

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

Proyecto Trabajo Final para optar al Grado de Ingeniero  
Agrónomo

Modalidad: Proyecto

Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a salinidad mediada por la  
aplicación exógena de ácido abscísico (ABA)

David Germán Molina

DNI: 30.029.618

Directora: Dra. Virginia Luna

Co-Director: Dr. Fabricio Cassán

Río Cuarto-Córdoba

Abril de 2010

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

**Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a salinidad mediada  
por la aplicación exógena de ácido abscísico (ABA)**

**Autor:** David Germán Molina

**DNI:** 30.029.618

**Director:** Dra. Virginia Luna

**Co-Director:** Dr. Fabricio Cassán

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias  
de la comisión evaluadora:**

Ing. Agr. Gabriel Espósito

Ing. Agr. José Omar Plevich

Ing. Agr. Alcides Ricotto

**Fecha de presentación:** Abril de 2010

**Secretario Académico**

## AGRADECIMIENTOS

- ❖ En primer lugar, le doy gracias a Dios por darme la posibilidad de cumplir mi sueño, quien me guió, y ayudó en los momentos más difíciles de la carrera.
- ❖ A mis padres, Mirta y Miguel, quienes me dieron la vida, y el apoyo incondicional para seguir siempre adelante. Por su presencia y confianza constante que me permitió estudiar y ser lo que soy. Por darme la fuerza y el empuje para seguir luchando para cumplir mi objetivo de ser Ingeniero Agrónomo.
- ❖ A mis hermanas, Natalia, Romina y María Luz, quienes me apoyaron en todo momento, tanto en la carrera como en todos los aspectos de mi vida.
- ❖ A mi novia Melisa, por haber estado cuando la necesité, aconsejarme y compartir lindos momentos en esta etapa tan importante de mi vida.
- ❖ A mis compañeros de Investigación y amigos, Matías, Mariano y Lucas, que me permitieron formar parte de un hermoso grupo de trabajo, lleno de alegría, lo que hizo más ameno el tiempo compartido.
- ❖ A la Dra. Virginia Luna por el apoyo profesional que me brindó, así como la comprensión en todo momento.
- ❖ Al Dr. Fabricio Cassán, por ser quien estuvo siempre que lo necesité para darme su apoyo académico y profesional, además de su apoyo humano.
- ❖ Al Microbiólogo Oscar Masciarelli, por su desinteresada ayuda en la investigación y por haberse brindado siempre para colaborar.
- ❖ Al resto de investigadores de la cátedra de Fisiología vegetal, Diego, Mariana, Analía y Verónica, quienes tuvieron siempre predisposición para ayudarnos y buena onda.
- ❖ Y finalmente, a tanta gente que contribuyó a para ser lo que hoy en día soy, a mis amigos y demás familiares.

## INDICE

<b>Resumen</b>	<b>V</b>
<b>Summary</b>	<b>VI</b>
<b>Fundamentación</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes Generales</b>	<b>2</b>
Origen e historia del cultivo	2
El cultivo de maíz en nuestro país	2
Características morfofisiológicas	3
Salinidad de los suelos y el rol del ácido abscísico (ABA) en respuesta vegetal al estrés.	3
Hipótesis	6
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
<b>Materiales, Técnicas y Métodos</b>	<b>8</b>
Material Vegetal	8
Condiciones generales del ensayo de germinación en cámara	8
Condiciones generales del ensayo de crecimiento temprano en cámara	9
Condiciones generales del ensayo de crecimiento en invernáculo	10
<b>Resultados y Discusión</b>	<b>12</b>
Ensayo de germinación en cámara de cultivo	12
Ensayo de crecimiento temprano en cámara de cultivo	17
Parámetros de crecimiento y estado hídrico	17
Ensayo de crecimiento en invernáculo hasta V6-V7	21
Parámetros de crecimiento y estado hídrico	21
<b>Tablas</b>	
Materiales, Técnicas y Métodos	
Tabla I: Preparación de soluciones entre 0,05 y 0,15 M de NaCl	8
Tabla II: Preparación de soluciones entre 0,05 y 0,15 M de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8
Resultados y Discusión	
Tabla I: Resultados comparativos del comportamiento germinativo ajustado a un crecimiento sigmoideal	14
Tabla II: Resultados del Test de Tuckey <i>a posteriori</i> ( $p < 0.05$ ) para la combinatoria de 20 bloques de datos, del comportamiento germinativo	15
Tabla III: Resultados comparativos del análisis estadístico (peso fresco, figura 2)	19
Tabla IV: Porcentaje de disminución del PF con respecto al control no salinizado en plántulas de maíz (figura 2)	19

