

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**PREACONDICIONAMIENTO OSMÓTICO DE SEMILLAS DE  
ALGODONERO (*Gossypium herbaceum* L.) Y SU EFECTO EN EL  
CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS**

POR:

**FAVIOLA ANTONIO CARRASCO**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:

**ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

TORREÓN COAHUILA MÉXICO

MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

PREACONDICIONAMIENTO OSMÓTICO DE SEMILLAS DE ALGODONERO  
(*Gossypium herbaceum L.*) Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS

POR:

FAVIOLA ANTONIO CARRASCO

TESIS

Que somete a la consideración del comité asesor como requisito parcial  
para obtener el título de:

ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADO POR:

Asesor principal:



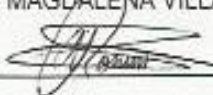
M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO

Asesor principal externo:



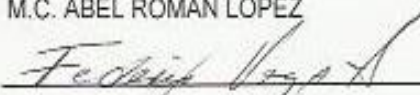
Ph. D. Ma. MAGDALENA VILLA CASTORENA

Asesor:



M.C. ABEL ROMÁN LÓPEZ

Asesor:



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO



Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO. MAYO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

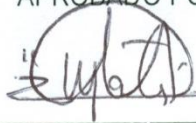
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. FAVIOLA ANTONIO CARRASCO, QUE SOMETE A  
CONSIDERAR DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADO POR:

Presidente:



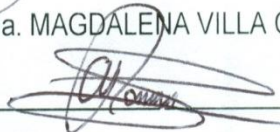
M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO

Vocal



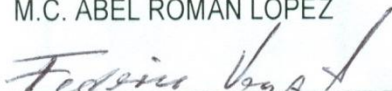
Ph. D. Ma. MAGDALENA VILLA CASTORENA

Vocal:



M.C. ABEL ROMÁN LÓPEZ

Vocal:



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO



Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO. MAYO 2014

## **AGRADECIMIENTO ESPECIAL**

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmosfera (CENID-RASPA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Gómez Palacio, Durango. Bajo la dirección y asesoría de la Ph.D. Ma. Magdalena Villa Castorena y forma parte del proyecto “MANEJO EFICIENTE DEL AGUA Y MITIGACIÓN DEL ESTRÉS HÍDRICO EN CULTIVOS” con clave de registro en el sistema SIGI 1024718654 y fue financiado con fondos fiscales del INIFAP.

## DEDICATORIAS

A **DIOS** porque siempre ha estado iluminando mí camino, porque está siempre presente en cualquier lugar llenándome de luz y dándome la paz que necesito.

A mis padres: **ODILÓN ANTONIO FRANCISCO** y **EVA CARRASCO MARÍA**, Porque hacen que todo sea posible, por su apoyo incondicional, su gran amor, paciencia y tolerancia, por haberme dado el regalo más grande que es la vida, por acompañarme en el camino y porque sé que lo seguirán haciendo hasta el final. Los amo nunca lo duden y de verdad GRACIAS.

A mi hermana **PATRICIA ANTONIO CARRASCO**: Porque también es mi amiga y me escucha, por su apoyo y respeto y porque es maravillosa y sólo con verla sonreír me saca una sonrisa. Te adoro.

A mis hermanos **PEDRO ANTONIO CARRASCO** y **ANDRÉS ANTONIO CARRASCO**: Porque ellos siempre dan todo para que yo este bien y siga adelante, son mis amigos con los que eh vivido alegrías, tristezas, pero sobre todo a habido fortaleza para seguir, gracias hermanos los quiero mucho.

**LUIS ALEXIS GAMBOA CRUZ**: A ti porque eres parte de mi inspiración, tal que me ha hecho ser mejor persona y madurar, me has apoyado muchísimo en todo, por tu gran ayuda, tu empuje, tus palabras, tus te quiero, por los consejos que me das, por el gran interés que demostraste, por tu preocupación de que todo salga bien, por los momentos felices que me hacen seguir avanzando. Gracias.

A mi abuelita **LUCIA MARÍA CASTRO**: Porque siempre está al pendiente preguntando como me va, y se que siempre a pedido para que me vaya bien y se que eso hace que se abran nuevos caminos para que siempre salga bien. Te adoro abuelita.

A mi tía **MARIA ANTONIO FRANCISCO**: Porque ella siempre me ha dado ánimos, consejos para que siga por un buen camino. Te quiero mucho.

## **AGRADECIMIENTOS**

A **DIOS**: Porque nunca me abandona, y me dio la oportunidad de venir a esta vida con una familia maravillosa.

A mis **Padres Odilón Antonio Francisco y Eva Carrasco María**: Por todo su apoyo económico, moral, espiritual y por su entrega como padres maravillosos, por sus desvelos, sus sacrificios y esfuerzos por ser mejor cada día.

A mis **Hermanos Pedro, Patricia y Andrés**: Por su gran apoyo incondicional y también por haber depositado tu confianza en mí, por sus sacrificios que han hecho día a día para que sea mejor.

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** Por darme la oportunidad de realizar mis estudios en ella, por prepararme como un profesional en sus aulas, y darme las bases para enfrentarme al mundo laboral.

A la **Dra. M. Magdalena**: Por su valioso apoyo, por el tiempo y esfuerzo que dedicó en la realización de esta investigación. También por sus buenos consejos, su gran empujé. Gracias.

Al M.C. **Víctor Cueto Martínez**: Por su gran apoyo, por el tiempo que me dedicó, y por contribuir en la realización de esta investigación de la mejor manera y disposición. Gracias.

Al M.C. **Abel Román López**: Por su valioso apoyo y por tomarse su tiempo en revisar y contribuir en la realización de esta investigación. Gracias.

Al M.C. **Federico Vega Sotelo**: Por su apoyo en la realización de esta investigación. Gracias.

**AL CENID – RASPA** (Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-atmosfera), por brindarme su apoyo y las herramientas necesarias para la elaboración de esta tesis.

A mis **Amigos**: Por contribuir de alguna u otra manera, escuchando mis quejas, haciéndome reír y pasar momentos inolvidables, pero sobre todo porque

durante nuestra formación siempre nos apoyamos incondicionalmente  
¡Gracias! Cesar Arias Fuentes y Mabel Oneyda Ortiz Velázquez.

## INDICE DE CONTENIDO

	Páginas
AGRADECIMIENTO ESPECIAL.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE DE CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Meta.....	2
1.3 Hipótesis.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Clasificación botánica del algodónero.....	3
2.2. Descripción morfológica del algodónero.....	3
2.2.1 Raíz.....	3
2.2.2 Tallo.....	3
2.2.3 Hojas.....	4
2.2.4 Flores.....	4
2.2.5 Fruto.....	4
2.3.1 Absorción de agua.....	5
2.3.2. Permeabilidad de la cubierta seminal.....	6
2.3.3. Concentración del agua.....	6
2.3.4. Temperatura.....	6
2.3.5. Presión hidrostática.....	6
2.3.6. Área de la semilla en contacto con agua.....	7
2.3.7. Fuerzas intermoleculares.....	7
2.3.8. Diferencias entre especies.....	7
2.3.9. Absorción diferencial por órganos de la semilla.....	7
2.4 Factores que afectan la absorción de agua de las semillas.....	8
2.5 Factores que afectan la germinación de la semilla.....	9
2.5.1. Efecto de la temperatura.....	9



2.5.2. Rango de temperaturas de germinación .....	9
2.5.3. Condición fisiológica de la semilla .....	10
2.5.4. Temperaturas alternas.....	10
2.5.5. Interacciones .....	11
2.5.6. Presencia de oxígeno .....	11
2.5.7. Luz .....	11
2.6. Latencia.....	12
2.6.1. Tipos de latencia.....	12
2.6.1.1 Inmadurez del embrión.....	12
2.6.1.2. Impermeabilidad de la cubierta seminal .....	13
2.6.1.3. Resistencia mecánica al desarrollo del embrión.....	13
2.6.1.4. Baja permeabilidad a gases de la cubierta seminal. ....	13
2.6.1.5. Latencia del embrión .....	13
2.6.1.6. Latencia secundaria.....	14
2.7. Importancia del cultivo de algodón en México .....	14
2.8. Déficit hídrico en plantas .....	16
2.9. Como afecta a las plantas el déficit hídrico .....	17
2.10. Tolerancia de las plantas al déficit hídrico.....	18
2.11. Ajuste osmótico en plantas .....	19
2.12. Tratamientos pregerminativos .....	21
2.13. Acondicionamiento osmótico de semillas .....	23
2.14. Soluciones empleadas en el acondicionamiento osmótico .....	23
2.15. El acondicionamiento osmótico y la tolerancia al estrés hídrico en cultivos .....	24
III. MATERIALES Y METODOS .....	25
3.1 Localización y clima del sitio experimental.....	25
3.2 Material y equipo utilizado .....	25
3.3. Factores estudiados .....	26
3.4. Diseño experimental.....	26
3.5. Preacondicionamiento de semillas .....	27
3.6 Siembra .....	28
3.7. Riegos y fertilización .....	29
3.8. Variables evaluadas .....	30
3.9. Análisis de información .....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31

4.1 Emergencia de plantas .....	31
4.2 Altura de planta .....	34
4.3. Área foliar .....	34
4.4 Peso seco de la raíz .....	35
4.5. Peso seco del vástago .....	36
4.6. Diámetro del tallo .....	37
4.7. Supervivencia .....	37
V. CONCLUSIONES .....	38
IX. BIBLIOGRAFIA .....	39

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Tratamientos resultantes de la combinación de los tres factores estudiados.....	27
Cuadro 2	Análisis químico del agua de riego. CENID-RASPA INIFAP....	30
Cuadro 3	Medias de altura de planta.....	34
Cuadro 4	Medias del área foliar por planta en cada factor estudiado.....	35
Cuadro 5	Medias de peso seco de la raíz en cada tiempo de inmersión.	36
Cuadro 6	Medias del peso seco del vástago en cada tiempo de inmersión.....	36
Cuadro 7	Medias del diámetro del tallo.....	37

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Tratamiento a la semilla de algodónero.....	28
Figura 2	Planta de algodónero sembradas en charolas de poliestireno.....	29
Figura 3	Integrador de área foliar usado en el estudio.....	31
Figura 4	Interacción entre sustancia osmótica y potencial osmótico en la emergencia de la planta.....	32
Figura 5	Interacción entre sustancia osmótica y tiempo de inmersión de la semilla en la emergencia de plantas.....	33
Figura 6	Interacción entre potencial osmótico y tiempo de inmersión de la semilla en la emergencia de plantas.....	33

## RESUMEN

El tratamiento de semillas con sustancias osmóticas es un método eficaz para mejorar la calidad fisiológica de la semilla. Como resultado a ese tratamiento, las semillas tienden a germinar en menos tiempo y a responder mejor bajo condiciones ambientales adversas como déficits de humedad en el suelo. El presente trabajo se desarrolló con el propósito de evaluar la respuesta de la emergencia y crecimiento de plántulas de algodónero (*Gossypium herbaceum* L.) a tres sustancias osmóticas: NaCl, KNO<sub>3</sub> y Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, tres potenciales osmóticos: 0.3, 0.5 y 0.7 MPa y tres tiempos de inmersión de la semilla: 24, 48 y 72 h. También se contó con un testigo al cuál no se le dio ningún tratamiento. Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades llenas con una mezcla de turba con perlita y vermiculita (70, 15 y 15%). Se colocó una semilla por cavidad y se utilizó la variedad transgénica FM11740B2F. El diseño experimental fue bloques al azar, con cuatro repeticiones y arreglo de tratamientos factorial 3<sup>3</sup>. Los tres factores estudiados, así como la interacción entre ellos afectaron la emergencia de plantas. El incremento del potencial osmótico disminuyó las plantas emergidas dentro de cada sustancia, excepto en el NaCl. Con 24 horas de inmersión de la semilla, la emergencia de plantas fue más alta y no se observó diferencia entre las sustancias y potenciales osmóticos. Sólo el tiempo de inmersión de la semilla afectó a la altura de planta y al peso seco total con los valores más altos con 24 horas. El NaCl y Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0.3 MPa y 24 horas produjeron la mayor área foliar. Las plantas tratadas mostraron mayor crecimiento aéreo y sobrevivencia al estrés hídrico que las plantas no tratadas.

