y el resultado fue expresado en miligramos por plántula (promedio de las 10 plantas).

Vigor

Índice de velocidad de emergencia

Este se determinó en un ensayo en invernadero, contando las plántulas emergidas durante siete días, la velocidad de emergencia se tomó como índice de vigor de plántulas de cada repetición (Maguirre, 1962).

Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con un arreglo factorial, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones.

Modelo lineal

$$Y_{ijk} = R_i + T_j + H_k + TH_{jk} + EE_{ijk}$$

Donde:

i= repeticiones

j=tratamientos

k=tiempo (horas).

Bioestadística

R_i = es el efecto de la media de la i-esima repetición; T_j = es el efecto medio del j-esimo tratamiento; H_k = es el efecto medio de la k-esima hora (tiempo); TH_{jk} = es el efecto de la media de la j-esimo tratamiento por el k-esimo tiempo (hora); EE_{ijk} = efecto del error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los siguientes cuadros se presentan las variables evaluadas tales como: Germinación (Plántulas normales, plántulas anormales, semillas sin germinar), Longitud Media de Plúmula, Longitud Media de Radícula, Peso Seco y Vigor (Índice de velocidad de emergencia) evaluadas en los tres ambientes: Idóneo, Salino (100 y 200 mM de NaCl) y Baja Temperatura (3 y 9° C), que mostraron diferencia altamente significativa los cuales se explican a continuación.

Germinación en ambiente idóneo

De acuerdo a los resultados del ANVA (Cuadro A 1) se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y los tiempos de aplicación del yodo.

Sin embargo, la prueba de medias de Tukey no detectó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 4.1), pero si hay diferencias numéricas para plántulas normales el mejor tratamiento fue KI 10^{-6} M, para plántulas anormales el mejor tratamiento fue el KI 10^{-7} , para semillas sin germinar el mejor tratamiento fue KIO₃ 10^{-4} M y para la variable de peso seco el mejor tratamiento fue el KI 10^{-6} M.

(Zhu et al., 2003) encontró resultados negativos en concentraciones mayores a 1.3 mg L^{-1} de yoduro, sin embargo aquí se obtuvieron resultados positivos. Concuerdan con Umaly y Poel (1970), que encontraron que para plantas de tomate y cebada 1 mg L^{-1} de yoduro de potasio promovió el crecimiento

Cuadro 4.1. Comparación de medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en ambiente idóneo.

TRATAMIENTOS	MEDIAS							
	Plántulas normales (%)		Plántulas anormales (%)		Semillas sin germinar (%)		Peso seco (%)	
Testigo KI	84.37 [£]	a [£]	10.37	a	5.12	a	2.53	a
T2 KI 10^{-2} M	86.12	a	9.00	a	5.00	a	2.23	a
T3 KI 10^{-3} M	89.37	a	4.75	a	5.87	a	1.89	a
T4 KI 10^{-4} M	87.50	a	7.25	a	5.12	a	2.07	a
T5 KI 10^{-5} M	86.12	a	7.25	a	6.50	a	1.78	a
T6 KI 10^{-6} M	91.75	a	4.62	a	3.62	a	2.81	a
T7 KI 10^{-7} M	88.75	a	4.37	a	6.87	a	2.02	a
T8 KI 10^{-8} M	84.75	a	9.00	a	6.25	a	2.55	a
Testigo KIO ₃	86.37	a	7.75	a	5.87	a	2.13	a
T10 KIO ₃ 10^{-2} M	87.50	a	10.25	a	10.25	a	2.31	a
T11 KIO ₃ 10^{-3} M	84.75	a	6.25	a	7.62	a	2.15	a
T12 KIO ₃ 10^{-4} M	83.37	a	6.25	a	10.37	a	2.60	a
T13 KIO ₃ 10^{-5} M	84.62	a	7.12	a	8.25	a	1.73	a
T14 KIO ₃ 10^{-6} M	87.87	a	5.5	a	6.62	a	1.70	a
T15 KIO ₃ 10^{-7} M	86.50	a	8.25	a	5.25	a	1.77	a
T16 KIO ₃ 10^{-8} M	84.87	a	9.25	a	5.87	a	2.89	a

[£] Los promedios seguidos de la misma literal no son diferentes entre sí según Tukey ($\alpha=0.05$).

Germinación en ambiente salino de 100 mM de NaCl

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ANVA (Cuadro A 2) se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos y los tiempos de aplicación del yodo, por lo tanto, en la prueba de medias de Tukey se observó que el ambiente salino al que se sometió no (cuadro 4.2) afectó la germinación y en comparación con el ambiente idóneo no existe diferencia, para plántulas normales el mejor tratamiento fue KIO_3 10^{-5} M contra el Testigo KIO_3 M que es el más bajo para esta variable, para plántulas anormales el mejor tratamiento es el Testigo KIO_3 M y el que obtuvo el resultado más bajo es el KIO_3 10^{-5} M, en semillas sin germinar el mejor tratamiento es KI 10^{-8} M ante el más bajo que es KI 10^{-6} M, para peso seco el mejor tratamiento es el Testigo KI M en comparación con el KI 10^{-4} M que es el que presenta más bajo resultado.

