

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



**Efecto del Yodo en Germinación y Vigor de Plántulas de  
Tomate (*Lycopersicon esculentum*)**

**Por:**

**Daniel Gil Olea**

**Tesis**

**Presentada 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

Efecto del Yodo en Germinación y Vigor de Plántulas de  
Tomate (*Lycopersicon esculentum*)

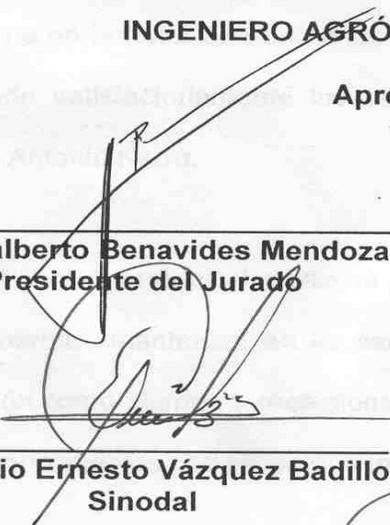
POR:

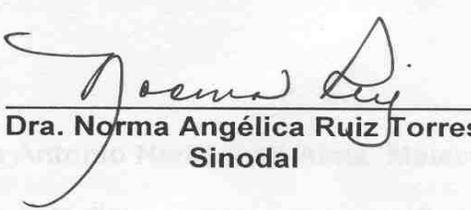
DANIEL GIL OLEA

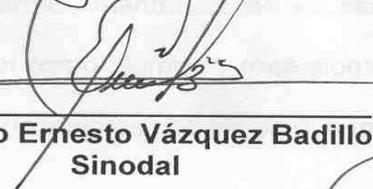
Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

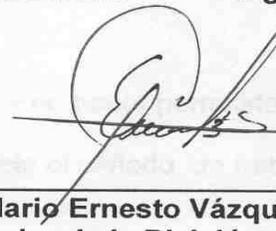
Aprobado por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Presidente del Jurado

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres  
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo  
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Ing. María Cecilia Arroyo Medina  
Sinodal

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



Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2009.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS:**

Primeramente por haberme concedido la vida y haberme dado unos padres maravillosos (Daniel Gil Sandoval y Antonia Olea Pérez), por estar siempre y en cada momento conmigo sin abandonarme ni un solo instante, por ayudarme en la toma de decisiones de mi vida, por cuidarme y permitir haber terminado satisfactoriamente los estudios aquí en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### **A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro... Mi Alma Mater:**

Por haberme mantenido en su seno todo este tiempo de mi preparación y formación como alumno y profesional. Sobre todo por brindarme la información y los conocimientos científicos que me servirán para subsistir.

**A la empresa SQM:** Por haber permitido la realización de este trabajo y por el apoyo brindado durante el periodo de trabajo del mismo.

**Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza:** Por brindarme su apoyo incondicional en este trabajo de tesis y por participar como presidente del jurado.

**A la Ing. María Cecilia Arroyo Medina:** Por brindarme sus conocimientos y apoyo incondicional en la realización de este trabajo de tesis.

**A la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres:** Por su valiosa participación en la revisión del presente trabajo.

**Al Dr. Mario Ernesto Vásquez Badillo:** por su valiosa participación en la revisión del presente trabajo.

**A Mis Amigos:** Ustedes que me brindaron siempre una confianza, y con una amistad inolvidable, que en las buenas y malas siempre estuvieron mil gracias a todos.

## **DEDICATORIA**

### **A MIS PADRES**

**Sr. Daniel Gil Sandoval**

**Sra. Antonia Olea Pérez**

Por tener la dicha de ser hijo de ellos, por brindarme la mejor herencia que pudiera recibir, como es la educación que con tanto esfuerzo me han ayudado a obtener y así sobresalir adelante para poder cumplir uno de mis sueños más anhelados que es el de ser un profesionalista, por eso pido a dios que me los cuide y bendiga durante toda su vida.

### **A MIS HERMANOS (A)**

**Roberto Gil Olea**

**Mariela Gil Olea**

Por acompañarme en este viaje..."La Vida" y compartir mi pasión por ella, y por ser uno de tantos motivos que tengo para salir adelante.

### **A MIS ABUELOS**

**Juan Gil Aguilar †**

**Isabel Sandoval Tacaleño**

**Ramón Olea Gonzales †**

**Teresa Pérez Vidaños**

Los cuales me ayudaron con sus múltiples consejos que me sirvieron para ser mejor persona, y estudiante, me dejaron el mejor ejemplo de vida y me enseñaron a creer que los sueños se pueden hacer realidad.

### **A MIS TIOS (A)**

Por el estímulo y confianza que siempre me han brindado por la fe que me tuvieron, quiero que sientan y consideren que nunca los defraudaré.

### **A MI NOVIA**

#### **Carla Alejandra Alpizar Rodríguez**

Por ser mi amiga y mi pareja y estar conmigo en aquellos momentos por el cual el estudio ocuparon tiempo y esfuerzo, gracias por toda tu comprensión y paciencia.

Uno puede devolver un préstamo de oro, pero está en deuda de por vida con aquellos que son amables.

(Proverbio).

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
Importancia del tomate.....	4
El yodo.....	6
Germinación.....	11
Generalidades de plántulas normales.....	12
Generalidades de plántulas anormales.....	13
Vigor.....	13
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	15
Materiales.....	16
Trabajo de laboratorio.....	16
Longitud de plúmula.....	17
Longitud de raíz.....	17
Peso seco de plúmula y raíz.....	18

Índice de velocidad de emergencia.....	18
Análisis estadístico.....	18
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>19</b>
Germinación en ambiente idóneo.....	19
Germinación en ambiente salino 100 mM de NaCl.....	21
Germinación en ambiente salino 200 mM de NaCl.....	24
Germinación en ambiente de baja temperatura 3 °C.....	26
Germinación en ambiente de baja temperatura 9 °C.....	27
Longitud media de plúmula y radícula de ambiente idóneo y salino de 100 mM de NaCl.....	29
Índice de velocidad de emergencia.....	31
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>35</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
<b>4.1</b>	Comparación de medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo.....	20
<b>4.2</b>	Comparación de medias para la variable germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Salino a 100 mM de NaCl.....	23
<b>4.3</b>	Comparación de medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8, y 24 horas en Ambiente Salino a 200 mM de NaCl.....	25
<b>4.4</b>	Comparación de medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en un ambiente de Baja Temperatura 3 °C.....	27
<b>4.5</b>	Comparación de medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en un Ambiente de Baja Temperatura 9 °C.....	28
<b>4.6</b>	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 y Salino de 100 mM de NaCl.....	30
<b>4.7</b>	Comparación de medias para la variable de Índice de Velocidad de Emergencia en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas de Ambiente Idóneo, Salino (100 y 200 mM de NaCl).....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
<b>4.1</b>	Medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo.....	21
<b>4.2</b>	Medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Salino (100 mM de NaCl).....	24
<b>4.3</b>	Medias para la variable de Longitud Media de Plúmula y Radícula en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo y Salino de 100 mM de NaCl.....	31
<b>4.4</b>	Medias para la variable de Índice de Velocidad de Emergencia en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas de Ambiente Idóneo, Salino (100 y 200 mM de NaCl).....	33

**Palabras clave.**

**Tomate, Yodo, Germinación, Vigor, Plúmula, Radícula, Peso Seco, Plántulas Normales, Plántulas Anormales, Semilla sin Germinar.**

## INTRODUCCIÓN

A casi dos siglos de su descubrimiento, el elemento yodo todavía no deja de dar sorpresas; este elemento fue descubierto en el año de 1811 por el francés Bernard Courtois. La concentración de yodo encontrada normalmente en tejidos vegetales es de 0.1 a 1 mg kg<sup>-1</sup>, pudiendo alcanzar hasta 3 mg kg<sup>-1</sup> ó más. No se conoce una función metabólica del yodo en plantas. Sin embargo, varias especies de plantas marinas (como el alga denominada “kelp” *Laminaria digitata*) se reportan como acumuladoras de yodo, alcanzando hasta el 1% de su peso seco como yodo, no apareciendo reportada esta actividad en plantas terrestres. La concentración de yodo disponible en el suelo se encuentra en función del material madre de 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.