Tabla V: Resultados comparativos del análisis estadístico (peso seco, figura 3)	21
Tabla VI: Porcentaje de disminución del PS con respecto al control no salinizado en plántulas de maíz (figura 3).	21
Tabla VII: Resultados comparativos del análisis estadístico (peso fresco, figura 4)	22
Tabla VIII: Porcentaje de disminución del PF con respecto al control no salinizado en plántulas de maíz (figura4).	23
Tabla IX: Resultados comparativos del análisis estadístico (peso seco, figura 5).	24
Tabla X: Porcentaje de disminución del PS con respecto al control no salinizado en plántulas de maíz (figura 5).	24
Tabla XI: Velocidad de crecimiento expresada como cm/d de plántulas de maíz sin ABA y tratadas exógenamente con ABA y salinización.	25
<b>Fotos</b>	
Materiales, Técnicas y Métodos	
Foto 1: Modelo del experimento en cámara (condiciones controladas).	10
Foto 2: Modelo del experimento en invernáculo (condiciones semi-controladas).	11
Resultados y Discusión	
Foto 3: Plántulas de maíz de 12 días de crecimiento	17
Foto 4: Plántulas de maíz en estado fenológico V6-V7	21
<b>Cuadros</b>	
Resultados y Discusión	
Cuadro 1: Porcentaje (%) de semillas germinadas	12
<b>Figuras</b>	
Resultados y Discusión	
Figura 1: Germinación de semillas de maíz	13
Figura 2: Peso fresco aéreo y radical en cámara de cultivo	18
Figura 3: Peso seco aéreo y radical en cámara de cultivo	20
Figura 4: Peso fresco aéreo y radical en invernáculo	22
Figura 5: Peso seco aéreo y radical en invernáculo	23
Figura 6: Velocidad de crecimiento relativa	25
<b>Conclusiones</b>	27
<b>Bibliografía</b>	28

## RESUMEN

La salinización de los suelos disminuye la frontera agrícola generando suelos de baja productividad. Esta situación justifica la búsqueda de nuevas alternativas destinadas a ampliar la superficie de siembra en condiciones edáficas limitantes y/o incrementar la productividad de las mismas. Una posible alternativa para mejorar la respuesta vegetal en condiciones de salinidad, se basa en la aplicación exógena de concentraciones activas de ácido abscísico (ABA), a fin de mejorar la implantación y productividad de los cultivos. En tal sentido, la utilización de ésta hormona capaz de regular el crecimiento vegetal, destinada a mejorar el balance hídrico de la planta en suelos con alto contenido de NaCl o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se propone como un método apto para este propósito. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta del crecimiento y el estado hídrico de plántulas de maíz tratadas exógenamente con ABA sometidas a estrés salino en condiciones controladas (cámara de crecimiento) y semi-controladas (invernáculo) de cultivo hidropónico en medio sólido. Se utilizaron semillas de maíz (*Zea mays* L) MASS 484 MG (híbrido simple transgénico, MORGAN), de ciclo de crecimiento intermedio/precoz. Los tratamientos salinos fueron NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y su mezcla isosmótica, el medio nutritivo fue Hoagland 25%, y la aplicación de ABA se llevó a cabo con micropipeta desde V1 cada 72 horas en un experimento y con un pulverizador manual desde V3 cada 72 horas en el otro. Los resultados obtenidos nos permiten corroborar que la aplicación exógena de ácido abscísico en condiciones controladas, permitió revertir en parte el estrés salino incrementando el peso fresco, peso seco, aéreo y radical, y podría ser considerada como una alternativa tecnológica viable para aliviar al menos en parte, el efecto tóxico de la salinidad de los suelos.