**Palabras clave:** Potencial osmótico, sustancia osmótica, tiempos de inmersión, emergencia de plantas, déficits de humedad.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del algodón (*Gossypium herbaceum* L.) fue el principal cultivo en la Región Lagunera hasta la década de los 90's, sin embargo su superficie ha ido a la baja debido a diversos factores. Entre los que se encuentra la escasez de agua que impera en la región como consecuencia de la baja precipitación. Sin embargo, es un cultivo atractivo desde el punto de vista económico ya que cuenta con apoyos económicos directos del gobierno federal; además de que es un cultivo que genera empleo pues requiere de mano de obra para llevar a cabo las prácticas agronómicas para su desarrollo.

El tratamiento de semillas con sustancias osmóticas es un método usado para mejorar la calidad fisiológica de la semilla a través de la uniformidad y porcentaje de germinación. El método consiste en la inmersión de las semillas en una solución osmótica o en cantidades limitadas de agua durante cierto período de tiempo, con o sin deshidratación previa a la siembra (*Welbaum et al., 1998* y *Mc Donald, 1999*).

Como resultado a ese tratamiento, las semillas tienden a germinar en menos tiempo y a responder mejor bajo condiciones ambientales adversas como déficits de humedad en el suelo, salinidad y altas temperaturas (*Bradford et al. 1990; Halmer, 2008; Amooghaie, 2011*).

El resultado del tratamiento de semillas con agentes osmóticos es afectado por una serie de factores. Entre los que destacan la especie, el agente osmoacondicionante, el potencial osmótico, el tiempo de acondicionamiento, la temperatura de la solución y el vigor de la semilla (*Killian y Tapia, 2001; Lee et al., 2002; Caseiro et al., 2004*).

Las sustancias usadas en el acondicionamiento osmótico pueden ser inorgánicas y orgánicas. Entre las primeras, las más usadas son NaCl, (cloruro de sodio), KNO<sub>3</sub>, (nitrato de potasio), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (fosfato monopotásico), NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (nitrato de amonio), nitrato de calcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), nitrato de sodio (NaNO<sub>3</sub>), sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>). Las sustancias orgánicas comúnmente

empleadas son glicerol ( $C_3H_8O_3$ ), manitol ( $C_6H_{14}O_6$ ) y polietilenglicol ( $C_{2n+2}H_{4n+6}O_{n+2}$ ) (*Mauromicale y Cavallaro, 1995; Killian y Tapia, 2002*).

### **1.1 Objetivo**

Evaluar la respuesta de la emergencia y crecimiento de plántulas de algodónero al tratamiento de la semilla con tres agentes osmóticos, tres potenciales osmóticos y tres tiempos de inmersión.

### **1.2 Meta**

Determinar el tratamiento de semillas de algodónero con sustancias osmóticas y que tienden a germinar en menos tiempo y a responder mejor bajo condiciones ambientales adversas como déficits de humedad en el suelo.

### **1.3 Hipótesis**

Ho. La emergencia y el crecimiento de plántulas de algodónero responderán de igual manera al tratamiento de la semilla con los diferentes agentes y potenciales osmóticos, y tiempos de inmersión de la semilla.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Clasificación botánica del algodónero

La clasificación botánica del algodónero de acuerdo a la CONABIO (2013) es la siguiente:

**REINO:** *Plantae*

**DIVISIÓN:** Magnoliophyta

**CLASE:** *Magnoliopsida*

**ORDEN:** *Malvales*

**FAMILIA:** Malvaceae

**GÉNERO:** *Gossypium*

**ESPECIE:** *hirsutum*

### 2.2. Descripción morfológica del algodónero

#### 2.2.1 Raíz.

La raíz principal es axonomorfa o pivotante. Las raíces secundarias siguen una dirección más o menos horizontal. En suelos profundos y de buen drenaje, las raíces pueden llegar hasta los dos metros de profundidad. En los de poco fondo o mal drenaje apenas alcanzan los 50 cm. (<http://www.monografias.com/trabajos14/algodón/algodon.shtml>).

#### 2.2.2 Tallo.

La planta de algodón posee un tallo erecto y con ramificación regularmente, Existen dos tipos de ramas, las vegetativas y las fructíferas. (<http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/algodon.htm>). (<http://www.slideshare.net/cintiaestefania/el-algodon-presentation>).



### **2.2.3 Hojas.**

Las hojas son pecioladas, de un color verde intenso, grandes y con los márgenes lobulados. Están provistas de brácteas. (<http://www.redtextilargentina.com.ar/index.php/component/content/article/175-uncategorised/56-fibra-de-algodon>).

### **2.2.4 Flores.**

Las flores son blancas al principio, luego se vuelven rosas y finalmente son rojas cuando se caen. Son grandes, solitarias y penduladas. El cáliz de la flor está protegido por tres brácteas. La corola está formada por un haz de estambres que rodean el pistilo. El algodónero es una planta autógama, es decir que se poliniza así misma (<http://es.scribd.com/doc/90587901/Morfologia-algodon>).

### **2.2.5 Fruto.**

El fruto es una cápsula en forma ovoide, que tiene de tres a cinco carpelos, que a su vez contienen de seis a diez semillas cada uno. Lo que nosotros conocemos como algodón es una fibra que proviene de las células epidérmicas de las semillas. La longitud de la fibra varía entre 20 y 45 cm, con un peso de 4 a 10 gramos. Es de color verde durante su desarrollo y oscuro en el proceso de maduración.

(<http://www.monografias.com/trabajos14/algodon/algodon.shtml>).

## **2.3 Fisiología y proceso de germinación de las semillas en algodónero**

La germinación es el conjunto de fenómenos por los cuales el embrión, que se halla en estado de vida latente dentro de la semilla, reanuda su crecimiento y se desarrolla para formar una plántula.

Para la germinación de una semilla deben cumplirse tres condiciones de acuerdo a Montaldi, que el embrión sea viable (que esté vivo), que los factores

externos sean favorables y que no presente factores internos que impidan la germinación.

La germinación comprende cuatro etapas principales:

1. La imbibición de agua;
2. La síntesis y activación de los sistemas enzimáticos;
3. Degradación de las sustancias de reserva
4. Elongación de las células del embrión y emergencia de la radícula(Montaldi, 2005).

Asumiendo que no existen mecanismos de latencia que impidan la germinación, se requiere de la concurrencia de varios eventos para que el embrión contenido en la semilla reinicie su desarrollo (Besnier, 1990.)

### **2.3.1 Absorción de agua**

Imbibición: Es un caso especial de un fenómeno físico denominado difusión, y como tal, se da sí existe una gradiente de difusión. Se caracteriza por un aumento de volumen de la sustancia o cuerpo que imbibes y está íntimamente relacionada con las propiedades de materiales coloidales. Las partículas coloidales en la semilla forman una red miscelar, medianamente rígida, en la que cargas eléctricas de signos opuestos están orientadas en una manera definida. Cuando el agua penetra en la semilla, una fracción ocupa los espacios libres y otra se une químicamente a las sustancias de que están compuestas las semillas. El volumen de las semillas aumenta con la imbibición, pero el volumen final del sistema (semilla + agua) es menor que la suma de los volúmenes individuales iniciales de semillas y agua; esta contracción del sistema es prueba de la ocupación de los espacios libres dentro de la semilla y de la absorción de agua en la matriz coloidal. La tasa de imbibición se ve afectada por varios factores que pueden determinar la respuesta a germinación de las semillas (Besnier, 1990)

### **2.3.2. Permeabilidad de la cubierta seminal**

El caso más evidente es el de semillas cuyas cubiertas son totalmente impermeables al agua, ej. Semillas duras de leguminosas, de algodón, etc. Sin embargo, también se dan ejemplos en que la penetración de agua es restringida y no impedida (Carrillo, 1987).

### **2.3.3. Concentración del agua**

En general, la imbibición es más rápida cuando la semilla está en contacto con agua pura que cuando el agua contiene solutos. El principio que opera es el de presión de difusión del agua. De aquí que las semillas absorben agua más lentamente en suelos secos o salinos, no solo porque hay menos agua, sino que también es causa de una menor presión de difusión del agua (Carrillo, 1987).

### **2.3.4. Temperatura**

El calor es una forma de energía. Cuando se calienta el agua que está en contacto con la semilla, parte de la energía suministrada se invierte en aumentar la difusión de agua, por lo tanto, la tasa de absorción de agua, dentro de ciertos límites. Se ha encontrado experimentalmente que un aumento de 10°C en la temperatura duplica la tasa de absorción al inicio del proceso de imbibición (Salinas, 2001).

### **2.3.5. Presión interna por dilatación**

Conforme el agua penetra en las semillas, ésta provoca un aumento de volumen y presión en las membranas celulares. Igualmente, las membranas celulares oponen resistencia de igual magnitud, la que resulta en un aumento de la presión de difusión del agua interna, aumentando su difusión hacia afuera y por lo tanto disminuyendo la tasa de absorción de la semilla (Carrillo, 1987).

### **2.3.6. Área de la semilla en contacto con agua**

Considerando otros factores constantes, la tasa de absorción de agua es proporcional a la magnitud del área de las semillas en contacto con el agua. En algunas clases de semilla ciertas regiones son más permeables que otras. Ejemplo: el hilo en las semillas de leguminosas (Hepher y Roberts, 2002).

### **2.3.7. Fuerzas intermoleculares**

Son en general fuerzas de naturaleza eléctrica. Cualquier aumento en estas fuerzas disminuye la presión de difusión del agua y por tanto la tasa de absorción de las semillas. El efecto de estas fuerzas es más evidente en el suelo. Suelos de bajo contenido de agua sujetan tenazmente la humedad mediante fuerzas intermoleculares (Salinas, 2001).

### **2.3.8. Diferencias entre especies**

Algunas especies absorben agua más rápidamente que otras. Ejemplo: semilla de algodón absorbe agua más lentamente que la semilla de frijol (Hepher y Roberts, 2002).

### **2.3.9. Absorción diferencial por órganos de la semilla**

Las semillas están compuestas de diversos órganos. Estos se pueden agrupar, arbitrariamente en las siguientes categorías:

- a) Cubierta seminal (testa, pericarpio, etc.)
- b) Tejidos nutritivos de reserva (cotiledones, endosperma, perisperma, etc.)
- c) Eje embrionario (compuesto de radícula, plúmula y estructuras asociadas).

Estos componentes absorben agua a diferentes velocidades y magnitudes. Se ha hallado que en semillas de algodón, maíz y frijol la máxima hidratación ocurre en las primeras 24 horas de imbibición, y que: (a) la cubierta seminal funciona como órgano de transporte de agua, con su curva característica de absorción; (b) el endosperma y los cotiledones absorben agua lentamente;

actúan como reservorio de agua y no como estructuras activas de absorción; (c) el eje embrionario absorbe agua rápida y continuamente (Salinas, 2001).