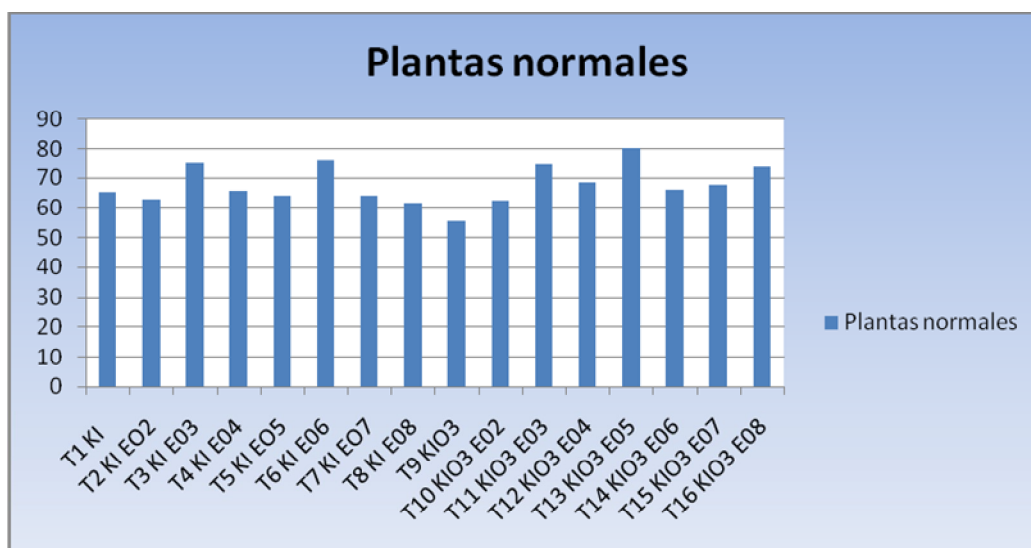
En comparación con lo mencionado por Whitehead (1973), aquí si se ejerció un efecto positivo.

Cuadro 4.2. Comparación de medias para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Salino de 100 mM de NaCl.

TRATAMIENTOS	MEDIAS							
	Plántulas normales (%)		Plántulas Anormales (%)		Semillas Sin Germinar (%)		Peso Seco (mg)	
Testigo KI	65.30 [‡]	abc [‡]	18.50	abc	16.12	ab	3.31	a
T2 KI 10 ⁻² M	62.75	bc	21.60	abc	15.62	ab	2.73	b
T3 KI 10 ⁻³ M	74.87	ab	18.75	abc	6.375	b	3.39	b
T4 KI 10 ⁻⁴ M	65.87	abc	22.12	abc	12.00	ab	1.75	b
T5 KI 10 ⁻⁵ M	64.00	bc	25.87	ab	10.12	ab	2.55	b
T6 KI 10 ⁻⁶ M	76.37	ab	16.12	bc	7.50	b	3.03	b
T7 KI 10 ⁻⁷ M	64.12	bc	20.25	abc	15.62	ab	3.01	b
T8 KI 10 ⁻⁸ M	61.62	bc	17.00	abc	21.37	a	2.72	b
Testigo KIO3	55.62	c	28.12	a	16.25	ab	2.53	b
T10 KIO ₃ 10 ⁻² M	62.62	bc	22.75	abc	14.62	ab	2.65	b
T11 KIO ₃ 10 ⁻³ M	74.50	ab	14.12	c	11.37	ab	2.05	b
T12 KIO ₃ 10 ⁻⁴ M	68.50	abc	22.25	abc	9.25	ab	3.10	b
T13 KIO ₃ 10 ⁻⁵ M	80.37	a	13.25	c	6.37	b	2.59	b
T14 KIO ₃ 10 ⁻⁶ M	66.12	abc	23.12	abc	10.75	ab	3.14	b
T15 KIO ₃ 10 ⁻⁷ M	67.87	abc	24.37	abc	7.75	b	7.26	b
T16 KIO ₃ 10 ⁻⁸ M	73.75	ab	18.12	abc	8.12	b	3.06	b

[‡] Los promedios seguidos de la misma literal no son diferentes entre sí según Tukey (a=0.05).

Germinación de semillas tratadas con yodo en Ambiente Salino de 100 mM de NaCl.



Germinación en Ambiente Salino de 200 mM de NaCl

En los resultados obtenidos en el ANVA (Cuadro A3), se observó que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, mientras que para los tiempos se observa que existe alta significancia, en el caso de la germinación en ambiente salino de 200 mM según la prueba de medias de Tukey, se detectó un incremento de plántula anormales y semillas sin germinar en los tratamientos con yodo, esta repuesta es diferente a la observada en el ambiente idóneo, y probablemente este indicando alguna clase de interacción negativa entre el yodo y el estímulo de salinidad. Para plántulas normales el mejor tratamiento es el KI 10^{-5} M en comparación con el Testigo KI M que es el más bajo, para plantas anormales el mejor tratamiento es KI 10^{-6} M en comparación del KIO₃ 10^{-8} M que es mas el bajo, para semillas sin germinar el mejor es KIO₃ 10^{-6} M en comparación de KI 10^{-6} M que es el que presenta el menor porcentaje y para peso seco el mejor tratamiento es KIO₃ 10^{-3} M y el más bajo es el tratamiento de KIO₃ 10^{-4} M con un porcentaje más bajo.

Cuadro 4.3. Comparación de medias para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Salino de 200 mM de NaCl.