**Palabras Clave:** Cultivos; salinidad; Hormona vegetal; Crecimiento vegetal.

## SUMMARY

Soil salinization diminishes the agricultural frontier generating low productive areas. This situation justifies the search for new alternatives to enlarge the cultivated surface under restrictive conditions and to increase their productivity. A possible alternative to improve plant responses under salinity conditions is based on the exogenous application of active concentrations of acid abscísico (ABA), in order to improve implantation and productivity of farmings. In this sense, the use of this capable hormone to regulate the vegetal growth, destined to improve the hydric balance of the plant at grounds with tall contents of NaCl or Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sets for himself as an apt method for the purpose. The objective of this work was to evaluate the growth response and the hydric state of corn seedlings processed exogenously with ABA submitted to saline stress in conditions controlled (camera of growth) and semi-controlled conditions (greenhouse) of farming hidropónico in half a solid. Themselves used corn seeds (*Zea mays* L) MASS 484 MG (simple hybrid, MORGAN), of cycle of intermediate growth/early. The saline treatments were NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and their isoosmótic mixture, the nutritive medium was Hoagland 25 %, and the application of ABA was carried out with a micropipette from V1 every 72 hours in an experiment and from V3 every 72 hours with a manual spray on the foliage in the other. The obtained results allow us to corroborate that the exogenous application of acid abscísico under controlled conditions, permitted in part revert the saline stress increasing the fresh weight, dry weight, aerial and radical, and it can be considered as a viable technological alternative to alleviate at least partly, the toxic effect of soil salinity.

**Key words:** Crops; Salinity; Vegetal hormone; Growth vegetal.

## FUNDAMENTACIÓN

A medida que la población mundial se incrementa, se torna necesario encontrar nuevos modos de mejorar la productividad agrícola y el aprovechamiento de los recursos disponibles. Una manera de lograrlo se basa en desarrollo de cultivos tolerantes a diferentes tipos de estrés abiótico como sequía, inundación, altas y bajas temperaturas, radiación excesiva, congelamiento y salinidad, etc. con el fin de que las tierras desaprovechadas por tales condiciones puedan ser convertidas en cultivables (Sosa *et al.*, 2005). Con los métodos tradicionales de mejoramiento vegetal, lograr esta meta se torna laborioso, extenso y dependiente de la variabilidad genética existente para la especie. Actualmente, la ingeniería genética puede ser utilizada como un medio relativamente rápido y preciso para conseguir esta meta pero esta metodología es de alto costo y requiere una alta tecnificación. La generación de nuevas estrategias destinadas a mejorar la implantación de cultivos de gran interés económico como el maíz (*Zea mays* L.) y otras especies de alta producción nacional, así como la obtención de alternativas destinadas a incrementar su productividad y rendimiento, aún en condiciones edáficas limitantes (salinidad y déficit hídrico), representa una importante área de investigación y una variante tecnológica para el sector agrícola de la región centro del país, fundamentalmente de las provincias de Córdoba o Santa Fe, en las que la salinización de los suelos disminuye de manera progresiva la frontera agrícola y ganadera generando sólo suelos de baja productividad. El condicionamiento que impone la salinización en esta región geográfica (Cantero *et al.*, 1996), justifica la búsqueda de nuevas alternativas de bajo costo destinadas a ampliar la superficie de siembra, aún en condiciones edafológicas subóptimas y/o a incrementar la productividad de las mismas. En tal sentido, una alternativa de bajo costo podría considerar la adición de reguladores de crecimiento vegetal destinados a mejorar el balance hídrico de la planta, así como su crecimiento y productividad en suelos con alto contenido de NaCl o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. En el caso de ciertas gramíneas y particularmente trigo (*Triticum aestivum* L.), el estrés hídrico en post-antésis afecta el número de granos por espiga y en especial el peso de granos, causando una reducción en todos los componentes del rendimiento (por ej. en el patrón proteico de los granos y consecuentemente su calidad productiva). Resultados recientes obtenidos mediante aplicaciones exógenas de ácido abscísico (ABA) en cultivos extensivos, indican que la hormona pudo regular el crecimiento de la especie, moderando los efectos del estrés hídrico, favoreciendo el transporte y partición de fotoasimilados para el llenado de grano y en consecuencia aumentando el peso del grano y el rendimiento a cosecha (Travaglia *et al.*, 2007). Si bien es conocido que esta hormona desempeña también un