Uno de los descubrimientos más importantes donde se incorpora el elemento yodo a la agricultura se hace a finales de la década de los 80s, lo investiga el Ing. Mario Flores Rivera en su laboratorio en El Salvador; él encuentra que el yodo puede ser muy manejable en plantas si se respetan ciertas formas moleculares (compuestos yodados específicos), ciertas dosis y frecuencia de aplicaciones a los cultivos. Con esto se viene abajo mucho de lo

escrito acerca del elemento y nace una nueva alternativa para modificar la productividad del campo, esto gracias al contar con una herramienta nueva que modifica la síntesis de clorofila (pigmento responsable de capturar la energía solar) y con ello la posibilidad de poder cambiar positivamente el proceso de fotosíntesis de las plantas; en la investigación del Ing. Mario Flores es un yodoforo que goza de una patente por parte de la Comunidad Europea y Estados Unidos, su nombre comercial es Q-2000.

En este caso, también afecta de manera directa y positiva la síntesis de clorofila, el estímulo es químico y no físico como sucede con la luz. Se puede hacer mención de que no es casualidad que en la actualidad muchos de los bioestimulantes naturales que se ofrecen en el mercado agrícola, estén hechos a base de extractos de algas marinas, los cuales como ya se hizo mención son hábiles en capturar y acumular yodo en muchas de sus formas presentes en el mar.

Diversos esfuerzos se llevan a cabo para añadir yodo en plantas terrestres (sobre todo en plantas medicinales y hortalizas) para darles mayor valor terapéutico o alimenticio. El yodo se añade al suelo o al agua y su valor fertilizante está plenamente demostrado; por lo anterior y con el fin de incrementar la germinación y el vigor de las semillas, se realizó este trabajo para formular un producto para explotarlo en el mercado y que contenga estas características.

Además del efecto fertilizante, 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.

### **Objetivo**

Determinar el efecto del yodo aplicado en la semilla sobre la germinación y vigor en tomate.

### **Hipótesis**

Al menos una concentración de yodo en el espectro de  $10^{-8}$  a  $10^{-2}$  molar promueve la germinación y el vigor del tomate.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Importancia del tomate**

El tomate es la hortaliza más importante en numerosos países y su popularidad aumenta considerablemente. En la actualidad, este cultivo ha adquirido gran importancia económica en la totalidad del mundo. En particular, en México esto se debe a que esta hortaliza tiene un rango amplio de adaptabilidad debido a que puede ser cultivado en climas templados al igual que en los climas tropicales donde se encuentre con suficiente agua para su producción (León, 1980).

Se considera que a nivel internacional, las hortalizas junto con las frutas ocupan en nuestros días el segundo lugar de los productos agropecuarios. Se estima que tan solo dos hortalizas contribuyen con el 50 % de la producción en el mundo: la papa y el jitomate, lo cual nos indica el enorme valor que este último cultivo representa no solo en el comercio, sino también en el sistema alimentario mundial. El jitomate o “tomate rojo” es una de las especies hortícolas más importantes de nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera. Es el principal producto hortícola de exportación, ya que representa el 37 % del valor total de las exportaciones de legumbres y hortalizas y el 16 % del valor total de las exportaciones agropecuarias, sólo superada por el ganado vacuno.

Entre las diferentes variedades que se producen en México, se encuentra el tomate rojo saladette, cherry, jitomate verde y otras variedades como el criollo, tan pequeño como una uva y que se da en la selva de Chiapas. La variedad más importante de tomate que se produce en México, es el tomate rojo saladette, Sinaloa produce el 40 % de la producción total del país, seguido por Baja California Norte, San Luis Potosí y Michoacán. El trabajo agrícola está orientado principalmente al mercado exterior, en especial al de Estados Unidos de América. La cosecha de hortalizas se efectúa desde noviembre hasta los últimos días de abril (ciclo otoño-invierno y primavera-verano). El ciclo otoño-invierno es el de mayor producción de tomate en México, aportando el 57 % del total nacional, mientras que el 43 % se obtiene del ciclo primavera-verano. En la cosecha del período otoño-invierno se realizan las mayores exportaciones de tomate mexicano, sobre todo entre los meses de enero a abril de cada año, de este volumen el 60 % proviene del Estado de Sinaloa (Guzmán *et al.*, 2001).

El tomate es una fuente importante de ciertos minerales (como el potasio y el magnesio). De su contenido en vitaminas destacan la B1, B2, B5 y la vitamina C. Presenta también carotenoides como el licopeno (pigmento que da el color rojo característico del tomate). La vitamina C y el licopeno son antioxidantes con una función protectora de nuestro organismo. Durante los meses de verano, el tomate es una de las fuentes principales de vitamina C. (Gebhardt *et al.*, 2002).

## El yodo

El yodo o iodo es un elemento químico de número atómico 53 situado en el grupo de los halógenos (grupo 17) de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es I y el peso atómico del isótopo más abundante es de  $126.9 \text{ g mol}^{-1}$ . Es un oligoelemento y se emplea principalmente en medicina, fotografía y como colorante. Químicamente, el yodo es el halógeno menos reactivo y menos electronegativo. Como los restantes halógenos del Grupo VII en la tabla periódica, el yodo forma moléculas diatómicas.

Es el halógeno menos abundante, presentándose en la corteza terrestre con una concentración de 0,14 ppm, mientras que en el agua de mar su abundancia es de 0.052 ppm. El yodo para uso medicinal, industrial o alimenticio se obtiene a partir de los yoduros  $\text{I}^-$  presentes en el agua de mar y en algas, o en forma de yodatos,  $\text{IO}_3^-$  a partir de los nitratos de Chile. En el suelo, el yodo se encuentra en forma inorgánica como en forma de complejos haloorgánicos (Bostock *et al.*, 2003).

La concentración de yodo encontrada normalmente en tejidos vegetales es de  $0.1$  a  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ , pudiendo alcanzar hasta  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  ó más. No se conoce una función metabólica del yodo en plantas (Benton-Jones, 1998) pero su valor como micronutriente benéfico está bien establecido (Borst Pauwels, 1961). Sin embargo, varias especies de plantas marinas (como el alga denominada "kelp" *Laminaria digitata*) se reportan como acumuladoras de yodo alcanzando

hasta el 1% de su peso seco como yodo (Leblanc *et al.*, 2006), no apareciendo reportada esta actividad en plantas terrestres. No se encontró información acerca de la forma en que se acumula en las plantas terrestres ni en cual estructura lo hacen. En las plantas marinas, el yodo se acumula principalmente en forma inorgánica y en segundo lugar formando 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) y se incluye por ello una parte en este trabajo que explora esa posibilidad. La concentración de yodo disponible en el suelo se encuentra en función del material madre del 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 macroalgas marinas contabiliza emisiones entre  $10^7$  y  $10^8$  g año<sup>-1</sup>). En el caso de las algas cafés como *Laminaria*, la volatilización depende de haloperoxidasas dependientes del 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 del 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 ( $\text{IO}_3^-$ ) (Seki *et al.*, 1984). Este efecto parece depender de la habilidad de las sustancias húmicas para 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 yodo en plantas terrestres (sobre todo en plantas medicinales y hortalizas) para darles mayor valor terapéutico o alimenticio (Cui *et al.*, 2003). 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 suelos y plantas en regiones de China con severa deficiencia de yodo (Jiang *et al.*, 1998). 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 diferencias 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 fertilizante, el yodo (como yoduro, 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  $10 \times 10^{-6}$  molar ( $1.3 \text{ mg L}^{-1}$ ) de yoduro, mientras que el yodato no tuvo efecto sobre la acumulación de biomasa en la planta (Zhu *et al.*, 2003). En tomate y cebada, Umaly y Poel (1970) encontraron que  $1 \text{ mg L}^{-1}$  de yoduro de potasio en la solución nutritiva promovió el crecimiento, mientras que  $5 \text{ mg L}^{-1}$  no ejerció efecto distinguible del testigo y  $10 \text{ mg L}^{-1}$  tuvo un efecto inhibitorio. 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), efecto que los autores explicaron como resultante de una mayor velocidad de absorción del yoduro en comparación con el yodato. Este mismo resultado fue reportado por Whitehead (1973) para plantas forrajeras que crecieron con soluciones nutritivas que contuvieron yoduro o yodato de potasio a concentraciones de  $0.2 \times 10^{-7}$  molar hasta  $1.0 \times 10^{-6}$  molar reportó que la mayor parte del yodo absorbido por las plantas se retuvo en la raíz y una cantidad menor fue 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). Es probable que una reacción análoga ocurra en las plantas terrestres.