Contenido de humedad mínimo para que ocurra germinación. Cada especie necesita absorber un cierto mínimo de humedad para que ocurra germinación. Se ha encontrado que las semillas con alto contenido de proteína necesitan un contenido de humedad mayor que semillas con niveles bajos de proteína. (FUNDEAGRO, 1990).

Conviene aclarar que la relación suelo-semilla en lo que a absorción de agua se refiere es un tanto más complicada. La evidencia experimental enseña que el hecho de que la semilla necesite un contenido de humedad alto para germinar no implica que su germinación se retarde por esa condición. Por regla general, la velocidad de emergencia se reduce conforme la humedad del suelo se acerca al punto de marchitez; en algunas especies también se reduce el porcentaje de emergencia en condiciones de escasa humedad del suelo. El exceso de agua puede ser tan pernicioso para la semilla como la carencia. Sí el nivel de agua llega a excluir o restringir la penetración de oxígeno a la semilla, la germinación se retarda o no ocurre, en un gran número de especies. En otras no se han observado daños. Ejemplo, la germinación de semilla de arroz se puede acelerar por inmersión; por el contrario, la inmersión de semilla de frijol por períodos relativamente cortos puede causar daños reversos (FUNDEAGRO, 1990).

#### **2.4 Factores que afectan la absorción de agua de las semillas**

Existen diversos factores que afectan la absorción de agua por las semillas entre los más importantes se cuentan:

1. Madurez. Semilla de maíz cosechada en estado de "leche" absorbe agua más rápidamente que semillas en estados avanzados de madurez.
2. Composición Química de la semilla. Semillas con alto contenido de proteína absorben más volumen de agua y más rápidamente que semillas almidonosas.

Semillas con altos contenidos de aceite, pero de bajo contenido de proteína se comportan parecidas a semillas almidonosas.

3. Edad. Conforme avanzan en edad, las semillas tienden a absorber agua más rápidamente. Este fenómeno se considera asociado a la pérdida de integridad de las membranas celulares (Pinedo, 1990).

## **2.5 Factores que afectan la germinación de la semilla**

### **2.5.1. Efecto de la temperatura**

El proceso de germinación, como todos los procesos fisiológicos está afectado por la temperatura. Para cada clase de semillas existe una temperatura mínima y una máxima en la que ocurre la germinación. Además, dentro del rango temperatura mínima-máxima, existe un punto en el que se obtiene máxima germinación y ésta ocurre más rápidamente; este punto corresponde a la temperatura óptima. Estas temperaturas se conocen como las temperaturas cardinales de germinación (Pinedo, 1990).

### **2.5.2. Rango de temperaturas de germinación**

1. Temperatura mínima. Por debajo de esta temperatura los procesos de germinación no se pueden detectar visualmente, dentro de un período razonable de tiempo.

Bajas temperaturas pero por encima del punto de congelación no son letales a las semillas.

2. Temperatura máxima. Es la temperatura por encima de la cual los mecanismos de germinación no operan y por lo tanto no se da crecimiento del embrión. En contraste con la temperatura mínima, la máxima es fácil de determinar ya que temperaturas superiores a la máxima causan daños irreversibles a las semillas (excepción a esta regla son las semillas que entran en latencia a altas temperaturas).

3. Temperatura óptima. Esta se puede definir como la temperatura a la cual se da el porcentaje máximo de germinación en un mínimo de tiempo.

Si representamos el rango de temperaturas en que ocurre germinación como línea. Mínima óptima máxima se pueden hacer varias observaciones:

a. En el rango temperatura mínima-óptima los porcentajes de germinación no son sustancialmente diferentes (siempre que el factor tiempo no sea limitante), pero la germinación ocurre más rápidamente conforme nos desplazamos hacia la temperatura óptima.

b. Considerando el segmento temperatura óptima-máxima, los porcentajes de germinación tienden a disminuir conforme nos desplazamos hacia la temperatura máxima; en algunas especies puede ocurrir que a temperaturas superiores a la óptima las semillas que sí germinan más rápidamente que a la temperatura óptima. Sin embargo, la velocidad de germinación también disminuye en las cercanías de la máxima (Bidwell, 1993).

### **2.5.3. Condición fisiológica de la semilla**

A menudo el efecto de la temperatura sobre la germinación está íntimamente relacionado con la condición fisiológica de la semilla. Semilla recién cosechada presenta requerimientos muy específicos de temperatura para poder germinar. Por ejemplo, semilla de arroz recién colectada germina mejor a 32°C que a 25°C. Este fenómeno está relacionado con latencia. Conforme se pierde la latencia, el óptimo de temperatura puede variar hacia temperaturas más altas o más bajas y el rango de temperaturas dentro de las que ocurre germinación se amplía. Con el deterioro, las semillas tienden a necesitar temperaturas específicas para que ocurra germinación (Leubner-Metzger, 2003).

### **2.5.4. Temperaturas alternas**

Semillas de muchas especies se prueban alternando bajas y altas temperaturas, como por ejemplo 20-30°C 25-30°C, etc. Se acostumbra mantener la temperatura más baja durante 16 horas y el alta durante 8 horas. Esta alternación de temperaturas pretende duplicar las fluctuaciones diurnas de temperatura que se dan en la naturaleza (Chachar *et al.*, 2008).

### **2.5.5. Interacciones**

Los efectos de la temperatura sobre la germinación tienen características muy especiales cuando se trata de semillas latentes. La germinación de algunas semillas mejora notablemente bajo condiciones de baja temperatura (recordemos el método de romper latencia denominado estratificación); otras semillas responden favorablemente a tratamientos con temperaturas altas (Chachar *et al.*, 2008).

### **2.5.6. Presencia de oxígeno**

Este es, quizás, el requisito de germinación más olvidado por los analistas de semillas. Generalmente se da por un hecho que la atmósfera suple todas las necesidades para la germinación de las semillas. Sin embargo, no se debe olvidar que entre el oxígeno y el agua se establece un proceso de competencia. Esta relación competitiva se origina de la baja solubilidad del oxígeno en agua y de las diferencias tan notables que existen entre los coeficientes de difusión del oxígeno en el agua y en el aire. La actividad respiratoria de la semilla puede controlarse por velocidad con que el oxígeno llega a los mitocondrios de las células fisiológicamente activas de las semillas. El efecto combinado de solubilidad y difusibilidad reduce la tasa de difusión de oxígeno de  $0.205 \text{ ml/cm}^2 \times \text{seg.}$  a  $6.7 \times 10^{-7} \text{ ml/cm}^2 \times \text{seg.}$  De lo anterior es fácil deducir que el exceso de humedad en el sustrato de germinación (o en el suelo). Reduce notablemente la disponibilidad de oxígeno a las semillas en germinación. Las necesidades de oxígeno cambian con las diferentes fases de germinación (Biblioteca De La Agricultura, 1997).

### **2.5.7. Luz**

La exposición a la luz estimula la germinación de semillas de muchas especies silvestres y agrícolas. En la gran mayoría de los casos se estimula la germinación mediante exposición a luz roja ( $660 \text{ nm} = 6600 \text{ \AA}$ ) y se inhibe con luz de  $730 \text{ nm}$  de longitud de onda. En esta reacción acondiciones lumínicas está involucrado el fitocromo. Ya habíamos mencionado que en la respuesta a



la luz influye también la temperatura de germinación. Aunque está fuera del límite de esta charla discutir más profundamente las relaciones entre luz y germinación, vale la pena mencionar algunas observaciones que pueden revestir carácter práctico. Algunas semillas que normalmente no requieren de luz para germinar, ejemplo, tomate y pepino, pueden tornarse fotosensibles si se exponen a luz de 730 nm. Una vez que la germinación haya sido inhibida por exposición a esa calidad de luz, el efecto inhibitorio puede revertirse mediante exposición a luz de 660 nm. En un gran número de especies la necesidad por luz puede ser reemplazada por tratamientos con ácido giberilíco. (Biblioteca De La Agricultura, 1997).

## **2.6. Latencia**

Hasta el momento hemos descrito las condiciones ambientales necesarias para que ocurra la germinación de las semillas. A menudo sucede que algunas semillas rodeadas de lo que podría llamarse un ambiente óptimo para germinación, temperatura y agua favorable, buena disponibilidad de oxígeno, no logran germinar. Este fenómeno se denomina latencia. Debe distinguirse este término del que se utiliza para describir semillas que no germinan por carencia de condiciones ambientales adecuadas; estas semillas se denominan quiescentes (Biblioteca De La Agricultura, 1997).

### **2.6.1. Tipos de latencia**

#### **2.6.1.1 Inmadurez del embrión**

Este tipo de latencia comprende casos que van desde semillas con embriones totalmente indiferenciados hasta otras con embriones diferenciados pero que continúan su desarrollo después de que la semilla se desprende de la planta madre. De modo que en algunos casos es difícil determinar si el desarrollo posterior del embrión corresponde a etapas finales de maduración de la semilla o a la fase inicial de germinación (Montaldi, 2005).

#### **2.6.1.2. Impermeabilidad de la cubierta seminal**

En la jerga de los analistas, las semillas con cubierta seminal impermeable al agua se denominan " semillas duras". Este tipo de latencia es muy común en la familia Leguminosae, pero se da también en Malvácea, Chenopodiaceae, Liliáceae y Solanácea. La testa actúa como barrera al agua; la simple ruptura de cubierta permite la penetración del agua y la germinación ocurre sin contratiempos. Esto se puede lograr manualmente o por medios mecánicos o químicos (Bewley, 2001).

#### **2.6.1.3. Resistencia mecánica al desarrollo del embrión.**

El origen de este tipo de latencia, impuesta por resistencia mecánica de la cubierta seminal al crecimiento del embrión, hoy día se considera casi obsoleto. En algunas especies de Rosácea se ha encontrado que aunque es cierto que se requiere de grandes presiones para romper el duro endocarpo que envuelve a la semilla, también contribuye a imponer el estado de latencia la presencia de algunos inhibidores endógenos (BEWLEY, 2001).

#### **2.6.1.4. Baja permeabilidad a gases de la cubierta seminal.**

La germinación de muchas especies de Gramíneae se favorece dañando la cubierta seminal mediante tratamiento con ácido o escarificación mecánica. Este tipo de latencia es frecuente en arroz y en semilla de muchas gramíneas forrajeras. (Pinedo, 1990; Biblioteca De La Agricultura. 1997).

#### **2.6.1.5. Latencia del embrión**

a) Necesidad de luz.

Ya hemos mencionado que las semillas algunas especies necesitan luz para germinar. Entre estas se cuentan las semillas de tabaco y lechuga. Estas semillas sólo responden al estímulo lumínico cuando están imbibidas de agua, y la respuesta está afectada por la presencia de la cubierta seminal y de la

temperatura de germinación. Se ha encontrado que si los embriones se remueven de la semilla, sin causarles daño pueden germinar en la oscuridad.