TRATAMIENTOS	MEDIAS							
	Plantas normales (%)		Plantas Anormales (%)		Semillas Sin Germinar (%)		Peso Seco (%)	
Testigo KI	14.12	a [£]	24.62	abc	59.12	abc	2.45	ab
T2 KI 10 ⁻² M	19.87	a	22.62	abc	57.50	abc	3.14	ab
T3 KI 10 ⁻³ M	10.37	a	20.37	abc	69.00	ab	2.16	ab
T4 KI 10 ⁻⁴ M	12.62	a	21.00	abc	66.62	abc	2.44	ab
T5 KI 10 ⁻⁵ M	22.87	a	18.00	bc	59.12	abc	1.67	b
T6 KI 10 ⁻⁶ M	18.12	a	33.87	a	48.00	c	2.31	ab
T7 KI 10 ⁻⁷ M	22.75	a	21.00	abc	53.75	bc	3.3	ab
T8 KI 10 ⁻⁸ M	14.12	a	27.12	abc	58.75	abc	3.3	ab
Testigo KIO3	24.00	a	20.12	abc	57.12	abc	1.89	ab
T10 KIO ₃ 10 ⁻² M	17.50	a	20.50	abc	62.00	abc	1.74	b
T11 KIO ₃ 10 ⁻³ M	25.00	a	24.25	abc	50.75	bc	3.83	a
T12 KIO ₃ 10 ⁻⁴ M	19.50	a	31.75	ab	50.00	bc	1.46	b
T13 KIO ₃ 10 ⁻⁵ M	13.37	a	25.75	abc	60.87	abc	2.64	ab
T14 KIO ₃ 10 ⁻⁶ M	10.87	a	17.12	bc	73.00	a	1.87	ab
T15 KIO ₃ 10 ⁻⁷ M	18.00	a	24.12	abc	57.75	abc	2.86	ab
T16 KIO ₃ 10 ⁻⁸ M	22.12	a	14.50	c	63.62	abc	3.13	ab

[£] Los promedios seguidos de la misma literal no son diferentes entre sí según Tukey (a=0.05).

Germinación en Ambiente de Baja temperatura 3 °C

En los resultados obtenidos en el ANVA (cuadro A4), se observan que las diferencias son altamente significativas para las diferentes variables, pero en la prueba de medias de Tukey (cuadro 4.4.) se detectó un incremento de plántulas anormales y semillas sin germinar en las pruebas de yodo indicando alguna clase de interacción negativa entre el yodo y la baja temperatura a la que está sometida este ambiente que comparado con el ambiente idóneo si existe diferencia notable. En plántulas normales el mejor tratamiento fue KIO₃ 10⁻³ M, ya que obtuvo el más alto porcentaje y el

que obtuvo el más bajo porcentaje fue KI 10^{-2} M, para plántulas anormales el mejor tratamiento fue Testigo KI M y el más bajo fue KI 10^{-5} M con un bajo porcentaje, para semillas sin germinar el mejor tratamiento fue KI 10^{-5} M en comparación del tratamiento Testigo KIO₃ que presenta el porcentaje más bajo.

Cuadro 4.4. Comparación de medias para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente de Baja Temperatura a 3° C.

Tratamientos	MEDIAS					
	Plántulas normales (%)		Plántulas Anormales (%)		Semillas Sin Germinar (%)	
Testigo KI	2.5	b [£]	50.75	a	49.25	bc
T2 KI 10^{-2} M	0	b	27.25	ab	72.75	abc
T3 KI 10^{-3} M	0	b	39.75	ab	60.25	abc
T4 KI 10^{-4} M	0	b	36.75	ab	63.25	abc
T5 KI 10^{-5} M	0	b	25.5	b	74.5	a
T6 KI 10^{-6} M	0.25	b	32.5	ab	67.25	abc
T7 KI 10^{-7} M	0.25	b	27.25	ab	70	abc
T8 KI 10^{-8} M	0	b	31	ab	69	abc
Testigo KIO ₃	8	a	44.75	ab	47.25	c
T10 KIO ₃ 10^{-2} M	0	b	35.25	ab	59.5	abc
T11 KIO ₃ 10^{-3} M	8.75	a	37	ab	54.25	abc
T12 KIO ₃ 10^{-4} M	0	b	41.5	ab	58.5	abc
T13 KIO ₃ 10^{-5} M	0	b	37	ab	63	abc
T14 KIO ₃ 10^{-6} M	0	b	46	ab	54	abc
T15 KIO ₃ 10^{-7} M	0	b	31.25	ab	68.75	abc
T16 KIO ₃ 10^{-8} M	0	b	45.25	ab	54.75	abc

[£] Los promedios seguidos de la misma literal no son diferentes entre sí según Tukey (a=0.05).

Germinación en Ambiente de Baja Temperatura 9°C

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ANVA (cuadro A5), se observan resultados altamente significativos entre los tratamientos y los tiempos, pero en la comparación de medias de Tukey se observan

resultados significativos pero se detecto un incremento mayor en plántulas anormales pero menor a lo presentado en el (cuadro 4.5) en ambiente de temperaturas bajas de 3°C. Para plantas normales el mejor tratamiento fue KIO_3 10^{-4} M en comparación con el tratamiento KI 10^{-5} M que tiene el porcentaje más bajo, en plantas anormales el mejor tratamiento fue el KI 10^{-8} M y el más bajo que es el Testigo KIO_3 con un porcentaje menor, para la variable de semillas sin germinar no hubo diferencia significativa, todos los tratamientos presentan diferencia numérica pero el tratamiento que posee el más alto porcentaje es el Testigo KIO_3 .