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  $H_2O_2$  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).

### **Germinación**

La Association of Official Seed Analysts (AOSA, 1983), define a la germinación como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, son indicativas para producir una planta normal bajo condiciones favorables.

Por otra parte, la ISTA (1996) define a la germinación de la semilla como la emergencia y el desarrollo de la plántula a un estado donde el aspecto de sus estructuras esenciales indican si son o no capaces de desarrollarse en una planta satisfactoria y producida bajo condiciones favorables de suelo y clima.

El objetivo de las pruebas de germinación es obtener información con respecto a la capacidad de la semilla para producir plántulas normales. Estas pruebas además, nos permiten hacer comparaciones del poder germinativo entre diferentes lotes de semillas de la misma especie.

## **Generalidades de plántulas normales**

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

Cuando la prueba de germinación sea en sustrato artificial, se consideran aquellas que presenten las siguientes estructuras esenciales:

- Sistema radicular bien desarrollado, incluyendo raíz primaria, excepto para aquellas plantas, por ejemplo gramíneas, que generalmente presentan raíces seminales de las cuales deben estar presentes cuando menos dos de ellas.
- Hipocótilo bien desarrollado e intacto y/o un epicótilo sin daño en el tejido conductor.
- Plúmula intacta en gramíneas, que debe presentar una hoja bien desarrollada.
- Un cotiledón en monocotiledóneas y dos cotiledones en dicotiledóneas.

## **Generalidades de plántulas anormales**

Las que no se puedan clasificar como plantas normales por tener alguna deficiencia en el desarrollo de sus estructuras esenciales, lo que les impide su desarrollo normal cuando crecen en suelo preparado y en condiciones favorables de agua, luz y temperatura.

Las que presenten los siguientes defectos al germinar en un sustrato artificial:

- Plántulas dañadas, sin cotiledones, con fisuras o lesiones que dañen el tejido conductor del hipocótilo, epicótilo o raíz.
- Plántulas deformes, con un desarrollo débil o desequilibrado de las estructuras primordiales.
- Plántulas con estructuras esenciales deterioradas por hongos y bacterias, excepto en el caso que se determine que dicha infección no proviene de la semilla.

## **Vigor**

El vigor de la semilla es la suma total de las propiedades de esta, la cual determina el nivel potencial de actividad y funcionamiento del lote de semillas durante la germinación y emergencia de la plántula (ISTA, 1985). A su vez la AOSA (1983), define el vigor de la semilla como las propiedades de la semilla,

que determina el potencial para una rápida y uniforme emergencia y desarrollo de plántulas, bajo un amplio rango de condiciones de campo.

La germinación y el crecimiento de las plántulas son dos aspectos involucrados en el vigor de la semilla. Condiciones anormales de temperatura, lluvia y suelo, pueden alterar el modelo general del vigor de una semilla (Ching, 1973).

Uno de los principales síntomas de disminución del vigor de una semilla, es el retraso en el proceso de germinación, que ocasiona la emergencia desuniforme, por lo tanto un componente importante del vigor de la semilla es una rápida y uniforme emergencia (Heydecker *et al.*, 1975; AOSA, 1983).

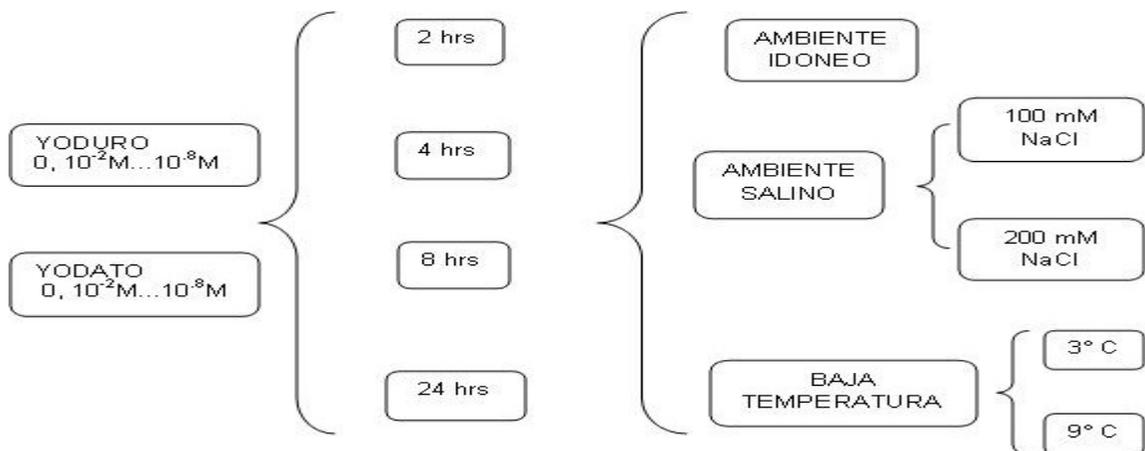
Por lo anterior Moreno (1996) menciona que las principales causas de la variabilidad del vigor de las semillas son:

- Genotipo
- Medio ambiente y nutrición de la planta
- Estado de madurez en el momento de la cosecha
- Tamaño y peso volumétrico
- Daño físico
- Deterioro y envejecimiento
- Patógenos

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Ubicada a los 25° 22' de Latitud Norte y 101° 00' de Longitud Oeste, con una altitud de 1742 msnm.

Esquema de trabajo.



Las semillas fueron sumergidas en soluciones de yoduro y yodato de potasio en concentraciones de 0, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup>, 10<sup>-7</sup> y 10<sup>-8</sup> M en tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas respectivamente para cada ambiente; idóneo, salino (100 y 200 mM de NaCl) y baja temperatura (3 y 9 °C), para después ser sembradas.

Las pruebas de germinación se realizaron en tres ambientes: idóneo salino (100 mM y 200 mM de NaCl), baja temperatura (3 y 9° C). El ambiente idoneo consistió en colocar los tratamientos en una cámara germinadora a 26° C durante el período de crecimiento de 14 días, el salino consistió en humedecer el sustrato (papel para germinar) a una concentración de 100 y 200 mM de NaCl respectivamente a 26 °C, y el ambiente de baja temperatura se pusieron los tratamientos en refrigeradores a 3 y 9° C durante 14 días.

### **Materiales**

Los materiales utilizados en el presente trabajo de investigación fueron: semilla de tomate de la variedad Rio Grande, papel para germinación (Anchor Paper), vasos de plástico, pinzas, cámara germinadora a 26° C, refrigeradores a 3 y 9° C, balanza analítica, bolsas de plástico, papel milimétrico, agua des ionizada, estufa de secado, yoduro de potasio, yodato de potasio, cloruro de sodio, charolas de 200 cavidades, perlita, 3 contenedores de 200 L.

### **Trabajo de laboratorio**

El trabajo de laboratorio se inició el 28 de abril del 2008, con la inmersión de la semilla en un tiempo de 2 horas en una solución de yoduro y yodato de potasio en el espectro de 0,  $10^{-2}$  a  $10^{-8}$  Molar, sembrando en papel para germinar previamente humedecido con agua, se colocaron 50 semillas por repetición (4 repeticiones por tratamiento); para los tiempos de 4, 8 y 24 horas se realizó el mismo procedimiento, solo cambio el tiempo de inmersión de la

semilla, se revisaron cada tercer día para ver si no les faltaba humedad, cuando se requería se les agrego agua.

La primera evaluación se realizó a los 7 días después de la siembra, la cual consistió en hacer el primer conteo de plántulas normales, la segunda evaluación se realizo a los 14 días después de la siembra evaluando plántulas normales, anormales y semillas sin germinar, se midió la longitud media de plúmula, longitud media de radícula y peso seco.

En plantas normales se consideraron aquellas que poseen las estructuras esenciales, sistema radicular y plúmula bien desarrolladas. 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 se les consideran plantas anormales. En el caso de semillas sin germinar se contaron las semillas no germinadas de cada repetición.