#### b) Necesidad de enfriamiento

Las semillas de algunas especies requieren de tratamientos a bajas temperaturas (5-10°C) para poder germinar. En algunas especies la necesidad de tratamientos a baja temperatura se puede sustituir con tratamientos con ácido giberílico. Este tipo de latencia está asociado con la presencia de inhibidores de germinación y/o con niveles endógenos insuficientes para promover germinación de ácido giberílico. El inhibidor de germinación más poderoso que se conoce es el ácido abscísico. La inhibición establecida por el ácido abscísico solo puede revertirse con la aplicación de citoquininas tales como la Kinetina y lazeatína. El bloqueo establecido por los otros inhibidores se puede neutralizar con la aplicación de ácido giberílico. La aplicación de auxinas como ácido indolacético es inefectiva para neutralizar el efecto de los inhibidores de germinación. Los tipos de latencia mencionados no son mutuamente excluyentes; algunas especies presentan dos o más tipos de latencia. Afortunadamente estos casos no se dan en las especies de valor agrícola (Bieto, 2008).

#### **2.6.1.6. Latencia secundaria**

Algunos tipos de semillas no latentes, si se colocan en un ambiente de germinación desfavorable, pueden entrar en una fase de latencia o inducida. Por ejemplo, algunas variedades de lechuga que requieren luz para germinar, entran en estado de latencia y se convierten en fotosensibles si se les coloca a imbibir agua a 35°C. Esta latencia inducida puede revertirse mediante aplicación de ácido giberílico (Pinedo, 1990.)

### **2.7. Importancia del cultivo de algodón en México**

La Comarca Lagunera (Coahuila y Durango) es la zona en la que se cultiva la mayor cantidad de algodón en México. Los estados en los que el algodón se cultivó con éxito durante 2011 fueron: Sinaloa, Sonora, Baja California,

Chihuahua, Tamaulipas, Coahuila y Durango. El algodón ha sido considerado como “el cultivo social” ya que genera trabajo y sustento a familias en las regiones donde se siembra. ([http://www.agrobiomexico.org.mx/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=94&Itemid=28#sthash.kwo5hsWS.dpuf](http://www.agrobiomexico.org.mx/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=94&Itemid=28#sthash.kwo5hsWS.dpuf))

El cultivo del algodnero es sin duda el que dio origen al florecimiento económico de la Región Lagunera de Coahuila y Durango. El auge del cultivo en esta Región se remota desde los tiempos de la Guerra Civil en los Estados Unidos de Norteamérica en los años de 1860 a 1865. En ese entonces el precio de la fibra de algodón se elevó arriba de un dólar la libra de algodón pluma. Gracias a ello la Región Lagunera experimentó un gran movimiento de colonización, se abrieron nuevas tierras al cultivo, tanto por mexicanos provenientes de otros Estados de la república como Nuevo León, Jalisco, Zacatecas, Durango, Chihuahua; así como por extranjeros españoles inicialmente, y posteriormente alemanes e ingleses. Hasta los años 1940-50's, el algodnero fue el cultivo tradicional de la Laguna y durante muchos años fue casi un monocultivo llegándose a sembrar hasta 1000,000 hectáreas por ciclo (Fernández, 2001).

Sin embargo, a principios de los años noventa, empezó una firme reducción de las superficies establecidas de algodnero. Esto debido a la caída del precio internacional del algodón y a los altos costos del cultivo derivados principalmente de la falta de control de plagas. Para los ciclos agrícolas de 1992 y 1993, prácticamente se abandonó en la región lagunera la siembra de algodón. Lo anterior debido a que en los ciclos de 1990 y 1991 fue incosteable su establecimiento ya que se registraron fuertes pérdidas tanto para productores como para la banca privada (Fernández, 2001).

Es importante mencionar aspectos como que la reducción en la superficie cultivada en los principales países productores así como la merma en la productividad, fueron los elementos fundamentales que llevaron a la producción, en 1998/99, a su nivel más bajo de la segunda mitad de la

presente década, ubicándose aproximadamente 8.0% por abajo de la obtenida en 1995/96, año en el cual se alcanzó la mayor producción del último quinquenio de la década de los noventa. ([http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=9&ved=0CF4QFjAI&url=http%3A%2F%2Fffyl.uncu.edu.ar%2FIMG%2Fdoc%2Falgodon\\_\\_1\\_.doc&ei=sQuiUtmEMeHW2AW2koCwDA&usg=AFQjCN G4z2F-cX7EbAywF\\_uKLGQ9iJIGhA](http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=9&ved=0CF4QFjAI&url=http%3A%2F%2Fffyl.uncu.edu.ar%2FIMG%2Fdoc%2Falgodon__1_.doc&ei=sQuiUtmEMeHW2AW2koCwDA&usg=AFQjCN G4z2F-cX7EbAywF_uKLGQ9iJIGhA)).

## **2.8. Déficit hídrico en plantas**

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la tasa de absorción de agua. El déficit hídrico no solo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas y altas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones, capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980).

De acuerdo con los requerimientos del agua, las plantas pueden ser consideradas como hidrófitas, mesófitas y xerófitas. Las primeras son aquellas que están adaptadas a vivir total o parcialmente sumergidas al agua (en general no toleran potenciales hídricos más negativos de -5 a -10 bares). Las segundas son las que están adaptadas a un aporte moderado de agua (en general no toleran potenciales hídricos más negativos de -20 bares). Las terceras están adaptadas a ambientes áridos (en general no toleran potenciales hídricos más negativos de -40 bares) (Nilsen y Orcutt, 1996).

Las plantas a lo largo de su desarrollo experimentan algún grado de estrés por déficit hídrico. En los sistemas naturales, un déficit de agua puede ser el resultado de bajas precipitaciones, baja capacidad de retención de agua del suelo, excesiva salinidad, temperaturas extremas frías o calientes, baja presión de vapor atmosférica o una combinación de estos factores. Las plantas han respondido al estrés hídrico desarrollando evolutivamente adaptaciones

tanto a nivel morfológico como anatómico y celular, que les permite vivir en condiciones de constante estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996).

Las plantas que son capaces de adquirir más agua o que hacen uso más eficiente de ésta podrán tener resistencia al estrés por sequía (Black y Osmond, 2003; Luttge, 2004). Las plantas también poseen mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta a estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996).

Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento. Uno de principal importancia es la limitación específica de expansión foliar. Aunque el área foliar es importante, pues de ella depende la fotosíntesis, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; ésta continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Potters, 2007; Shao, 2008).

## **2.9. Como afecta a las plantas el déficit hídrico**

Como consecuencia de la reducción del contenido hídrico de la planta ésta experimenta cambios en su fisiología. El estrés hídrico afecta a la mayor parte de sus funciones vitales, de forma que no hay, prácticamente, ningún proceso fisiológico que no esté afectado por el déficit hídrico. Los efectos inmediatos del estrés hídrico son la pérdida de turgencia celular, reducción de la tasa de expansión celular, disminución de la síntesis de pared celular y la reducción de la síntesis de proteínas. Conforme el contenido hídrico va disminuyendo se ve el efecto sobre otros mecanismos, por ejemplo, aumento en los niveles de ácido abscísico o el cierre estomacal. Cuando el déficit hídrico es muy pronunciado se produce cavitación de los elementos del xilema, caída de la hoja, acumulación de solutos orgánicos y la marchitez de la planta, entre otros

efectos. ([http://rodas.us.es/file/4949d71b-4d3d-9e69-000a-1b76edf86560/1/texto\\_estres\\_hidrico\\_SCORM.zip/pagina\\_04.htm](http://rodas.us.es/file/4949d71b-4d3d-9e69-000a-1b76edf86560/1/texto_estres_hidrico_SCORM.zip/pagina_04.htm)).

## **2.10. Tolerancia de las plantas al déficit hídrico**

Siendo el agua uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés. Muchas plantas han desarrollado respuestas que les permiten tolerar diferentes niveles de déficit de agua, que van desde un estrés hídrico leve, causado por la disminución del potencial hídrico al mediodía, hasta aquellas que les permiten sobrevivir en hábitat desérticos (Black y Osmond, 2003; Luttge, 2004).

Algunas plantas poseen adaptaciones tales como el desarrollo del metabolismo C4 y del metabolismo ácido de las crasuláceas o CAM, que les permite explotar ambientes más áridos. Así, en las plantas C4 hay una separación física entre el proceso de asimilación CO<sub>2</sub>. En este metabolismo se genera una mayor concentración de CO<sub>2</sub> en las células especializadas que puede estar en equilibrio con la atmosfera externa. Las plantas C4 eliminan o reducen el proceso de fotorespiración, compartimentación en la fijación de CO<sub>2</sub>. Separación física del proceso fotosintético. Plantas CAM, separación en tiempo de la fijación de CO<sub>2</sub>.

Plantas C4:

- Mecanismo para concentrar CO<sub>2</sub> en la zona donde se encuentra localizada la enzima Rubisco (para que funcione como carboxilasa).
- La fijación de CO<sub>2</sub> ocurre de forma compartida entre células del mesófilo y la vaina del haz vascular, a esta organización atómica de las hojas se les conoce como de Kranz.
- A este grupo fotosintético pertenecen plantas de origen subtropical y tropical. Las plantas C3 (en su mayoría) son de origen templado.

- Las plantas C4 requieren mayor gasto energético en su proceso fotosintético en comparación a las plantas C3, 5 ATP vs 3 ATP. El consumo de NADPH es igual entre los dos tipos de plantas.
- Sin embargo, el proceso fotosintético de las plantas C4 es más eficiente, ya que la pérdida de un CO<sub>2</sub> de carbono por la fotorespiración es eliminada o reducida al mínimo (Black y Osmond, 2003; Lettge, 2004; Bidwell, G.S.1993)

El metabolismo CAM difiere del C4 en que los procesos fotosintéticos muestran una separación temporal en vez de física. Constan de una fase en la que los estomas se abren durante la noche entrando CO<sub>2</sub> y saliendo agua. El CO<sub>2</sub> será transformado en malato por la PEP. En la fase diurna, encontramos los estomas cerrados y la reserva de malato producida por la noche se transforma en CO<sub>2</sub> que permite el inicio del ciclo de Calvin.

Las CAM al dividir el metabolismo en noche y día reducen la pérdida de agua. El flujo de salida de agua es en función de la humedad exterior. Por el día, cuando más seco está el aire, hay menor humedad relativa, mayor será la difusión de agua por transpiración.

Por este motivo los estomas se mantienen cerrados y solo se abren por la noche, cuando la humedad es significativamente mayor (Barcelo, 1992).

Otro mecanismo de tolerancia al déficit hídrico a nivel fisiológico es el cierre de estomas. Estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2006). El proceso de cierre de estomas, cuando el mesófilo comienza a sufrir deshidratación, está regulado por el ácido abscísico (ABA) (Leung y Giraudat, 1998). El contenido de este ácido en las hojas se incrementa debido a la redistribución desde los cloroplastos de las células del mesófilo y a la síntesis y transporte desde raíces. El cual es liberado al apoplasto para llegar a las células guarda a través de la corriente de transpiración (Zhang y Outlaw, 2001).

### **2.11. Ajuste osmótico en plantas**

La sequía, la salinidad y el frío son factores que conducen a la deshidratación celular, la cual causa estrés osmótico que a su vez limita la absorción de agua



del suelo por las plantas. El estrés osmótico también ocasiona la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS, reactive oxygenspecies) que afecta negativamente la estructura celular y el metabolismo. Las respuestas tempranas a la sequía y a la salinidad son idénticas excepto por el componente iónico, e incluyen la disminución de la fotosíntesis o cambios en los procesos hormonales. Cuando el potencial agua de los tejidos disminuye por causa de un déficit hídrico, una reducción en el potencial osmótico permite minimizar los efectos de este cambio sobre el potencial de presión debido al mantenimiento de un gradiente de potencial agua entre el suelo y las raíces que permite la absorción de agua desde el suelo. (<http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.icb.uncu.edu.ar%2Fupload%2Fajusteosmotico.doc&ei=fS6iUofEDIOp2QWnmYEg&usq=AFQjCNGC81kSx5HYfQkVqnEkZIEaXD0Aog>).