Cuadro 4.5. Comparación de medias para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente de Baja Temperatura a 9° C.

Tratamientos	MEDIAS					
	Plantas normales (%)		Plantas anormales (%)		Semillas Sin Germinar (%)	
Testigo KI	0	b [‡]	82.75	ab	17.25	a
T2 KI 10^{-2} M	2.5	ab	77.25	ab	20.62	a
T3 KI 10^{-3} M	0.12	b	80.62	ab	19.87	a
T4 KI 10^{-4} M	4.25	ab	75.87	ab	19.87	a
T5 KI 10^{-5} M	0	b	74.87	ab	25.12	a
T6 KI 10^{-6} M	2.87	ab	71.12	ab	26.00	a
T7 KI 10^{-7} M	0.87	ab	70.75	ab	25.87	a
T8 KI 10^{-8} M	0.12	b	85.25	a	14.62	a
Testigo KIO_3	3.25	ab	67.00	b	29.62	a
T10 KIO_3 10^{-2} M	0	b	80.12	ab	19.87	a
T11 KIO_3 10^{-3} M	4.75	ab	79.87	ab	15.12	a
T12 KIO_3 10^{-4} M	6.25	a	71.87	ab	21.87	a
T13 KIO_3 10^{-5} M	0.25	b	84.62	a	15.12	a
T14 KIO_3 10^{-6} M	5.25	ab	67.50	b	26.00	a
T15 KIO_3 10^{-7} M	0.25	b	72.12	ab	26.50	a
T16 KIO_3 10^{-8} M	4.50	ab	77.25	ab	18.25	a

[‡] Los promedios seguidos de la misma literal no son diferentes entre sí según Tukey ($\alpha=0.05$).

Longitud Media de Plúmula y Longitud Media de Radícula en los Ambientes de Idóneo, Salino 100 y 200 mM de NaCl

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ANVA en los (cuadro A6, A 7 y A8) muestran resultados significativos y altamente significativos entre los tratamientos y tiempos, la cual coincide con la comparación de medias de Tukey, sin embargo se observa que el ambiente salino de 200 mM arroja resultados más bajos, lo cual coincide con el cuadro 4.3 de comparación de medias el cual también arroja resultados muy bajos, por lo que nos indica alguna clase de interacción negativa entre el yodo y el ambiente salino de 200 mM de NaCl. Para Longitud Media de Plúmula y Radícula en ambiente idóneo, se observa que para plúmula, el mejor tratamiento fue KIO_3 10^{-6} M en comparación con KI 10^{-2} M que presenta la longitud más baja de esta variable, para la longitud de radícula el mejor tratamiento es KI 10^{-2} M y el tratamiento más bajo es KIO_3 10^{-3} M con la más baja longitud de radícula, para el ambiente salino de 100 mM de NaCl en la variable de Plúmula el mejor tratamiento fue KI 10^{-5} M y el más bajo es KIO_3 10^{-4} M, para la longitud de radícula el mejor tratamiento es KI 10^{-3} M y el más bajo es KIO_3 10^{-4} M, para el ambiente salino de 200 mM de NaCl en la variable de Plúmula el mejor tratamiento fue el de KIO_3 10^{-3} M con una longitud más alta mientras que la longitud más baja la presentó el tratamiento de KI 10^{-3} M, para la longitud de Radícula el mejor tratamiento es KIO_3 10^{-3} M y el tratamiento que presenta la longitud más baja es KI 10^{-3} M con una muy baja longitud de raíz.

Esto concuerda con Borst Pauwels (1961) quien menciona que un bajo nivel de I en el crecimiento medio ambiente (0.02-0.2 mg kg⁻¹) es beneficioso para un número de especies vegetales, tales como halófilas.

Whitehead (1973) reportó que la mayor parte del yodo absorbido por las plantas se retuvo en la raíz y una cantidad menor fue transportada a los tallos y hojas.

Cuadro 4.6. Comparación de medias para la variable de Longitud Media de Plúmula y Radícula en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo, Salino de 100 y 200 mM de NaCl.