**Longitud de plúmula.** En este parámetro se utilizaron 10 plántulas (por repetición) que se tomaron al azar, y con papel milimétrico se midió la longitud de la plúmula en milímetros para obtener el promedio.

**Longitud de raíz.** En este parámetro se utilizaron las del parámetro anterior, pero ahora midiendo la radícula con papel milimétrico, obteniendo los datos en milímetros para su valor promedio.

**Peso seco de plúmula y raíz.** Las plántulas que se utilizaron para la evaluación de este parámetro fueron las que se usaron para evaluar los parámetros de longitud de plúmula y raíz. El material vegetativo fue puesto en bolsas de papel celofán y en una estufa de secado con temperatura de 65° C, 24 horas después se retiraron las plántulas de la estufa y fueron pesadas en la balanza analítica y el resultado fue expresado en miligramos por plántula (promedio de las 10 plantas).

$$\left[ \frac{\text{peso de 10 plantas}}{\text{N}^\circ \text{ de plantas}} * 10000 = \text{mg/planta} \right]$$

### **Índice de velocidad de emergencia**

Se determino el ensayo de emergencia en invernadero por medio de conteos diarios durante 14 días, la velocidad de emergencia se tomo como índice de vigor de las plántulas de cada ambiente y tratamiento; se colocó la semilla en tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas después de imbibir en las soluciones, la siembra se realizó en charolas de 200 cavidades (1 semilla por cavidad).

### **Análisis estadístico**

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con un arreglo bifactorial de 16 tratamientos y tiempo con 4 repeticiones, posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias para variables que presentaron diferencias significativas, utilizando la prueba de Tukey al 0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los siguientes cuadros se presentan las variables evaluadas tales como: Germinación (Plántulas normales, anormales, y Semillas sin germinar), Longitud media de plúmula y radícula, Peso seco de plúmula y radícula 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**

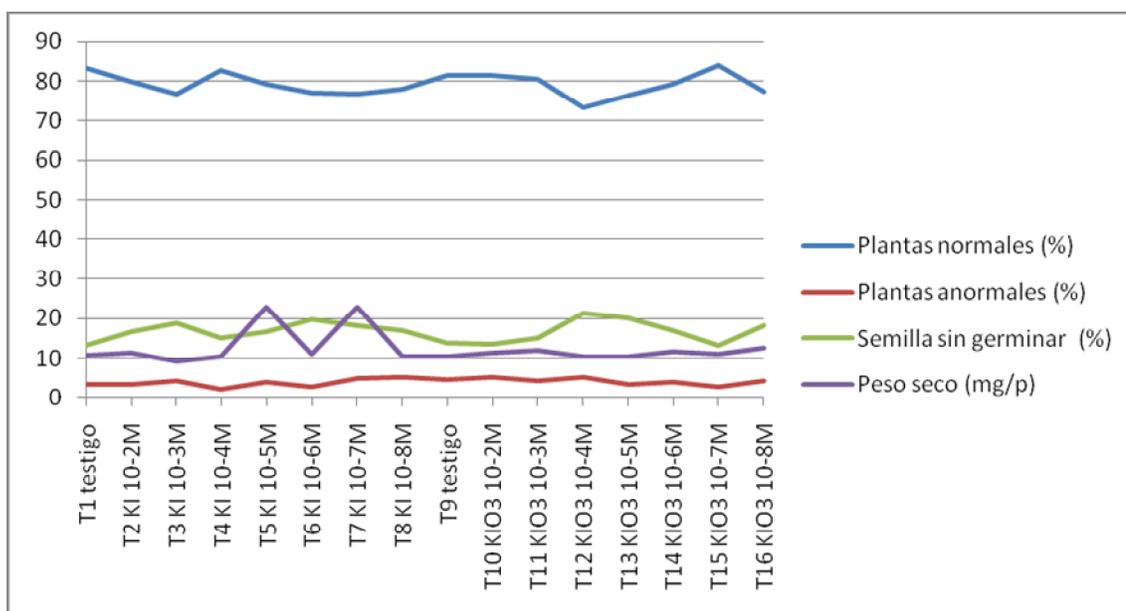
De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis de varianza (Cuadro 1 del Apéndice) en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas se encontró diferencias significativas para la cantidad de plántulas normales, el mejor tratamiento fue  $\text{KIO}_3$   $10^{-7}$  M en comparación con  $\text{KIO}_3$   $10^{-4}$  M que presentó el más bajo porcentaje de plántulas normales, en plántulas anormales se observaron dos tratamientos con un alto porcentaje  $\text{KI}$   $10^{-8}$  M,  $\text{KIO}_3$   $10^{-4}$  M y el más bajo  $\text{KI}$   $10^{-4}$  M para esta variable, en semilla sin germinar, el testigo obtuvo menos porcentaje de semilla sin germinar en comparación con  $\text{KIO}_3$   $10^{-4}$  M, el cual fue el más alto. Para peso seco no hubo diferencias significativas, solo se encontraron diferencias numéricas, el mejor tratamiento fue  $\text{KI}$   $10^{-7}$  M (Cuadro 4.1).

**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	Plántulas normales (%)		Plántulas anormales (%)		Semilla sin germinar (%)		Peso seco (mg/p)	
T1 testigo	<b>83.250</b>	a	3.500	a b	13.250	b	10.716	a
T2 KI 10 <sup>-2</sup> M	79.875	a b	3.500	a b	16.625	a b	11.378	a
T3 KI 10 <sup>-3</sup> M	76.625	a b	4.500	a b	18.875	a b	9.270	a
T4 KI 10 <sup>-4</sup> M	<b>82.625</b>	a	<b>2.125</b>	b	15.250	a b	10.409	a
T5 KI 10 <sup>-5</sup> M	79.375	a b	4.000	a b	16.625	a b	22.871	a
T6 KI 10 <sup>-6</sup> M	77.125	a b	2.750	a b	19.875	a b	11.061	a
T7 KI 10 <sup>-7</sup> M	76.875	a b	5.000	a b	18.125	a b	23.004	a
T8 KI 10 <sup>-8</sup> M	78.000	a b	5.375	a	16.875	a b	10.653	a
T9 testigo	81.375	a b	4.875	a b	13.750	b	10.591	a
T10 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-2</sup> M	81.375	a b	5.250	a	13.625	b	11.609	a
T11 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-3</sup> M	80.375	a b	4.500	a b	15.125	a b	12.002	a
T12 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-4</sup> M	73.250	b	5.375	a	<b>21.375</b>	a	10.419	a
T13 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-5</sup> M	76.500	a b	3.375	a b	20.125	a b	10.551	a
T14 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-6</sup> M	79.125	a b	4.000	a b	16.875	a b	11.682	a
T15 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-7</sup> M	<b>84.000</b>	a	2.625	a b	13.375	b	11.136	a
T16 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-8</sup> M	77.500	a b	4.375	a b	18.125	a b	12.706	a

Letras con la misma literal son estadísticamente iguales según Tukey ( $\alpha=0.05$ )

En tomate y cebada Umaly y Poel (1970) encontraron que 1 mg L<sup>-1</sup> de yoduro de potasio en la solución nutritiva promovió el crecimiento, mientras que 5 mg L<sup>-1</sup> no ejerció efecto distinguible del testigo y 10 mg L<sup>-1</sup> tuvo un efecto inhibitorio, esto coincide con los resultados, observando que en yoduro el máximo % de plántulas normales se da en KI 10<sup>-4</sup> M presentando una curva de distribución normal, a medida que disminuye la concentración baja el porcentaje, y en el caso de yodato mostró una tendencia creciente a medida que disminuye la concentración él % es mayor.