El potencial osmótico puede disminuir porque se reduce el volumen de agua simplástica originando una mayor concentración de los solutos existentes en proporción a la cantidad de agua perdida. La reducción del potencial osmótico también puede originarse por un incremento neto en la cantidad de solutos existentes, esta capacidad de acumular solutos que se produce en respuesta a un déficit hídrico y que determina un mantenimiento total o parcial de la presión celular, se denomina capacidad de ajuste osmótico u osmorregulación. (<http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.icb.uncu.edu.ar%2Fupload%2Fajusteosmotico.doc&ei=fS6iUofEDIOp2QWnmYEg&usq=AFQjCNGC81kSx5HYfQkVqnEkZIEaXD0Aog>).

(<http://www.icb.uncu.edu.ar/upload/ajusteosmoticochimenti.pdf>)

El ajuste osmótico se da en las plantas a través de la biosíntesis de osmolitos orgánicos de bajo peso molecular y por la acumulación de iones, fundamentalmente,  $K^+$  (Cushman, 2001). Esto último ocurre principalmente en la vacuola, mientras que en el citoplasma se acumulan los osmolitos que no afectan negativamente la funcionalidad de macromoléculas celulares

(Buchanan, 2001). Cuando el estrés osmótico es moderado, hojas y tallos disminuyen su crecimiento con la siguiente acumulación de solutos y la manifestación del ajuste osmótico, mientras que la raíz puede continuar creciendo. La aclimatación al estrés osmótico es un proceso complejo, que involucra numerosos cambios que incluyen disminución del crecimiento, cambios a la expresión de genes, incremento en los niveles de ácido abscísico (ABA), acumulación de solutos compatibles y de proteínas protectoras, ajuste en el transporte iónico e incrementos en los niveles de antioxidantes (Potters, 2007).

## **2.12. Tratamientos pregerminativos**

Los tratamientos pregerminativos son todos aquellos procedimientos necesarios para romper la latencia de las semillas. Esto es el estado en que se encuentran algunas tal que, estando vivas, no son capaces de germinar sino hasta que las condiciones del medio sean adecuadas para ello (Thanos, 1988).

Los tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas se han usado para diferentes fines. Por ejemplo, para revigorizar semillas envejecidas, acelerar y uniformar la germinación e incrementar los rendimientos de los cultivos bajo condiciones ecológicas óptimas y adversas. Efectos que se conocen como revigorización, acondicionamiento y robustecimiento de semillas, respectivamente (Bradford 1986).

Los tratamientos de hidratación parcial de las semillas han demostrado ser eficientes y actualmente se investigan para los siguientes fines agrícolas (Prisco *et al.*, 1992; Orta *et al.*, 1993a y b):

- a) Revigorización de semillas para recuperar vigor e incrementar la longevidad durante el almacenamiento.
- b) Acondicionamiento para incrementar, acelerar y uniformar la germinación y el establecimiento.
- c) Acondicionamiento de semillas para eliminar dormancia orgánica o impuesta.

- d) Robustecimiento de semillas para incrementar la germinación, el establecimiento y los rendimientos de las plantas resultantes de los tratamientos, bajo condiciones ambientales adversas.

En el cultivo del pepino se evaluaron dos variedades con semillas frescas - Hatuey-1 y japonés, con siete tratamientos, todos ellos a una temperatura de 25° C. Los tratamientos consistieron en la inmersión completa de las semillas en las siguientes sustancias: (T<sub>1</sub>) polietilenglicol al -1.21 MPa por medio de un ciclo de hidratación de 72 hrs y desecadas 72 hrs antes de la siembra, (T<sub>2</sub>) semillas acondicionadas con agua por medio de 2 ciclos de hidratación de 27 hrs, alternados con 2 periodos de desecación de 48 hrs, (T<sub>3</sub>) semillas acondicionadas con agua por medio de un ciclo de hidratación de 27 hrs y desecadas durante 48 horas (T<sub>4</sub>). Además, fueron sometidos a la acción de soluciones de sacarosa (T<sub>5</sub>), manitol (T<sub>6</sub>) y NaCl (T<sub>7</sub>), en la concentración (0.7M). A cada variedad y tratamiento se establecieron 5 réplicas de 25 semillas el cual después se determinó la velocidad de germinación y el mejor resultado indicó que el (T<sub>4</sub>) resultó ser el más eficiente para aumentar el porcentaje de germinación final. Con este procedimiento se incrementó hasta el 29 y 12%, el porcentaje final en las variedades -Hatuey-1 y japonés, valores que representan más del 70% de intervalo posible a mejorar (Thanos y Georghiou, 1988).

Se ha trabajado en árboles frutales de *Myrceugenia exsucca* donde se probó la viabilidad de las semillas: Se evaluaron cuatro tratamientos, que consistieron en: (T<sub>0</sub>) remojo con agua destilada, (T<sub>1</sub>) con ácido giberilico 250 mg L<sup>-1</sup> por 24 hrs, (T<sub>2</sub>) con ácido giberilico 250 mg L<sup>-1</sup> por 12 hrs y el (T<sub>4</sub>) refrigerada a 5°C. Se determinó la viabilidad y la germinación de las semillas. El tratamiento con mayor porcentaje de germinación fue el T<sub>1</sub> que resultó ser más eficiente (Steiner et al., 1999).

También se ha trabajado en árboles florales como la *Pterogynenitens Tul* en tipa colorada, se evaluaron 3 tratamientos y se separaron al azar en 4 lotes de 100 semillas, un lote no se trató, otro lote se remojo en agua por una hora y media y los dos últimos lotes fueron remojados en ácido sulfúrico de 95 a 98% (escarificación química) por 5 y 10 minutos, las observaciones fueron

realizadas principalmente por 11 días después de la siembra, el tratamiento con ácido durante 10 minutos proporciono mayor porcentaje de germinación en los tres momentos(Salazar y Sohiet, 2002).

### **2.13. Acondicionamiento osmótico de semillas**

Es el tratamiento de las semillas con una solución de alta presión osmótica, para disminuir su potencial osmótico interno y facilitar la actividad metabólica conducente a la germinación de las mismas. Se denomina así por ser una disolución osmóticamente activa la que controla la hidratación progresiva de la semilla. Una disolución osmóticamente activa es aquella que contiene una determinada concentración de sales, calculada de tal forma que, la velocidad de absorción de agua hacia el interior de la semilla, depende de la cantidad de sales que contiene la disolución. Es conveniente señalar que el potencial osmótico desarrolla una fuerza con la que retiene el agua, siendo mayor (más negativo) a medida que la concentración de sales incrementa (Bradford,1986).

### **2.14. Soluciones empleadas en el acondicionamiento osmótico**

Se han trabajado con diferentes soluciones osmóticas para aplicar el acondicionamiento osmótico en semillas de diferentes especies. Por ejemplo, en cebolla (cv. Early Supreme) se probaron tres reactivos de osmoacondicionamiento: ( $\text{KNO}_3$ , PEG 8000 y  $\text{KCl}$ ), cuatro potenciales osmóticos (-5, -10, -15 y -20 atm), tres períodos de osmoacondicionamiento (48, 72 y 96 h) y cuatro períodos de almacenamiento (0, 7, 90 y 180 días): Los resultados indicaron que el mayor porcentaje de germinación y peso seco se obtuvieron con el polietileno glicol (PEG-8000), superando al nitrato y cloruro de potasio(Martínez, 1994).

En el cultivo de papa se evaluaron dos sales inorgánicas:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , cinco potenciales osmóticos: -5, -10, -15, -20 y -25 atm y cinco periodos de acondicionamiento: 12, 24, 36, 48 y 60 h. Además se contó con un testigo, el cual se trató con agua destilada. Los resultados indicaron que la semilla acondicionada por 60 h que no fue almacenada, tuvo mayor viabilidad (68 %), germinación (61 %) y velocidad de emergencia (6.7). Además mostró menor

ocurrencia de semillas duras (29 %) y plántulas anormales (6.5 %) con respecto al testigo absoluto (Welbaudet al., 1998).

En esta investigación se determinó el periodo de imbibición de 25 semillas de cada cultivar de brócoli, coliflor y col, se trabajó con un factorial completo de acondicionamiento osmótico que generó 15 tratamientos, con 5 niveles de potencial osmótico (0, -5, -10, -15 y -20 atm; a tales tratamientos se les adicionó un testigo absoluto (sin tratar) y a cada tratamiento se les aplicó a los tres cultivares. Se colocaron sobre papel filtro en cajas Petri y se imbibieron con agua bidestilada (500 ml) hasta punto de saturación, por 4, 8, 12, 16, 20, 24 y 28 h, esta prueba se realizó bajo condiciones controladas en una cámara germinadora a 20±2°C y 80% de humedad relativa durante 5 días para brócoli y coliflor y 10 días para la semilla de col, diariamente se registró el número de semillas germinadas para calcular el índice de velocidad de emergencia, el mejor resultado fue en la col, el acondicionamiento durante 24 h con agua bidestilada, aumentó la germinación y el índice de emergencia generó menor número de semillas muertas a 0 atm con respecto al testigo (Wiggans y Gardner, 1959). (Cavallero *et al.*, 1987; Özbigöl, 1998), Globerson y Feder, 1987; Yanmaz, 1994) y *Lactuca sativa* (Tarquis y Bradford, 1992).

### **2.15. El acondicionamiento osmótico y la tolerancia al estrés hídrico en cultivos**

El ajuste osmótico (AO) consiste en la acumulación de solutos en respuesta al déficit hídrico, disminuyendo el potencial hídrico total de hojas, tallos y raíces. Es considerado uno de los principales caracteres fisiológicos asociados al estrés hídrico (Morgan 1995). Como resultado del ajuste osmótico las plantas pueden absorber agua y mantener la actividad fisiológica. La activa acumulación de solutos a nivel celular puede contribuir a la mantención del turgor y éste es un pre-requisito para continuar el crecimiento o sobrevivir durante el estrés hídrico (Hsiao *et al.*, 1976). El grado del déficit hídrico, el efecto del pre-estrés, y la tasa de desarrollo del déficit hídrico son factores que afectan la expresión del ajuste osmótico (Rawson, 1979).

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Localización y clima del sitio experimental**

La presente investigación se llevó a cabo en un invernadero con medidas de 12 x 30 m dentro del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmosfera (CENID RASPA) INIFAP. Se localiza en la Región Lagunera, la cual se ubica entre los paralelos 24° 25' y 26° 55' de latitud Norte y los meridianos 102° 30' y 104° 48' de longitud oeste, con una altura media de 1,123 m sobre nivel del mar. El clima de la región es desértico, árido, con precipitación promedio anual de 250 mm, evaporación media anual de 2600 mm y temperatura media anual de 22°C. La lluvia es en verano, con lluvia invernal que representa de 5 a 10.2% del total anual. El CENID se encuentra en el margen derecho del Canal Principal Sacramento km 6.5 ubicado en Gómez Palacio, Dgo. El invernadero estuvo cubierto en sus lados de policarbonato de doble pared y el techo con plástico y malla sombra 50:50. El control de la temperatura se hizo mediante extractores, pared húmeda y sensores de temperatura.