Tratamientos	MEDIAS											
	Ambiente Idóneo (mm)			Salino de 100mM NaCl (mm)				Salino de 200mM NaCl (mm)				
	Plúmula		Radícula	Plúmula		Radícula	Plúmula		Radícula	Plúmula		Radícula
Testigo KI	37.77	abc [£]	10.86	a	36.93	bcde	5.73	bcde	8.03	abc	2.38	ab
T2 KI 10 ⁻² M	34.90	c	11.08	a	34.25	defg	5.83	bcde	9.56	abc	3.06	ab
T3 KI 10 ⁻³ M	37.84	abc	10.86	a	39.85	abc	6.71	a	3.11	c	0.77	b
T4 KI 10 ⁻⁴ M	39.27	ab	11.03	a	37.90	abcd	5.99	bcd	4.30	bc	1.46	ab
T5 KI 10 ⁻⁵ M	38.48	abc	10.61	a	41.41	a	5.96	bcd	9.79	abc	2.90	ab
T6 KI 10 ⁻⁶ M	36.73	bc	10.79	a	38.83	abc	5.61	cde	7.37	abc	2.43	ab
T7 KI 10 ⁻⁷ M	39.31	ab	10.51	a	37.52	abcd	5.26	e	11.06	ab	2.53	ab
T8 KI 10 ⁻⁸ M	37.35	abc	10.86	a	31.73	gh	5.24	e	7.01	abc	2.38	ab
Testigo KIO ₃	40.65	ab	11.40	a	36.28	defg	5.97	bcd	7.19	abc	2.14	ab
T10 KIO ₃ 10 ⁻² M	40.30	ab	10.80	a	32.33	fgh	5.50	de	6.46	abc	1.91	ab
T11 KIO ₃ 10 ⁻³ M	39.23	ab	10.05	a	40.56	ab	6.13	bc	13.04	a	3.83	a
T12 KIO ₃ 10 ⁻⁴ M	39.54	ab	11.02	a	29.00	h	4.45	f	5.31	abc	1.59	ab
T13 KIO ₃ 10 ⁻⁵ M	39.98	ab	11.64	a	35.86	cdef	6.28	ab	8.87	abc	2.92	ab
T14 KIO ₃ 10 ⁻⁶ M	41.46	a	11.36	a	36.27	cdef	6.06	bcd	4.65	bc	1.97	ab
T15 KIO ₃ 10 ⁻⁷ M	40.35	ab	10.35	a	36.64	bcde	5.73	bcde	9.12	abc	2.50	ab
T16 KIO ₃ 10 ⁻⁸ M	39.93	ab	11.08	a	33.30	efg	5.50	de	8.71	abc	2.73	ab

[£] Los promedios seguidos de la misma literal no son diferentes entre sí según Tukey (a=0.05)

Índice de Velocidad de Emergencia

De acuerdo con los resultados obtenidos en el ANVA del (cuadro A9), lo cual nos muestra resultados altamente significativos entre los tratamientos y los tiempos, mientras que la comparación de medias de Tukey nos arroja que el ambiente idóneo muestra resultados con diferencia numérica que coinciden con el cuadro 4.1 de comparación de medias y teniendo como mejor resultado el ambiente de 100 mM (Cuadro 4.7) con un porcentaje alto en esta prueba de vigor. Para Índice de Velocidad de Emergencia, en un ambiente Idóneo se observa que el mejor tratamiento es el Testigo KIO_3 M con el mayor porcentaje en comparación con el más bajo que es KIO_3 10^{-8} M, para el ambiente Salino de 100 mM de NaCl el mayor porcentaje lo tiene el tratamiento de KIO_3 10^{-7} M, el más bajo lo presenta el tratamiento de 10^{-3} KIO_3 M, para el ambiente Salino de 200 mM de NaCl, el mejor tratamiento es el de KIO_3 10^{-6} M con un alto porcentaje en comparación con el de KI 10^{-6} M que posee el más bajo porcentaje en índice de velocidad de emergencia.

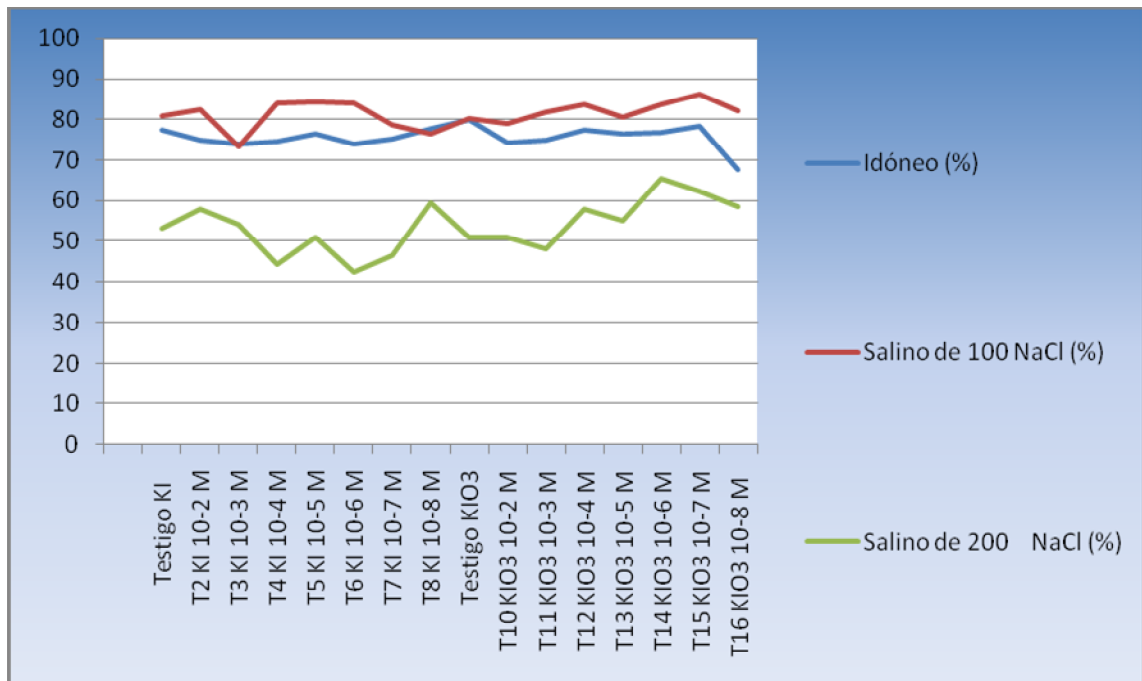
Zhu *et al.*, (2002) muestran que no es beneficioso para el crecimiento de plantas de espinacas, pero un alto nivel de yoduro (Z10 M) es en detrimento de los rendimientos, que está de acuerdo con el Mackowiak y conclusiones de Grossl (1999).