**Figura 4.1** Medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo.

### Germinación en Ambiente Salino 100 mM de NaCl

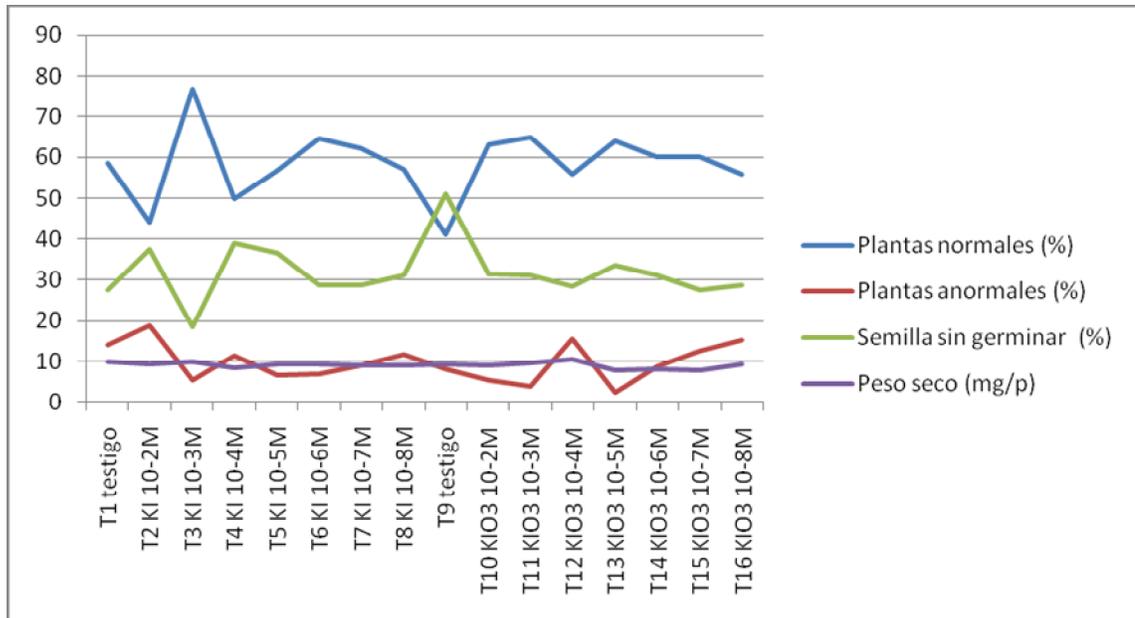
La respuesta al yodo en el ambiente salino con 100 mM de NaCl fue diferente a la observada en el ambiente idóneo. En primero fue posible obtener una cantidad de plántulas normales al tratar la semilla con yodo, cosa que no ocurrió en el caso de ambiente idóneo. Destaca para yoduro la concentración de KI  $10^{-3}$  molar que indujo respuesta positiva significativa. Para los tratamientos de yodato, la respuesta frente a su testigo fue positiva y significativa permitiendo obtener una mayor cantidad de plántulas normales.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis de varianza (Cuadro 2 del Apéndice), los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas se encontraron diferencias altamente significativas para plantas normales, observamos que el tratamiento  $KI\ 10^{-3}\ M$  obtuvo el mayor número de plántulas normales, a comparación con el testigo, en plántulas anormales  $KI\ 10^{-2}\ M$  fue el tratamiento con mayor porcentaje, por otra parte  $KIO_3\ 10^{-5}\ M$  mostró el menor porcentaje, el testigo en semilla sin germinar manifestó el porcentaje más alto en comparación con  $KI\ 10^{-3}\ M$ , para la variable de peso seco no hubo diferencia significativa, solo hubo diferencia numérica, el cual  $KIO_3\ 10^{-4}\ M$  obtuvo el mayor peso del resto de los demás (Cuadro 4.2), en contraste Umaly y Poel (1971) encontraron que en plantas de chícharo todas las concentraciones de yoduro de potasio ejercieron efecto negativo, se encontró que al utilizar las concentraciones inhibitorias el yoduro fue más tóxico que el yodato, Lehr *et al* (1958) reportó que por encima de 1ppm ( $10^{-5}\ M$ ) de yoduro de potasio muestra efectos tóxicos o deprimentes, pero por debajo de este nivel los efectos son claramente benignos.

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

Tratamientos	Plántulas normales (%)	Plántulas anormales (%)	Semilla sin germinar (%)	Peso seco (mg/p)
T1 testigo	58.500 b c	14.000 a b c	27.500 b c	10.018 a
T2 KI 10 <sup>-2</sup> M	43.875 d e	<b>18.750</b> a	37.375 b	9.259 a
T3 KI 10 <sup>-3</sup> M	<b>76.875</b> a	5.250 f g	18.625 c	9.853 a
T4 KI 10 <sup>-4</sup> M	49.875 c d e	11.250 b c d e	38.875 a b	8.458 a
T5 KI 10 <sup>-5</sup> M	56.750 b c d	6.500 e f g	36.750 b	9.223 a
T6 KI 10 <sup>-6</sup> M	64.500 a b	6.750 e f g	28.750 b c	9.223 a
T7 KI 10 <sup>-7</sup> M	62.250 b c	8.875 c d e f	28.875 b c	8.886 a
T8 KI 10 <sup>-8</sup> M	57.000 b c	11.750 b c d e	31.250 b	9.064 a
T9 testigo	41.000 e	8.000 d e f g	<b>51.000</b> a	9.371 a
T10 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-2</sup> M	63.000 b	5.375 f g	31.625 b	9.019 a
T11 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-3</sup> M	64.875 a b	4.000 f g	31.125 b c	9.501 a
T12 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-4</sup> M	55.875 b c d	15.500 a b c	28.625 b c	10.594 a
T13 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-5</sup> M	64.000 a b	2.375 g	33.625 b	7.853 a
T14 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-6</sup> M	60.125 b c	8.625 c d e f	31.250 b	7.977 a
T15 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-7</sup> M	59.875 b c	12.500 b c d	27.750 b c	7.771 a
T16 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-8</sup> M	55.875 b c d	15.250 a b c	28.875 b c	9.441 a

Letras con la misma literal son estadísticamente iguales según Tukey ( $\alpha=0.05$ )



**Grafica 4.2** Medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Salino (100 mM de NaCl).

### Germinación en Ambiente Salino 200 mM de NaCl

La respuesta al yodo en el ambiente salino con 200 mM de NaCl fue diferente a la observada en el ambiente idóneo. En este caso se obtuvieron pocas plántulas normales, pero cabe resaltar que tres tratamientos con yoduro indujeron una respuesta positiva a diferencia de su testigo, y en los tratamientos de yodato no hubo presencia de plántulas normales.

Los resultados del análisis de varianza de germinación en un ambiente salino de 200 mM de NaCl, en tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas (Cuadro 3 del Apéndice) mostraron diferencia significativa entre los tratamientos siendo todos

estadísticamente iguales, en este ambiente para plántulas anormales el testigo obtuvo el menor porcentaje y KI 10<sup>-2</sup> M el más alto, y en semilla sin germinar todos los tratamientos son estadísticamente iguales solo hubo diferencia numérica KI 10<sup>-2</sup> M, el cual obtuvo el porcentaje más bajo (Cuadro 4.3).

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

Tratamientos	Plántulas normales (%)		Plántulas anormales (%)		Semilla sin germinar (%)	
T1 testigo	0.000	a	0.625		99.375	a
T2 KI 10 <sup>-2</sup> M	0.375	a	7.000	a	92.625	b
T3 KI 10 <sup>-3</sup> M	0.000	a	1.375	b	98.625	a
T4 KI 10 <sup>-4</sup> M	0.250	a	1.000	b c	98.750	a
T5 KI 10 <sup>-5</sup> M	0.375	a	2.000	b c	97.625	a
T6 KI 10 <sup>-6</sup> M	0.000	a	1.125	b c	98.875	a
T7 KI 10 <sup>-7</sup> M	0.000	a	1.000	b c	99.000	a
T8 KI 10 <sup>-8</sup> M	0.000	a	2.125	b c	97.875	a
T9 testigo	0.000	a	3.250	b	96.750	a
T10 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-2</sup> M	0.000	a	1.875	b c	98.125	a
T11 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-3</sup> M	0.000	a	2.000	b c	98.000	a
T12 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-4</sup> M	0.000	a	1.625	b c	97.125	a
T13 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-5</sup> M	0.000	a	2.875	b c	97.125	a
T14 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-6</sup> M	0.000	a	3.125	b c	96.875	a
T15 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-7</sup> M	0.000	a	3.000	b c	97.000	a
T16 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-8</sup> M	0.000	a	1.125	b c	97.333	a

Letras con la misma literal son estadísticamente iguales según Tukey ( $\alpha=0.05$ )

### **Germinación en Ambiente de Baja Temperatura (3° C)**

Los resultados observados en un ambiente de baja temperatura (3 °C) fueron muy diferentes a los obtenidos en un ambiente idóneo, en este caso no hubo presencia de plántulas normales. Los resultados de los tratamientos de yoduro con relación al testigo en plántulas anormales no presentaron diferencia significativa solo numérica y en los tratamientos de yodato fue similar.