#### **3.2 Material y equipo utilizado**

El material y equipo utilizado para la realización de esta investigación fue el siguiente:

- ✓ Semillas de algodón transgénica FM11740B2F
- ✓ Frascos de plástico con tapa de 300 mL
- ✓ Charolas de poliestireno de 200 cavidades
- ✓ Turba
- ✓ Perlita
- ✓ Vermiculita
- ✓ Probeta graduada de 500 mL

- ✓ Regadera manual de 2 L
- ✓ Regla graduada de 30 cm
- ✓ Bolsas de papel de 250, 500 y 1000 g
- ✓ Vernier digital
- ✓ Estufa eléctrica de aire forzado

### **3.3. Factores estudiados**

Se evaluaron tres sustancias osmóticas: NaCl (S1), KNO<sub>3</sub> (S2) y Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(S3), tres potenciales osmóticos: 0.3 (O1), 0.5 (O2) y 0.7 (O3) MPa, y tres tiempos de inmersión de la semilla: 24 (T1), 48 (T2) y 72 h (T3). También se contó con un testigo al cuál no se le dio ningún tratamiento (T). En el Cuadro 1 se muestran los tratamientos resultantes.

### **3.4. Diseño experimental**

El diseño experimental fue bloques al azar, con cuatro repeticiones y arreglo de tratamientos factorial 3<sup>3</sup> para un total de 27 tratamientos más el testigo. La unidad experimental fue de 100 plántulas por charola.

Cuadro 1. Tratamientos resultantes de la combinación de los tres factores estudiados.

TRT	Sustancia osmótica	Potencial osmótico (MPa)	Tiempo de inmersión (H)	Nomenclatura
1.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.3	24	S1O1T1
2.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.3	48	S1O1T2
3.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.3	72	S1O1T3
4.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.5	24	S1O2T1
5.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.5	48	S1O2T2
6.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.5	72	S1O2T3
7.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.7	24	S1O3T1
8.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.7	48	S1O3T2
9.	Cloruro de sodio (NaCl)	0.7	72	S1O3T3
10.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.3	24	S2O1T1
11.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.3	48	S2O1T2
12.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.3	72	S2O1T3
13.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.5	24	S2O2T1
14.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.5	48	S2O2T2
15.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.5	72	S2O2T3
16.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.7	24	S2O3T1
17.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.7	48	S2O3T2
18.	Nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> )	0.7	72	S2O3T3
19.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.3	24	S3O1T1
20.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.3	48	S3O1T2
21.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.3	72	S3O1T3
22.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.5	24	S3O2T1
23.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.5	48	S3O2T2
24.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.5	72	S3O2T3
25.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.7	24	S3O3T1
26.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.7	48	S3O3T2
27.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O)	0.7	72	S3O3T3
28.	Testigo (sin tratar)			T

### 3.5. Preacondicionamiento de semillas

La cantidad necesaria de cada sustancia para establecer los potenciales osmóticos evaluados se calcularon de acuerdo a la Ley de Vant'tHoff la cual



establece la relación entre el potencial osmótico y la concentración del soluto y se presenta en la siguiente ecuación.

$$\pi = MRT$$

Donde  $\pi$  es el potencial osmótico en atmósferas,  $M$  la concentración molar en mol L<sup>-1</sup>,  $R$  es la constante universal de los gases y tiene un valor de 0.082 atm.L °K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup> y  $T$  es la temperatura absoluta de la disolución en °K. (1 Atm = 0.1 MPa).

El tratamiento de la semilla se llevó a cabo acorde a las sustancias osmóticas, y tiempos de inmersión establecidos. Se colocaron 400 semillas en frascos de plástico, se les aplicó 250 mL de cada sustancia a evaluar y se dejaron los tiempos correspondientes a cada tratamiento de inmersión (Figura 1). Lo anterior se llevó a cabo bajo condiciones de laboratorio. Después del tratamiento, las semillas se pusieron a secar al aire bajo condiciones de sombra y enseguida se procedió a realizar la siembra en las charolas.



Fig. 1. Tratamiento a la semilla de algodónero

### 3.6 Siembra

Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades llenas con una mezcla de turba con perlita y vermiculita (70, 15 y 15% en base

a volumen) (Figura 2). Se colocó una semilla por cavidad y se utilizó la variedad transgénica FM11740B2F.



Fig. 2. Plantas de algodón sembradas en charola de poliestireno

### 3.7. Riegos y fertilización

Las plántulas se regaron en forma manual diariamente con agua y después de la aparición de las dos hojas verdaderas se regaron con una solución nutrimental. Esta solución se preparó con agua del pozo del CENID RASPA, previamente se tomó una muestra del agua y se hizo el análisis químico correspondiente (Cuadro 2). La solución nutritiva estuvo constituida sólo por 60-60-60 mg L<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente, dado que el período de estudio fue muy corto y el agua aportaba los demás nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. Se usaron los fertilizantes comerciales nitrato de potasio y mono fosfato de potasio como fuentes de los iones aplicados, también se usó ácido fosfórico al 54% de concentración para regular el pH de la solución a 6.5.

Cuadro 2. Análisis químico del agua de riego. CENID-RASPA INIFAP.

Características	Valor
PH	8.20

CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.49
Ca <sup>++</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	1.09
Mg <sup>++</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	0.09
Na <sup>+</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	3.41
K <sup>+</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	0.01
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	0.41
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	2.31
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	1.77
Cl <sup>-</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	0.62
N-Nitratos (meq L <sup>-1</sup> )	0.17
RAS Ajustado	6.39
Clasificación	C2-S1

### 3.8. Variables evaluadas

A los 40 días después de la siembra se seleccionaron al azar cuatro plantas por tratamiento en cada una de las repeticiones. A ellas se les midió la altura de planta, el diámetro del tallo, el área foliar, peso seco de la raíz y peso seco del vástago. La altura de planta se cuantificó desde la base del tallo hasta el punto de crecimiento de la planta, el diámetro del tallo se registró en la base del tallo y se utilizó un vernier digital. El área foliar se determinó mediante un integrador de área foliar LI-3100C LI-COR Inc. (Fig. 3) Las plantas seleccionadas se separaron en los componentes de raíz y parte aérea y se secaron en estufa de aire forzado a 76°C por 24 horas para la determinación de los pesos secos correspondientes.



Fig. 3. Integrador de área foliar usado en el estudio

### 3.9. Análisis de información

Los datos se analizaron mediante el análisis de varianza usando el programa SAS (2002) versión 8.0 según el modelo lineal general. La separación de medias se hizo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los datos de la variable de porcentaje de emergencia se transformaron a  $\text{Arcsen}\sqrt{X}$ .

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Emergencia de plantas

Los efectos principales de los tres factores estudiados y las interacciones entre ellos, excepto la triple interacción, afectaron de manera significativa ( $p \leq 0.01$ ) a la emergencia de las plantas. El incremento del potencial osmótico disminuyó la emergencia de plantas con el  $\text{KNO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  pero no con el  $\text{NaCl}$ . En esta última sustancia los tres potenciales osmóticos promovieron

similar emergencia de plantas entre ellos con un 65% en promedio, el cual representó un 76% de la emergencia del testigo (Figura 4).

En la interacción sustancia osmótica horas de inmersión de la semilla (Figura 5), a mayor horas de inmersión de la semilla menor emergencia de plantas en las tres sustancias evaluadas. Con el menor tiempo de inmersión no se observó diferencia estadística entre las tres sustancias osmóticas, las cuales mostraron un 85% de emergencia en promedio y este valor fue similar al del testigo (86%). Con respecto a la interacción potencial osmótico horas de inmersión de la semilla (Figura 6), el incremento de las horas de inmersión de la semilla también redujo la emergencia de plantas en los tres potenciales osmóticos. Con 24 horas los tres potenciales produjeron una emergencia de plantas estadísticamente similar (Tukey,  $p = 0.05$ ), con un promedio entre ellos de 85%, parecido al observado con el testigo. Los resultados anteriores concuerdan con los encontrados por Villa *et al.*, (2012) en el cultivo de frijol.

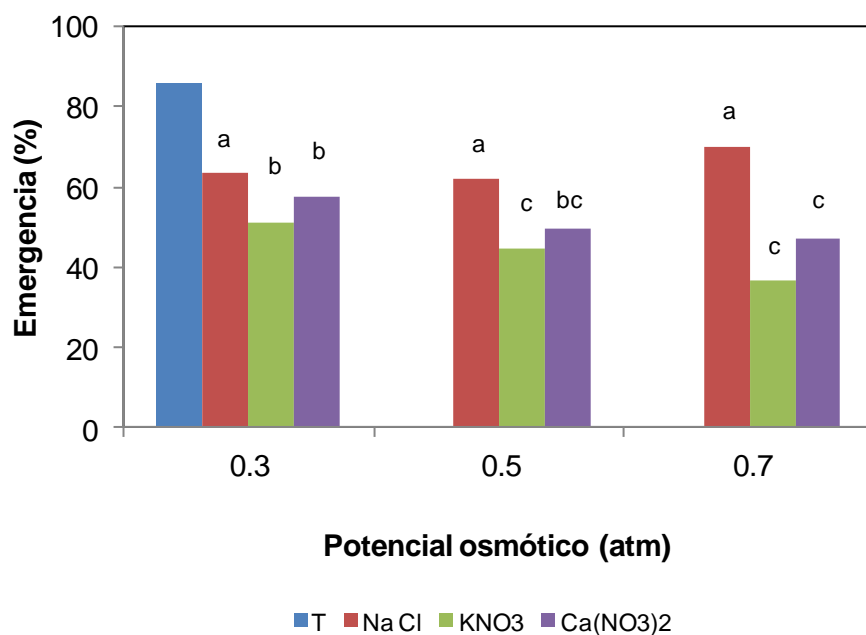


Figura 4. Interacción entre sustancia osmótica y potencial osmótico en la emergencia de plantas. Las barras con la misma letra indican no significancia estadística entre combinaciones (Tukey,  $p = 0.05$ ).

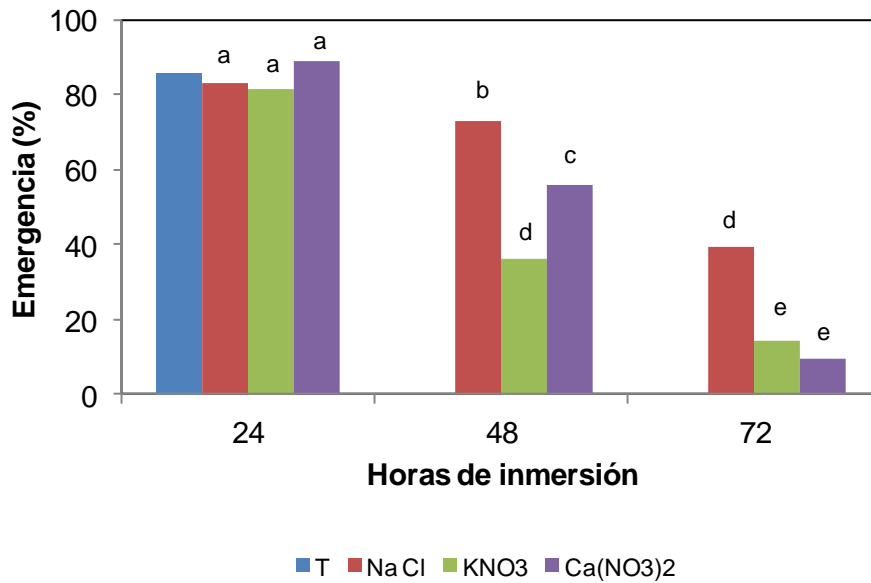


Figura 5. Interacción entre sustancia osmótica y tiempo de inmersión de la semilla en la emergencia de plantas. Las barras con la misma letra indican no significancia estadística entre combinaciones (Tukey,  $p = 0.05$ ).