Cuadro 4.7. Comparación de medias para Índice de Velocidad de Emergencia en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo, Salino de 100 y 200 mM de NaCl.

Tratamientos	MEDIAS					
	Idóneo (%)		Salino de 100 NaCl (%)		Salino de 200 NaCl (%)	
Testigo KI	77.25	a [£]	80.75	abc	53.25	bcdef
T2 KI 10 ⁻² M	75.00	a	82.25	ab	57.87	abcd
T3 KI 10 ⁻³ M	74.00	a	73.37	d	54.00	bcdef
T4 KI 10 ⁻⁴ M	74.50	a	84.00	ab	44.37	fg
T5 KI 10 ⁻⁵ M	76.50	a	84.12	ab	50.87	cdefg
T6 KI 10 ⁻⁶ M	74.00	a	83.87	ab	42.50	g
T7 KI 10 ⁻⁷ M	75.25	a	78.75	bc	46.62	efg
T8 KI 10 ⁻⁸ M	77.75	a	76.37	cd	59.37	abc
Testigo KIO ₃	79.87	a	80.25	abc	51.00	cdefg
T10 KIO ₃ 10 ⁻² M	74.37	a	79.00	bc	51.00	cdefg
T11 KIO ₃ 10 ⁻³ M	74.75	a	81.62	abc	48.00	defg
T12 KIO ₃ 10 ⁻⁴ M	77.50	a	83.50	ab	57.87	abcd
T13 KIO ₃ 10 ⁻⁵ M	76.37	a	80.62	abc	55.12	bcde
T14 KIO ₃ 10 ⁻⁶ M	76.62	a	83.50	ab	65.37	a
T15 KIO ₃ 10 ⁻⁷ M	78.25	a	86.12	a	62.37	ab
T16 KIO ₃ 10 ⁻⁸ M	67.75	a	82.00	abc	58.62	abc

[£] Los promedios seguidos de la misma literal no son diferentes entre sí según Tukey ($\alpha=0.05$).

GRAFICA 4.2. Índice de Velocidad de Emergencia en semillas tratadas con yodo y germinadas en ambiente idóneo y en medio salino de 100 y 200 mM de NaCl.



CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y en relación con el objetivo dado en la presente investigación se puede concluir lo siguiente:

- ❖ El efecto del yodo aplicado en la semilla fue variable dependiendo del ambiente en que germinó la semilla.
- ❖ La aplicación de yodo en todas sus concentraciones en la semilla germinada en un ambiente idóneo, no modificó el porcentaje de germinación ni la cantidad de plántulas normales.
- ❖ La germinación y la cantidad de plántulas normales, en un medio (100 mM NaCl) fue elevada por los tratamientos con KIO_3 10^{-5} y 10^{-3} M.
- ❖ En el ambiente salino (200 mM NaCl) no se encontró efecto del yodo, y la semilla no germinó.
- ❖ La germinación de la semilla en un ambiente con baja temperatura (3 °C) no fue exitosa, resultando la mayoría sin germinar o como plántulas anormales. Sin embargo el tratamiento con KIO_3 10^{-3} M indujo un efecto positivo.

- ❖ La germinación de la semilla en un ambiente con baja temperatura (9 °C) no fue exitosa, resultando la mayoría sin germinar o con plántulas anormales. Sin embargo el tratamiento con KIO_3 10^{-4} M indujo un efecto positivo.
- ❖ La aplicación de yodo no cambió la longitud de la plúmula o radícula en el ambiente idóneo. En el caso del medio salino con 100 mM NaCl los tratamientos de KI 10^{-5} M y KIO_3 10^{-3} M aumentaron la longitud de la plúmula, pero sin afectar la radícula.
- ❖ En el medio salino con 200 mM NaCl el yodo no causó efecto alguno.
- ❖ Respecto al índice de velocidad de emergencia, el yodo no tuvo efecto significativo en el ambiente idóneo ni en el salino con 100 mM NaCl. Si en cambio se observó un efecto positivo del KIO_3 10^{-6} y 10^{-7} M en el medio salino de 200 mM.