De acuerdo con los resultados en los análisis de varianza (cuadro 4 Apéndice) en este ambiente todos los tratamientos de plántulas normales no hubo diferencias significativas, en plántulas anormales  $\text{KIO}_3$   $10^{-7}$  M consiguió el más alto porcentaje y  $\text{KIO}_3$   $10^{-2}$  M el más bajo, semilla sin germinar no fue mucha la diferencia entre tratamientos pero cabe resaltar que  $\text{KI}$   $10^{-3}$  M y  $\text{KIO}_3$   $10^{-7}$  M presentaron el mayor y menor porcentaje (Cuadro 4.4).

**Cuadro 4.4.** Comparación de medias para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en un ambiente de Baja Temperatura 3 °C.

Tratamientos	Plántulas normales (%)		Plántulas anormales (%)		Semilla sin germinar (%)	
T1 testigo	0	a	1.625	a b	98.375	a b
T2 KI 10 <sup>-2</sup> M	0	a	1.875	a b	98.125	a b
T3 KI 10 <sup>-3</sup> M	0	a	1.250	b	98.750	a
T4 KI 10 <sup>-4</sup> M	0	a	2.250	a b	97.750	a b
T5 KI 10 <sup>-5</sup> M	0	a	1.750	a b	98.250	a b
T6 KI 10 <sup>-6</sup> M	0	a	1.500	a b	98.500	a b
T7 KI 10 <sup>-7</sup> M	0	a	2.625	a b	97.375	a b
T8 KI 10 <sup>-8</sup> M	0	a	1.875	a b	98.125	a b
T9 testigo	0	a	2.000	a b	98.000	a b
T10 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-2</sup> M	0	a	1.125	b	98.875	a
T11 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-3</sup> M	0	a	2.625	a b	97.375	a b
T12 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-4</sup> M	0	a	3.125	a	97.375	a b
T13 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-5</sup> M	0	a	2.125	a b	97.875	a b
T14 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-6</sup> M	0	a	2.750	a b	97.250	a b
T15 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-7</sup> M	0	a	3.125	a	96.875	b
T16 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-8</sup> M	0	a	2.750	a b	97.250	a b

Letras con la misma literal son estadísticamente iguales según Tukey ( $\alpha=0.05$ )

### Germinación en Ambiente de Baja Temperatura (9° C)

La respuesta al yodo en un ambiente de baja temperatura a 9 °C fue diferente a la presentada en un ambiente idóneo. Al tratar la semilla con yoduro fue posible obtener plántulas normales (KI 10<sup>-5</sup>), resultado que no se logró con los testigos, para los tratamientos con yodato no hubo respuesta significativa alguna.

En el Cuadro 4.5 de temperatura de 9° C nos muestra que solo hubo un tratamiento que sobresalió, solo habiendo diferencia significativa para plantas normales, el cual fue KI 10<sup>-5</sup> M, también observamos el que obtuvo mayor porcentaje de plantas anormales fue el KIO<sub>3</sub> 10<sup>-4</sup> M a comparación del KI 10<sup>-8</sup> M el cual obtuvo el menor número, en semillas sin germinar KI 10<sup>-8</sup> M presento el mayor porcentaje en comparación con KIO<sub>3</sub> 10<sup>-4</sup> M el más bajo.

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

Tratamientos	Plántulas normales (%)		Plántulas anormales (%)		Semilla sin germinar (%)	
T1 testigo	0.000	b	2.750	c	97.250	a
T2 KI 10 <sup>-2</sup> M	0.000	b	3.750	a b c	96.250	a b c
T3 KI 10 <sup>-3</sup> M	0.000	b	3.125	b c	96.875	a b
T4 KI 10 <sup>-4</sup> M	0.000	b	4.000	a b c	96.000	a b c
T5 KI 10 <sup>-5</sup> M	0.125	a	3.375	a b c	96.500	a b c
T6 KI 10 <sup>-6</sup> M	0.000	b	4.000	a b c	96.000	a b c
T7 KI 10 <sup>-7</sup> M	0.000	b	3.625	a b c	96.375	a b c
T8 KI 10 <sup>-8</sup> M	0.000	b	2.125	c	97.875	a
T9 testigo	0.000	b	4.000	a b c	96.000	a b c
T10 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-2</sup> M	0.000	b	4.750	a b	95.250	b c
T11 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-3</sup> M	0.000	b	4.750	a b	95.250	b c
T12 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-4</sup> M	0.000	b	5.250	a	94.750	c
T13 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-5</sup> M	0.000	b	2.875	b c	97.125	a b
T14 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-6</sup> M	0.000	b	3.875	a b c	96.125	a b c
T15 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-7</sup> M	0.000	b	2.250	c	97.750	a
T16 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-8</sup> M	0.000	b	3.250	b c	96.750	a

Letras con la misma literal son estadísticamente iguales según Tukey ( $\alpha=0.05$ )

## **Longitud Media de Plúmula y Radícula de Ambiente Idóneo y Salino de 100 mM de NaCl.**

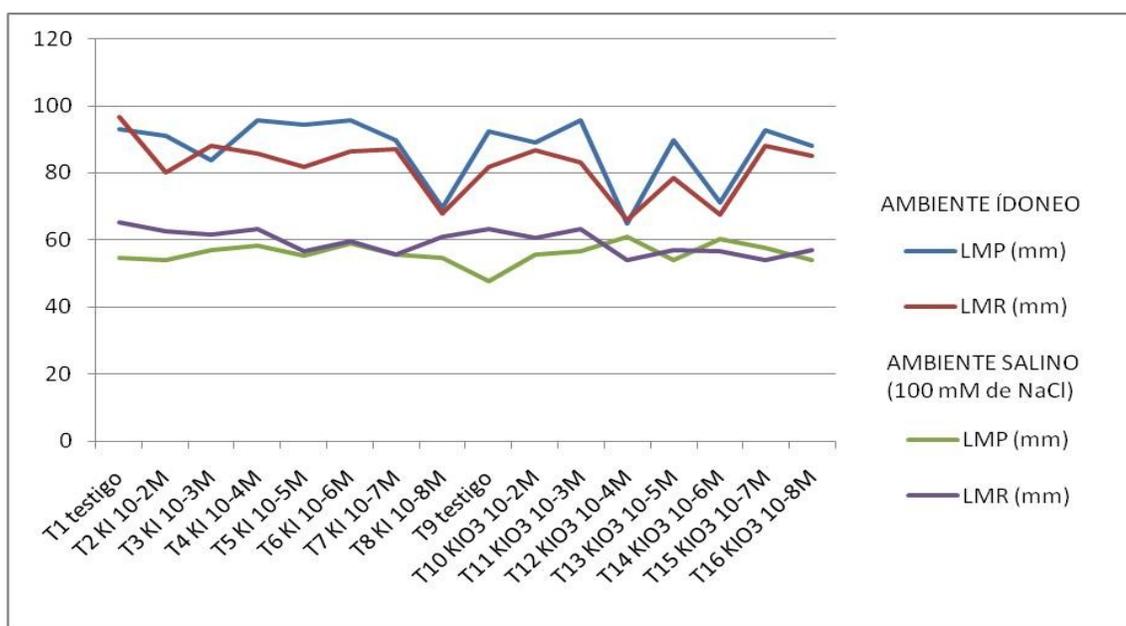
En el Cuadro 4.6 se muestran las concentraciones de yodo y su efecto en la longitud media de la plúmula y radícula en los ambientes idóneo y salino (100 mM de NaCl) en tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas, los mejores tratamientos en un ambiente idóneo para plúmula y radícula fueron: KI  $10^{-6}$ M y testigo, en comparación con los de menor desarrollo KI  $10^{-8}$  M y KIO<sub>3</sub>  $10^{-4}$  M, en el ambiente salino, el mejor tratamiento para longitud de plúmula fue KIO<sub>3</sub>  $10^{-4}$ M, el mismo que el ambiente idóneo fue el más bajo y el de menor desarrollo fue el testigo, y en longitud media de radícula el mejor fue el testigo en comparación con KIO<sub>3</sub>  $10^{-4}$ M que presentó menor desarrollo.