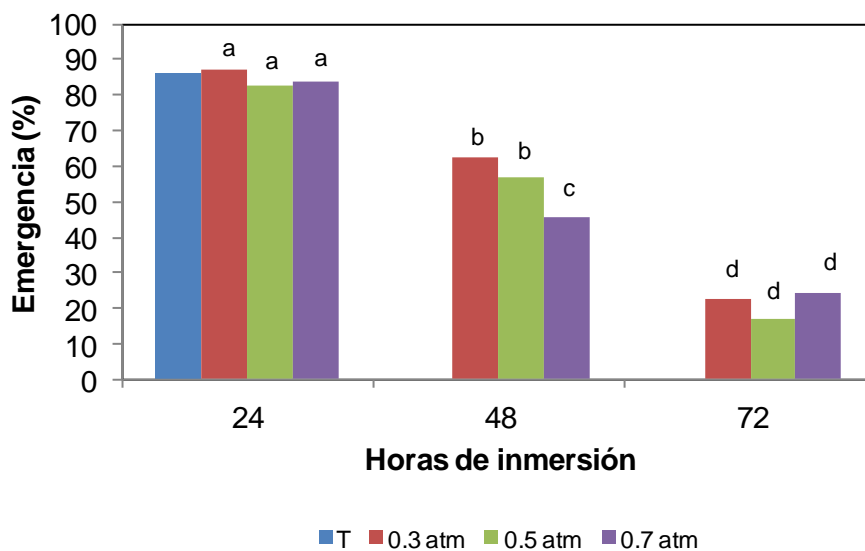


Figura 6. Interacción entre potencial osmótico y tiempo de inmersión de la semilla en la emergencia de plantas. Las barras con la misma letra indican no significancia estadística entre combinaciones (Tukey,  $p = 0.05$ ).

## 4.2 Altura de planta

El análisis estadístico de la altura de la planta mostró que sólo el factor tiempo de inmersión de la semilla la afectó significativamente ( $p < 0.05$ ). La altura de planta disminuyó con el incremento del tiempo (Cuadro 3); aunque no se detectaron diferencias significativas entre el tiempo de 24 y 48 h. La altura de planta promedio de esos dos tiempos de inmersión superó en un 31% a la altura registrada en el tiempo de inmersión de 72 horas. El testigo mostró la mayor altura de planta con un 10% más que la obtenida con los mejores tratamientos. Estos resultados están de acuerdo con los reportados por Flores *et al.* (2005) en *Vigna unguiculata* quienes encontraron que la altura de planta disminuye con el tiempo de inmersión de la semilla y señala que esto se debe a que el crecimiento se detiene debido a las condiciones de humedad en el suelo.

Cuadro 3. Medias de altura de planta en cada tiempo de inmersión estudiado.

Tiempo de inmersión (h)	Altura de planta (cm) †
24	9.2 a
48	9.1 a
72	7.0 b
Testigo (sin tratar)	9.6

†Medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p = 0.05$ ).

## 4.3. Área foliar

El análisis de los datos del área foliar indicó efectos significativos ( $p < 0.05$ ) de los tres factores estudiados, pero no de las interacciones entre ellos. El tratamiento de la semilla con  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  y  $\text{NaCl}$  promovió una producción de área foliar estadísticamente similar entre ellos (Tukey,  $p = 0.05$ ), pero superior que la producida con  $\text{KNO}_3$ , y testigo (Cuadro 4). El incremento del potencial

osmótico redujo el área foliar, pero en ninguno de los casos ésta fue inferior que la del testigo, el cual mostró un 20% menos de área foliar que el tratamiento con 0.3 MPa (Cuadro 4). El tiempo de inmersión de las semillas de 72 horas disminuyó en un 16% el área foliar, con respecto al tiempo de 24 y 48 horas, los cuales fueron estadísticamente similares entre ellos, el testigo también produjo un 16% menos de área foliar (Cuadro 4). Los resultados anteriores nuevamente muestran que el tratamiento de la semilla con sustancias osmóticas originan un mayor crecimiento en el área foliar. Calderón (2011) reportó resultados similares en el cultivo de Mamey ya que también obtuvo una mayor producción de área foliar.

Cuadro 4. Medias del área foliar por planta en cada factor estudiado.

Sustancia Osmótica	Media (cm <sup>2</sup> ) <sup>†</sup>	Potencial Osmótico (MPa)	Media (cm <sup>2</sup> ) <sup>†</sup>	Tiempo (h)	Media (cm <sup>2</sup> ) <sup>†</sup>
NaCl	23.8 ab	0.3 MPa	26.1 a	24	25.0 a
KNO <sub>3</sub>	21.7 b	0.5 MPa	23.7 ab	48	24.9 a
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	26.0 a	0.7 MPa	21.8 b	72	21.6 b
Testigo	21.0		21.0		21.0

<sup>†</sup>Medias seguidas por la misma letra dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p = 0.05$ ).

#### 4.4 Peso seco de la raíz

El análisis de los datos del peso seco de la raíz indicó que solo el tiempo inmersión de la semilla tubo efectos significativos ( $p < 0.05$ ). El peso seco de la raíz disminuyo con el incremento del tiempo (Cuadro 5). Con 24 horas se produjo un 12 y 31% más de peso seco de la raíz que con 48 y 72 horas de inmersión de la semilla, respectivamente. El peso seco de la raíz del testigo representó el 97% del registrado con 24 horas. En maíz, Casierra (2009) no encontró diferencias significativas en el peso seco de la raíz debido a la concentración de NaCl en el sustrato.



Cuadro 5. Medias del peso seco de la raíz en cada tiempo de inmersión estudiado.

Tiempo de inmersión (h)	Peso seco de raíz (g) †
24	0.0198 a
48	0.0176 ab
72	0.0151 b
Testigo (sin tratar)	0.0192

†Medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente Diferentes (Tukey,  $p = 0.05$ ).

#### 4.5. Peso seco del vástago

Al igual que en el peso seco de la raíz, sólo el tiempo de inmersión de la semilla afectó de manera significativa ( $p < 0.05$ ) al peso seco del vástago. Con un tiempo de 24 y 48 h, el peso seco del vástago fue superior en un 6% que el registrado en el testigo (Cuadro 6) indicando un efecto positivo del tratamiento de semillas en el crecimiento aéreo de la planta. Los resultados encontrados en este trabajo no concuerdan con los obtenidos por Casierra (2006) en el cultivo de guayabo ya que el análisis de varianza mostro diferencias significativas de acuerdo con los factores concentración de NaCl en el sustrato.

Cuadro 6. Medias del peso seco del vástago en cada tiempo de inmersión estudiado.

Tiempo de inmersión (h)	Peso seco del vástago (g) †
24	0.1425 a
48	0.1232 ab
72	0.1093 b
Testigo (sin tratar)	0.1253

†Medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente Diferentes (Tukey,  $p = 0.05$ ).

#### 4.6. Diámetro del tallo

El diámetro del tallo no se vio afectado por ninguno de los factores estudiados ni la interacción de ellos. El valor fluctuó entre 1.60 y 2.25 mm, con un valor promedio de 1.9 mm (Cuadro 7).

Cuadro 7. Diámetro del tallo en cada tratamiento estudiado

TRT	Sustancia osmótica	Potencial osmótico (MPa)	Tiempo de inmersión (H)	Diám. (mm)
1.	NaCl	0.3	24	1.93
2.	NaCl	0.3	48	2.00
3.	NaCl	0.3	72	1.88
4.	NaCl	0.5	24	1.68
5.	NaCl	0.5	48	1.88
6.	NaCl	0.5	72	1.90
7.	NaCl	0.7	24	1.80
8.	NaCl	0.7	48	1.98
9.	NaCl	0.7	72	1.88
10.	KNO <sub>3</sub>	0.3	24	1.90
11.	KNO <sub>3</sub>	0.3	48	2.25
12.	KNO <sub>3</sub>	0.3	72	1.75
13.	KNO <sub>3</sub>	0.5	24	1.60
14.	KNO <sub>3</sub>	0.5	48	1.75
15.	KNO <sub>3</sub>	0.5	72	1.88
16.	KNO <sub>3</sub>	0.7	24	1.78
17.	KNO <sub>3</sub>	0.7	48	1.75
18.	KNO <sub>3</sub>	0.7	72	1.80
19.	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.3	24	2.03
20.	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.3	48	1.75
21.	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.3	72	1.75
22.	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.5	24	2.00
23.	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.5	48	2.03
24.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.5	72	1.80
25.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.7	24	1.85
26.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.7	48	1.93
27.	Nitrato de calcio (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	0.7	72	2.13
28.	Testigo (sin tratar)			1.65

#### 4.7. Sobrevivencia

Las plantas fueron sometidas a estrés hídrico mediante la suspensión del riego por dos días durante tres períodos. El primero comprendió de los 40-41 días

después de la siembra (DDS), el segundo de los 45- 46 y el último de los 50-51 DDS. En el día 52 se registró el dato de las plantas vivas en cada tratamiento y repetición.

El análisis estadístico del porcentaje de sobrevivencia de plantas indicó que sólo el factor tiempo afectó significativamente a esta variable ( $p < 0.05$ ). El tiempo de 48 horas produjo la mayor sobrevivencia con un 22.86%, seguida del tiempo de 24 h con 6.2% y finalmente el tiempo de 72 h con un 2.63%. Las plantas del testigo sobrevivieron al estrés hídrico en un 12.2%. Resultados similares fueron reportados por Villa *et al.* (2012) quienes trabajaron con sustancias osmóticas, potenciales osmóticos y tiempos de inmersión de la semilla de frijol.

## V. CONCLUSIONES

- a) La sustancia, el potencial osmótico y el tiempo de inmersión de la semilla afectaron la emergencia de plantas así como la interacción entre ellos.
- b) El incremento del potencial osmótico disminuyó la emergencia de plantas con el  $\text{KNO}_3$  y  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  pero no con el  $\text{NaCl}$ .
- c) El incremento de las horas de inmersión de la semilla redujo la emergencia de plantas en las tres sustancias y tres potenciales osmóticos evaluados.
- d) Con 24 horas de inmersión de la semilla, no se observó diferencia entre las sustancias y potenciales osmóticos.
- e) No se detectaron efectos de la sustancia osmótica y el potencial osmótico en la altura de planta, peso seco de la raíz y del vástago, sólo el tiempo de inmersión de la semilla lo hizo. Los valores más altos se obtuvieron con 24 horas
- f) Los tres factores evaluados afectaron al área foliar, resultando los tratamientos de  $\text{NaCl}$  y  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0.3 MPa y 24 horas con los mayores valores de esa variable. Las plantas tratadas mostraron mayor crecimiento aéreo que las que no recibieron tratamiento a la semilla, ellas también mostraron mayor sobrevivencia al estrés.