LITERATURA CITADA

- Amachi, S., Y. Kamagata, T. Kanagawa, Y. Muramatsu. 2001. Bacteria mediate methylation of iodine in marine and terrestrial environments. *Appl Environ Microbiol.* 67:2718-2722.
- Aston, S.R. and P.H. Brazier. 1979. Endemic goitre, the factors controlling iodine deficiency in soils. *Sci Total Environ.* 11:99-104.
- Benavides-Mendoza, A., A.M. Salazar-Torres, F. Ramírez-Godina, V. Robledo-Torres, H. Ramírez-Rodríguez, R.K. Maiti. 2004. Tratamiento de semilla de chile con ácido salicílico y sulfosalicílico y respuesta de las plántulas al frío. *Terra Latinoamericana* 22:41-47.
- Benton Jones, J. 1998. *Plant Nutrition Manual*, CRC Press, UK.
- Borst Pauwels, G.W.F.H. 1961. Iodine as a micronutrient for plants. *Plant Soil*14:377-392.
- Bostock, A.C., G. Shaw, J.N. Bell. 2003. The volatilization and sorption of ⁽¹²⁹⁾ I in coniferous forest, grassland and frozen soils. *J. Environ. Radioact.* 70:29-42.
- Cui, X., Y. Sang, J. Song. 2003. Residual of exogenous iodine in forest soils and its effect on some wild-vegetable plants. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*14:1612-1616.
- Fick, K.R., S.M. Miller, J.D. Funk, L.R. McDowell and R.H. Houser. 1976. *Methods of Mineral Analysis for Plant and Animal Tissues*. University of Florida, Gainesville, Fl., USA.
- ISTA International Seed Testing Association. 2004. *International Rules for Seed Testing*. *Seed Sci. Technol.* 343 p.
- Jiang, X.M., X.Y. Cao, J.Y. Jiang, M. Tai, D.W. James, M.A. Rakeman, Z.H. Dou, M. Mamette, K. Amette, M.L. Zhang, G.R. DeLong. 1998. Dynamics of environmental supplementation of iodine: four years' experience of iodination of irrigation water in Hotien, Xinjiang, China. *Arch. Environ. Health* 53:238-239.
- Laternus, F. 2001. Marine macroalgae in polar regions as natural sources for volatile organohalogenes. *Environ Sci Pollut Res Int.* 8:103-108.
- Leblanc, C., C. Colin, A. Cosse, L. Delage, S. La Barre, P. Morin, B. Fiévet, C. Voiseux, Y. Ambroise, E. Verhaeghe, D. Amouroux, O. Donard, E. Tessier, P. Potin. 2006. Iodine transfers in the coastal marine environment: the key role of brown algae and of their vanadium-dependent haloperoxidases. *Biochimie*88:1773-1785.

- Lindquist K., 1960. Cytogenetic studies in the *serviola* group of *lactuca*. *Hereditas* 46, 75-151.
- Maiti, R.K., J. García-Guzmán, E. Sánchez-Arreola, R. Ferrari-Legorreta, L.P. Olguin-Téllez, A. Benavides-Mendoza. 2002. Salinity tolerance of different vegetable crops species at the germination and initial seedling stage. *Crop Research* 23(3):476-480.
- Moreno, M. E. Análisis fisiológico y biológico de semillas agrícolas. Diciembre 1996. 3ra edición 388p.
- Ortega-Ortíz, H. and A. Benavides-Mendoza, A. Flores-Olivas, A. Ledezma-Pérez. 2003. Use of the interpolyelectrolyte complexes of poly (acrylic acid)-chitosan as inductors of tolerance against pathogenic fungus in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. Var. Floradade). *Macromolecular BioScience* 3:566-570.
- Pedersen, K.M., P. Laurberg, S. Nøhr, A. Jørgensen, S. Andersen. 1999. Iodine in drinking water varies by more than 100-fold in Denmark. Importance for iodine content of infant formulas. *European Journal of Endocrinology* 140 400–403.
- Ramírez, H., J.H. Rancaño-Arriola, A. Benavides-Mendoza, R. Mendoza-Villarreal, E. Padrón-Corral. 2006. Influencia de promotores de oxidación controlada en hortalizas y su relación con antioxidantes. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12:189-195.
- Roche, J. and Y. Yagi. 1952. Sur la fixation de l'iode radioactif par les algues et sur les constitues iodes des laminaires. *C. R. Soc. Biol.*
- Ryder, E. J. 1979 Genetic studies in lettuce (*Lactuca sativa*).
- Seki, R., T. Takahashi, N. Ikeda. 1984. Adsorption behavior of radioactive iodide and iodate in soil. *Radioisotopes* 33:51-54.
- Sharma, S.S. and S. Sharma. 1990. Interference of ascorbic acid with the starchiodine reaction. *Annals of Botany* 65:281-283.
- Shinonaga T, Gerzabek MH, Strebl F, Muramatsu Y. 2001. Transfer of iodine from soil to cereal grains in agricultural areas of Austria. *Sci Total Environ.* 267:33-40.
- Umaly, R.C. and L. W. Poel. 1970. Effects of Various Concentrations of Iodine as Potassium Iodide on the Growth of Barley, Tomato and Pea in Nutrient Solution Culture. *Annals of Botany* 34:919-926.
- Umaly, R.C. and L. W. Poel. 1971. Effects of Iodine in Various Formulations on the Growth of Barley and Pea Plants in Nutrient Solution Culture. *Annals of Botany* 35: 127-131.
- Van Pée. 1996. Biosynthesis of halogenated metabolites by bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 50:375-399.
- Venturi, S. and M. Venturi. 2007. Evolution of Dietary Antioxidants: Role of Iodine. *Tutto Sulla Nutrizione*,
- Weng, H.X., J.K. Weng, W.B. Yong, X.W. Sun, H. Zhong. 2003. Capacity and degree of iodine absorbed and enriched by vegetable from soil. *J Environ. Sci.* 15:107-111.

- Whitehead, D.C. 1973. Uptake and distribution of iodine in grass and clover plants grown in solution culture. *J. Sci. Food Agric.* 24:43-50.
- Yokoyama, Y. and M. Kobayashi. 2003. Nano-scaled dynamics of iodinetetrahedron in a-Agl. *Solid State Ionics.*159:279-287.
- Zhu Y.G., Y.Z. Huang, Y. Hu, Y.X. Liu. 2003. Iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants grown in solution culture: effects of iodine species and solution concentrations. *Environ. Int.* 29:33-37.