Whitehead (1973) reportó que en plantas forrajeras que crecieron con soluciones nutritivas que contuvieron yoduro o yodato de potasio a concentración desde  $0.2 \times 10^{-7}$  molar hasta  $1.0 \times 10^{-6}$  molar; reportó que la mayor parte del yodo absorbido por las plantas se retuvo en la raíz y una cantidad menor fue a los tallos y hojas, esto concuerda con los resultados obtenidos, ya que el tratamiento que obtuvo una mayor longitud de plúmula fue un testigo, por el cual el yodo en algunas concentraciones actúa de manera toxica, por lo tanto no permitió el buen desarrollo de la raíz pero si el buen desarrollo de la plúmula en un ambiente idóneo, y obteniendo el mismo resultado en un ambiente salino a 100 mM de NaCl.

**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 y Salino de 100 mM de NaCl.

Tratamientos	Medias de Ambiente Idóneo		Medias de 100 mM de NaCl	
	LMP (mm)	LMR (mm)	LMP (mm)	LMR (mm)
T1 testigo	92.806 a B	<b>96.644</b> a	54.620 b c d	<b>65.156</b> a
T2 KI 10 <sup>-2</sup> M	90.900 a B	80.000 c d	54.013 c d	62.531 a b c
T3 KI 10 <sup>-3</sup> M	83.806 c	87.975 b	56.694 a b c d	61.431 a b c d
T4 KI 10 <sup>-4</sup> M	95.431 a	85.763 b c d	58.219 a b c d	63.313 a b
T5 KI 10 <sup>-5</sup> M	94.400 a	81.750 b c d	55.144 b c d	56.831 b c d e
T6 KI 10 <sup>-6</sup> M	<b>95.550</b> a	86.238 b c	58.875 a b c	59.763 a b c d e
T7 KI 10 <sup>-7</sup> M	89.563 B	87.069 b c	55.706 a b c d	55.675 d e
T8 KI 10 <sup>-8</sup> M	69.511 d	67.863 e	54.719 b c d	60.794 a b c d
T9 testigo	92.156 a B	81.688 b c d	47.753 e	63.160 a b c
T10 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-2</sup> M	89.119 B	86.700 b c	55.481 a b c d	60.550 a b c d
T11 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-3</sup> M	95.400 a	83.133 b c d	56.675 a b c d	63.206 a b c
T12 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-4</sup> M	65.039 e	65.756 e	<b>60.744</b> a	54.100 e
T13 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-5</sup> M	89.656 B	78.350 d	53.913 b	56.950 b c d e
T14 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-6</sup> M	71.269 d	67.435 e	60.056 a b	56.694 c d e
T15 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-7</sup> M	92.481 a B	88.050 b	57.544 a b c d	54.181 e
T16 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-8</sup> M	88.106 B	85.006 b c d	53.913 c d	56.950 b c d e

Letras con la misma literal son estadísticamente iguales según Tukey ( $\alpha=0.05$ )  
LMP= Longitud Media de Plúmula, LMR= Longitud Media de Radícula.



**Gráfica 4.3** Medias para la variable de Longitud Media de Plúmula y Radícula en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en Ambiente Idóneo y Salino de 100 mM de NaCl.

### Índice de Velocidad de Emergencia

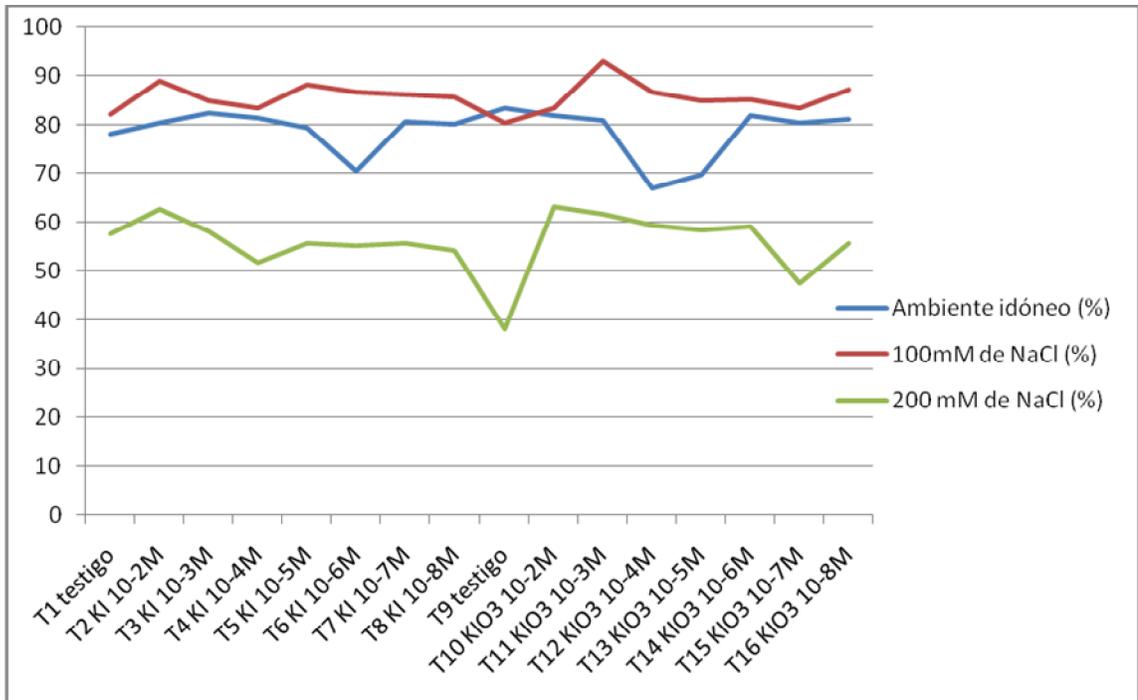
Para vigor se realizó la prueba de índice de velocidad de emergencia, los cuales se expresan en el Cuadro 4.7, en un ambiente idóneo tenemos que el testigo presentó el mayor número de plantas emergidas en comparación con  $KIO_3 10^{-4}M$ , el cual obtuvo el menor valor, en ambiente salino a 100 mM de NaCl observamos que a comparación de ambiente idóneo el mejor tratamiento fue  $KIO_3 10^{-3}M$  y el testigo que presentó el más bajo porcentaje de emergencia, y en un ambiente salino a 200 mM de NaCl observamos al testigo quien obtuvo menos porcentaje de germinación y el  $KIO_3 10^{-2}M$  con el mayor porcentaje de emergencia, esto coincide con el trabajo que realizó Borst Pauwels (1961), el

cual dice que una alta tasa de absorción se afectan especialmente al desarrollo inicial de la planta, ya que una alta concentración de yodo en lugar de ejercer un efecto estimulante puede dar lugar a un temporal retardo del crecimiento. Este retraso será mayor con yoduro que con yodato, el cual en los ambientes salinos (100 y 200 mM de NaCl) hubo mejores resultados que con yoduro.

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

Tratamientos	Medias de índice de velocidad de emergencia		
	Ambiente idóneo (%)	100mM de NaCl (%)	200 mM de NaCl (%)
T1 testigo	78.000	a	82.000 b c
T2 KI 10 <sup>-2</sup> M	80.375	a	88.750 a b
T3 KI 10 <sup>-3</sup> M	82.375	a	84.875 b c
T4 KI 10 <sup>-4</sup> M	81.375	a	83.250 b c
T5 KI 10 <sup>-5</sup> M	79.375	a	88.000 a b
T6 KI 10 <sup>-6</sup> M	70.500	b	86.500 a b c
T7 KI 10 <sup>-7</sup> M	80.500	a	86.125 a b c
T8 KI 10 <sup>-8</sup> M	80.125	a	85.625 a b c
T9 testigo	<b>83.250</b>	a	80.250 c
T10 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-2</sup> M	81.875	a	83.375 b c
T11 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-3</sup> M	80.750	a	<b>92.875</b> a
T12 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-4</sup> M	67.000	b	86.500 a b c
T13 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-5</sup> M	69.875	b	84.875 b c
T14 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-6</sup> M	81.875	a	85.125 b c
T15 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-7</sup> M	80.250	a	83.375 b c
T16 KIO <sub>3</sub> 10 <sup>-8</sup> M	81.000	a	87.000 a b c

Letras con la misma literal son estadísticamente iguales según Duncan ( $\alpha=0.05$ )



**Figura 4.4** Medias para la variable de Índice de Velocidad de Emergencia en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas de Ambiente Idóneo, Salino (100 y 200 mM de NaCl).