## IX. BIBLIOGRAFIA

- Amooghaie, R. 2011. The effect of hydro and osmopriming on alfalfa seed germination and antioxidant defenses under salt stress. *African Journal of Biotechnology*. 10(33): 6269-6275.
- Barcelo C. 1992. *Introduction to Plant Physiology*. 6ª ed. Pearson. 24-27
- Besnier, R. 1990. *Semillas, biología y tecnología*, Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Bewley J. D. 2001. *Seed Germination and Reserve Mobilization*. En: *Encyclopedia of life Sciences* Nature publishing group.
- BIBLIOTECA DE LA AGRICULTURA. 1997. Impresión: Emege, Industrias Gráfica, Impreso en España.
- Bidwell, G.S. (1993). *Fisiología Vegetal*. Primera Edición en Español, AGT Editor S.A.
- Bieto, J. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw Hill.
- Black, C.C. y B.Osmond. 2003. Crassulacean acid metabolism photosynthesis: "working the night". *Photosynth. Res.* 76, 329-341.
- Bradford K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience* 21:1105-1112.
- Bradford, K. J., J. J. Steiner y S. E. Trawatha. 1990. Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots. *Crop Sci.* 30: 718-721.
- Bray, E.A. 1993. Molecular responses to water deficit. *Plantphysiol.* 103, 1035-1040.
- Buchanan, B.B., W. Greuisssem y R.L. Jones. 2000. *Biochemistry and molecular biology of plants*. American society of plant physiologists, Rockville, MD.

- Burgas R.W., Powell A.A. 1984 Evidence for repair Processes in the invigoration of seeds by hydration. *Ann. Bot.* 53:753-757.
- Carrillo Medina F. Certificación de Semillas (Revista).1987. Programa de Pasto y Ganadería. U.N.S.C.H.-Ayacucho.
- Caseiro R., M. Bennet and J. Marcos-Filho. 2004. Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial quality. *SeedSci.andTech.* 32:365-375.
- Casierra F-Posada. 2006. Distribución y producción total de materia seca en guayabo (*Psidiumguajava* L. cv. Palmira ICA-1) bajo estrés salino. Universidad de Los Llanos Colombia. Orinoquia, vol. 10, núm. 2, pp. 59-66.
- Casierra, F.-Posada, J. H. Cárdenas. 2009.Crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L. var. Porva) en solución nutritiva con baja relación (Ca+Mg+K)/Al.Grupo de Investigación Ecofisiología Vegetal.Rev. U.D.C.A Act. &Div. Cient. 12 (2): 91-100.
- Calderón y A. Alfredo. 2011. ESTIMACION DE AREA FOLIAR EN POSTURAS DE MAMEY (Pouteriasapota (Jaccq) EN FASE DE VIVERO, A PARTIR DE LAS MEDIDAS LINEALES DE LAS HOJAS. vol.32, no.2, p.91-99. ISSN 0258-5936
- Cushman, J.C. 2001. Osmoregulation in plants: implications for agriculture. *Amer. Zool.* 41, 758-769.
- Chachar qi, Solangi Ag, Verhoef A. 2008.Influence of sodium chloride on seed germination and seedling root growth of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)Pakistan J Bot. 40(1):183-197.

- Fernández, Aguirre, H. (2001) Panorama económico del algodón en México. Evolución de la siembra y la problemática del TLC en la comercialización y Revista Mexicana de Agronegocios. Pp. 190.
- FUNDEAGRO, 1990. Control de calidad y certificación de semilla. Fundación para el desarrollo del agro. Proyecto de transferencia de tecnología agropecuaria. Lima-Perú.
- Flores, C.M, Madriz I.P.M, Warnock de Parra, R. y Trujillo de Leal,A. 2005. Evaluación de altura de plantas y componentes del rendimiento de seis genotipos del género *Vigna* en dos localidades de Venezuela. Revista de la facultad de agronomía. Vol. 22. Nº 4, Pp. 354-368.
- García E. 1970. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de geografía de la UNAM, para la comisión de estudios del territorio Nacional. 235 pp.
- Halmer, P. 2008. Seed technology and seed enhancement .Acta Hort. (ISHS) 771:17-26.  
[http://www.actahort.org/books/771/771\\_1.htm](http://www.actahort.org/books/771/771_1.htm)
- Henckel P.A. 1964. Physiology of plants under drought. Annu. Rev. Plant Physiol. 15: 363-386.
- Hepher, A. and J. Roberts. 2002. The control of seed germination in *Trollius ledebouri*: the breaking of dormancy. Planta 166, 314-320.
- Henckel P.A. Fisiología de la Resistencia de las plantas y a la sequía. Nauka, Moscú. 280 p.
- Heydecker W., Higgins J., Gulliver R.L. 1984. Accelerated germination by osmotic seed treatment. Nature 246:42-44.

- Heydecker W., Higgins J., Tunner T.J., 1975. Invigoration of seeds?. *Seed Sci. Technol.* 29:881-888.
- Hsiao T, Acevedo E, Fereres E y D Henderson.(1976).Water stress, growth, and osmotic adjustment. *Phil. Trans. Royal Society London B.* 479-500. Interamericana, Madrid.270 p.
- International Seed Testing Asociation (ISTA). 2004. International rules for seed testing. The International Seed Testing Association.Bassersdorf, CHSwitzerland.p. 700.
- Jones M y H Rawson.(1979).Influence of rate of development of leaf water eficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum. *Physiology Plantarum* 45:103-111.
- Khan, A. A., K. L. Tao, S. Kngpl, B. Borkowska y L. E. Powell. 1978. Osmotic conditioning of seeds: physiological and biochemical changes. *ActaHortc.*83: 267-278.
- Khan, A. A., K. L. Tao, S. Kngpl, B. Borkowska y L. E. Powell. 1978. Osmotic conditioning of seeds: physiological and biochemical changes. *ActaHortc.*83: 267-278.
- Killian, S. and A.M. Tapia.2002.Efecto de tratamientos de pregerminación sobre la germinación y el crecimiento de *Prosopischilensis* (Moll.) Stuntz. *Primeras Jornadas Universitarias de Ingeniería:* 55-56.
- Killian, S. and A.M. Tapia.2001.Pretratamiento de semillas de *Prosopischilensis* en soluciones de sales de Na y K. *Revista de CIZAS. UNCa.* 2: 99-108.
- Lee, S.Y., J.H. Lee and T.O. Kwon. 2002. Varietal differences in seed germination and seedling vigor of Korean rice varieties following dry heat treatments. *Seed Sci. Technol.*, 30: 311-321.

- Leung, J. y J. Giraudat.1998.Absciscic acid signal transduction. *Ann. Rev. plant Physiol. Plant Mol. Biol.*49, 199-222.
- Leubner-Metzger, G. 2003. Functions and regulation of  $\beta$ -1,3- glucanase during seed germination, dormancy release and after-ripening. *Seed Sci. Res.* 13, 17-34.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Pres, New York, NY.
- Luttge, U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism. *Ann. Bot.* 93, 629-652.
- Martínez G., A. 1994. Experimentación agrícola. Métodos estadísticos. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México. 357 p.
- Mauromicale, G. and V. Cavallaro.1995.Effects of seed osmopriming on germination of tomato at different water potential. *Seed Sci. Technol.* 23: 393-403.
- Mc Donald, M.B. 1999. Seed deterioration, physiology repair, and assessment. *Seed Sci. Tecnolo.* 27:177-237.
- Montaldi, E.R. (2005). The Physiology of Flowering Plants. *Advances in Research and Technology of Seeds*, Wageningen 11(1):29-61
- Morgan JM. (1995). Growth and yield of wheat lines with different osmoregulative capacity at high soil water deficit in seasons of varying evaporative demand. *Field Crop Research* 40:145-152.
- Nilsen, E.T. y D.M. Orcutt.1996. *Physiology of plants under stress Abiotic factors*. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Orta, R., J. A. Sánchez, B. Muñoz y E. Calvo. 1993b. Tratamientos acondicionadores y robustecedores de semillas y su efecto sobre el



comportamiento reproductivo de las plantas. I. Siembra temprana del tomate. In: Resúmenes del IV Simposio de Botánica. Editora Palacio de las Convenciones. La Habana, Cuba. p. 319.

Pinedo Panduro, M.H.1990. Evaluación preliminar de la germinación. Tesis.

Potters, G. T. p. Pasternak, Y. Guisez, K.J. Palme y M.A.K. Jansen. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? Trends plant Sci. 12(3), 99-105.

Prisco, J. J., C. R. Haddad y J. L. Bastos. 1992. Hydratation - dehydration seed pre-treatment and its effects on seed germination under water stress conditions. Rev. Brasil. Bot. 15: 31-35.

Salazar, R. y Sohiet, C. 2002. Manejo de semillas de 75 especies forestales de América latina. Nota técnica 58. P. 116.

Salinas, A. R. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas. Pesq. Agropec. bras., Brasilia, 36(2): 371-379

Shao, H. B., L.Y. Chuy, C.A. Jaleel y C.X. Zhao.2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants.C. R. Biol. 331, 215-225.

Statistical Analysis Systems Institute (SAS Institute). 2002. The SAS System for windows version eight. Carry, N.C. U.S.A.

Steiner A,M Kruse, H Fuchs.1999. A re-assessment of the comparison of tetrazolium viability testing and germination testing.SeeScience and technology 27:59-65.

Taiz, L. y E. Zeiger.2006. Plant Physiology.4<sup>th</sup> ed. Sinauer associates, Sunderland, MA.

- Tarquis, A. M.; Bradford, K. J. 1992. Prehydration and priming treatments that advance germination also increase the rate of deterioration of lettuce seeds. *Journal of Experimental Botany* 43(248): 307-317.
- Thanos, C. A. y K. Georghiou. 1988. Osmoconditioning enhances cucumber and tomato seed germinability under adverse light conditions. *Isr. J. Bot.* 37: 1-10.
- Villa, C. M, E. A. Catalán V. y M. A. Inzunza I. 2005. Análisis de la información climática para usos agrícolas. *Revista AGROFAZ.* 5:717-724.pp.
- Villa, C. M, E. A. Catalán V, M. A. Inzunza I, Román L.A. y Macías R.H. 2002. Respuesta de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) al acondicionamiento osmótico. *Revista AGROFAZ.* 3: 25-27. Pp.
- Welbaum, G. E., Z. Shen, M. O. Oluoch, L. W. Jett. 1998. The evolution and effects of priming vegetable seed. *Seed Technology* 20:209-235.
- Welbaum, G. E.; Shen, Z.; Oluoch, M. O.; Jett, L. W. 1998. The evolution and effects of priming vegetable seeds. *Seed Science and Technology* 20: 209-235.
- Wiggans, S. C.; Gardner, F. P. 1959. Effectiveness of various solutions for simulating drought conditions as measured by germination and seedling growth. *Agronomy Journal* 51: 315-318.
- Zhang S.Q. y W.H. Outlaw. 2001. Abscisic acid introduced into the transpiration stream accumulates in the guard cell apoplast and causes stomatal closure. *Plant Cell Environ.* 24, 1045-1054.

Páginas de internet:

[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20829\\_sg7.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/20829_sg7.pdf)

<http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Publication/Espanol/algodon.pdf>

*<http://www.monografias.com/trabajos14/algodon/algodon.shtml>*

*[http://rodas.us.es/file/4949d71b-4d3d-9e69-000a-1b76edf86560/1/texto\\_estres\\_hidrico\\_SCORM.zip/pagina\\_04.htm](http://rodas.us.es/file/4949d71b-4d3d-9e69-000a-1b76edf86560/1/texto_estres_hidrico_SCORM.zip/pagina_04.htm)*

<http://www.icb.uncu.edu.ar/upload/ajusteosmoticochimenti.pdf>