A P É N D I C E

Cuadro A1. Análisis de varianza para la variable de Germinación en Ambiente Idóneo.

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS			
		Plántulas normales	Plántulas anormales	Semillas sin germinar	Peso seco
tratamientos	15	75.829 *	60.295 *	54.016 *	2.394 *
Tiempo	3	520.020 *	777.604 **	236.000 *	3.714 *
Trat/Tiempo	45	155.287 *	62.515 *	72.877 *	2.468 *
Error	63	88.447	39.552	83.843	2.981
C. V.		10.866	85.820	140.197	78.415

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F. V.= fuente de variación. G.L.= grados de libertad.

Cuadro A2. Análisis de varianza para la variable de germinación en un ambiente salino de 100mM de cloruro de sodio (NaCl).

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS			
		Plántulas normales	Plántulas anormales	Semillas sin germinar	Peso seco
tratamientos	15	648.240 **	275.373 **	304.329 *	3.694*
Tiempo	3	6123.890 **	2375.598 **	1968.229 **	16.721*
Trat/Tiempo	45	469.301 *	21.044**	253.306 **	3.990*
Error	63	173.276	84.911	98.729	4.152
C. V.		19.422	45.173	84.005	72.401

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F. V.= fuente de variación. G.L.= grados de libertad.

Cuadro A3. Análisis de varianza para la variable de germinación en ambiente salino de 200 mM de cloruro de sodio (NaCl).

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS			
		Plántulas normales	Plántulas anormales	Semillas sin germinar	Peso seco
Tratamientos	15	365.995 *	411.829*	738.700 *	7.761*
Tiempo	3	2431.187**	6916.562**	13834.291**	6.132*
Trat/Tiempo	45	323.398 *	330.829*	561.636**	7.743*
Error	63	166.125	151.125	244.989	5.853
C. V.		72.295	53.631	26.445	96.134

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F. V.= fuente de variación. G.L.= grados de libertad.

Cuadro A4. Análisis de varianza para la variable de germinación en baja temperatura de 3°C.

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS		
		Plantas normales	Planta anormales	Semillas sin germinar
tratamientos	15	65.364**	448.081*	552.931*
Tiempo	3	127.114**	8587.281**	8609.114**
Trat/Tiempo	45	69.892**	375.859*	435.292*
Error	63	494	11558	12606
C. V.		225.074	36.620	22.768

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F. V.= fuente de variación. G.L.= grados de libertad.

Cuadro A5. Análisis de varianza para la variable de germinación de baja temperatura 9°C.

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS		
		Plantas normales	Planta anormales	Semillas sin germinar
tratamientos	15	80.895**	532.732*	350.529*
Tiempo	3	292.729**	11551.348**	10985.187**
Trat/Tiempo	45	112.306**	445.371**	392.243**
Error	63	3916	33869	32084
C. V.		204.989	17.434	60.609

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F. V.= fuente de variación. G.L.= grados de libertad.

Cuadro A6 Análisis de varianza para las variables de longitud media de plúmula y radícula en ambiente idóneo.

FV	G. L.	CUADRADOS MEDIOS	
		Longitud media de plúmula	Longitud media de radícula
Tratamientos	15	45.182**	2.547*
Tiempo	3	60.903*	20.761*
Trat/Tiempo	45	25.385**	4.486*
Error	63	11.317	3.1908
C.V.		8.637	16.3916

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F. V.=fuente de variación. G.L.= grados de libertad.

Cuadro A7. Análisis de varianza para las variables de longitud media de plúmula y radícula en un ambiente salino de 100 mM de cloruro de sodio (NaCl).

FV	G. L.	CUADRADOS MEDIOS	
		Longitud Media de Plúmula	Longitud Media de Radícula
Tratamientos	15	109.0679*	8.2609*
Tiempo	3	904.6178**	78.6839**
Trat/Tiempo	45	1133.9879**	8.5805**
Error	63	41.9879	4.1161
C.V.		83.8471	86.4341

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F. V.= fuente de variación. G.L.= grados de libertad.

Cuadro A8. Análisis de varianza para las variables de longitud media de plúmula y radícula en un ambiente salino de 200 mM de cloruro de sodio (NaCl).

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS		
		I. V. E Ambiente Idóneo	I. V. E. salinidad 100mM NaCl	I. V. E. salinidad de 200mM NaCl
tratamientos	15	116.6625*	167.5156**	664.1625**
Tiempo	3	478.7708**	540.7656**	3840.6875**
Trat/Tiempo	45	163.4375**	110.0211*	612.8541**
Error	63	48.6458	50.2968	154.5416
C. V.		9.2245	8.7278	23.1754

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F. V.= fuente de variación. G.L.= grados de libertad. I.V.E= Índice de Velocidad de Emergencia.

Cuadro A9. Análisis de varianza para índice de velocidad de emergencia en un ambiente Idóneo, Salino de 100 y 200 mM de cloruro de sodio (NaCl).

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS	
		Longitud Media de Plúmula	Longitud Media de Ridícula
Tratamientos	15	182.362**	4.209**
Tiempo	3	1066.084**	58.849**
Trat/Tiempo	45	158.054**	33.492**
Error	63	26.040	0.546
C.V.		14.108	12.855

** Y * altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01 respectivamente. F.V.= fuente de variación. G.L.= grados de libertad.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.