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y en relación con el objetivo planteado en el presente trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente.

La aplicación de yodo en la semilla antes de sembrar modifica el porcentaje de germinación, dependiendo el tipo de respuesta del ambiente en donde ocurrió la germinación.

- La aplicación de yodo en forma de yodato a una concentración de  $10^{-7}$  M en un ambiente idónea ayuda a modificar la germinación reduciendo el por ciento de plántulas anormales e incrementando plántulas normales.
- La germinación en un ambiente salino (100 mM NaCl), el tratamiento KI  $10^{-3}$  M obtuvo el mayor porcentaje de germinación con respecto al testigo.
- La respuesta del yodo a la aplicación de la semilla en un ambiente de baja temperatura 3 °C es negativa pero a 9 °C al menos KI  $10^{-5}$  M indujo respuesta positiva.
- La aplicación de yodo incrementó longitudinalmente la plúmula lo cual es un indicador de vigor pero no para el caso de la radícula en ambiente idóneo y salino.
- El yodo aplicado a la semilla en forma de yodato tiene un efecto altamente significativo en índice de velocidad de emergencia en ambiente de salinidad (100 y 200 mM de NaCl) pero no para el caso de un ambiente idóneo.

## 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.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA) 1983.** Seed Vigor Testing Handbook. p. 100.
- Aston, S.R. and P.H. Brazier. 1979.** Endemic goiter, the factors controlling iodine deficiency in soils. *Sci Total Environ.* 11:99-104.
- 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.
- Ching , L. T. 1973.** Occurrence of seeds in virgin forest top soil with particular reference to secondary species in Sabah. *Malaysian For.* 36: 185-193.
- 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.
- Gebhardt Susan E. and Robin G. Thomas, 2002.** Nutritive Value of Foods, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory, Beltsville, Maryland.
- Guzmán López Beatriz, Olivia Salazar Angélica Blanca, Togo Rivera Uriarte Edelmira. 2001.** [www.redescolar.com](http://www.redescolar.com)
- Heydecker, W., Higgins, J. and Turner, Y. J. 1975.** Invigoration of seed. *Seed Sci. and Technol.* 4:1-177. The Netherlands.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1985.** International rules for seed testing. Rules 1996. *Seed & Technol.* Zürich, Switzerland. 274: 1-333.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1996.** 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 organohalogens. *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.
- Lehr J. J., Wybenga J. M., Rosanow M. 1958.** Iodine as a Micronutrient for Tomatoes 1. Plant Nutrition Research Laboratory of the Chilean Nitrate Agricultural Service, Wageningen, Holland 426, 427p.
- León G. H. M. 1980.** El Cultivo de Tomate para Consumo Fresco en el valle de Culiacán SARH-INIA. Culiacán, Sinaloa.
- Moreno M. E. 1996.** Análisis físico y biológico de Semillas agrícolas. 3<sup>a</sup> ed. UNAM. Instituto de Biología. México. 113-114, 237 p.
- 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.
- Roche, J. and Y. Yagi. 1952.** Sur la fixation de l'iode radioactif par les algues et sur les constitutes iodes des laminaires. *C. R. Soc. Biol.*
- 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.

## APÉNDICE

### Germinación en Ambiente Idóneo

**Cuadro A1.** Análisis de varianza para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8, y 24 horas en un Ambiente idóneo.

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Plantas normales</b>	<b>Plantas anormales</b>	<b>Semilla sin germinar</b>	<b>Peso seco</b>
tratamientos	15	134.262*	16.565*	104.748*	275.207*
Tiempo	3	1444.687*	41.348*	1353.515**	1291.520*
Trata/Tiempo	45	170.565*	19.582**	147.604**	239.810*
Error	63	45.364	6.192	38.526	242.851
C. V.		8.503	61.138	37.073	124.633

\*\* , \* Altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01.

### Germinación en ambiente salino a 100 mM de NaCl.

**Cuadro A 2.** Cuadrados medios para la variable de Germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en un ambiente salino a 100 mM de NaCl.

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Plantas normales</b>	<b>Plantas anormales</b>	<b>Semilla sin germinar</b>	<b>Peso seco</b>
tratamientos	15	1169.929**	349.429**	771.282**	9.828*
Tiempo	3	4408.729**	3056.395**	4009.140**	84.683**
Trata/Tiempo	45	916.618**	190.484**	581.518**	8.369*
Error	63	111.052	21.531	105.369	6.193
C. V.		18.047	47.975	32.085	27.462

\*\* , \* Altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01

### Germinación en ambiente salino a 200 mM de NaCl.

**Cuadro A 3.** Cuadrados medios para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en un ambiente salino 200 mM de NaCl.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Plantas normales	Plantas anormales	Semilla sin germinar
tratamientos	15	0.299*	36.146**	38.914**
Tiempo	3	0.459*	17.100*	23.577*
Trata/Tiempo	45	0.202*	31.563**	32.654**
Error	63	0.251	9.260	11.228
C. V.		798.958	132.872	3.434

\*\* , \* Altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01

### Germinación en ambiente de baja temperatura 3 °C.

**Cuadro A 4.** Cuadrados medios para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en un ambiente de baja temperatura 3 °C.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Plantas normales	Plantas anormales	Semilla sin germinar
tratamientos	15	0	5.582*	5.582*
Tiempo	3	0	39.890**	39.890**
Trata/Tiempo	45	0	4.179*	4.179*
Error	63	0	4.005	4.005
C. V.		0	94.526	2.044

\*\* , \* Altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01.

## Germinación en ambiente de baja temperatura 9 °C.

**Cuadro A 5.** Cuadrados medios para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas en un ambiente de baja temperatura 9 °C.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Plantas normales	Plantas anormales	Semilla sin germinar
tratamientos	15	0.0156*	12.362*	12.315*
Tiempo	3	0.015*	26.020*	26.182*
Trata/Tiempo	45	0.015*	6.209*	6.093*
Error	63	0.015	5.260	5.276
C. V.		16.000	63.544	2.383

\*\*, \* Altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01.

## Longitud Media de Plúmula y Radícula en Ambiente Idóneo y Salino de 100 mM de NaCl.

**Cuadro A 6.** Cuadrados medios para la variable de germinación en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas ambiente idóneo y salino de 100 mM de NaCl.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Ambiente idóneo		100 mM de NaCl	
		LMP	LMR	LMP	LMR
tratamientos	15	1526.543**	1141.088**	151.054**	201.454**
Tiempo	3	5241.898**	16427.166**	348.350**	2717.071**
Trata/Tiempo	45	1361.348**	1341.320**	360.264**	336.970**
Error	63	35.653	89.270	42.586	61.032
C. V.		6.852	11.545	11.685	13.143

\*\*, \* Altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01, respectivamente CV= Coeficiente de Variación. LMP= longitud media de plúmula. LMR= longitud media de radícula.

**Índice de velocidad de emergencia, de ambiente idóneo, salino 100 y 200 mM de NaCl.**

**Cuadro A 7.** Cuadrados medios para la variable de índice de velocidad de emergencia en los tiempos de 2, 4, 8 y 24 horas, de ambiente idóneo, salino (100 y 200 mM de NaCl).

<b>Cuadrados medios de índice de velocidad de emergencia</b>				
<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Ambiente idóneo</b>	<b>100 mM de NaCl</b>	<b>200 mM de NaCl</b>
tratamientos	15	388.716**	139.383*	617.300**
Tiempo	3	487.458**	295.166*	368.708*
Trata/Tiempo	45	759.569**	125.366*	350.230**
Error	63	51.166	81.447	92.906
C. V.		9.094	10.551	17.250

\*\* , \* Altamente significativo y significativo a los niveles de probabilidad 0.05 y 0.01, respectivamente CV= Coeficiente de Variación.

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.