importante papel en la protección de las plantas bajo estrés salino, no existen antecedentes en relación al efecto que aplicaciones exógenas de ácido abscísico (ABA), podrían ocasionar en el establecimiento y productividad de plantas de maíz (*Zea mays* L.) bajo salinidad. La integración del conocimiento obtenido de este trabajo, permitirá, no sólo un avance parcial en la comprensión de la fisiología de la interacción planta-fitohormona-salinidad, sino que además podría considerar una potencial implementación en prácticas extensivas para el tratamiento de cultivos en condiciones restrictivas.

## **ANTECEDENTES GENERALES**

### **Origen e Historia del cultivo**

Esta especie pertenece a la familia de las gramíneas (Poáceas), es una de las especies domesticadas de mayor antigüedad en el continente americano. Su origen se estima en unos, 6000-7000 años AC. Fue la base de la alimentación de las antiguas civilizaciones americanas, tal como Mayas, Aztecas e Incas. Los colonizadores tuvieron contacto con el Maíz en 1492 con la llegada de Colón. Los indígenas hicieron la selección para los diferentes ambientes debido a que esta especie no se distribuye por sí misma (la espiga cae y muere por competencia), fueron los aborígenes los encargados de mantener su evolución. Durante este tiempo se obtuvieron variedades de maíces amiláceos dulces, reventones, duros, y dentados. Es una de las bases de la alimentación mundial junto con el trigo y el arroz y sus principales países productores son: EE.UU., China, Brasil, México, Francia, República Argentina con una producción total mundial de alrededor de 600-750 millones de toneladas por año (Monografías, 2005); (Qfb, 2005).

### **El cultivo de maíz en nuestro país**

Se siembra fundamentalmente en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y San Luís, de acuerdo a las diferentes características agro climáticas. La superficie sembrada en la campaña 2007/2008 fue de 3.167.200 has, representando un 18-20% de la superficie total sembrada y generando una producción aproximada de 20 millones de toneladas.año<sup>-1</sup>; en la última campaña (2008/2009), la superficie disminuyó a 2.3 millones de hectáreas con una producción de 12.5-13 millones de toneladas debido a efectos climáticos. La posición de nuestro país en el mercado tiene una importante relevancia porque es el segundo exportador y el sexto productor mundial de maíz. El cultivo de maíz está muy influenciado por el régimen térmico e hídrico siendo el último el de mayor importancia en el desarrollo del cultivo y en la determinación del rendimiento y productividad. Desde el punto de vista de su plasticidad, se adecua a un amplio rango de tipos de suelo aunque los mejores resultados se obtienen

en aquellos con mayor fertilidad y capacidad de retención de agua. (Bolsa de comercio de Rosario, 2009); (Sagpya, 2009).

### **Características morfofisiológicas**

El Maíz (*Zea mays* L.) *Zea mays* es una planta monoica; sus inflorescencias masculinas y femeninas se encuentran en la misma planta. Las masculinas en una panoja apical y las femeninas en espigas axilares protegidas por brácteas foliáceas. Si bien la planta es anual, su rápido crecimiento le permite alcanzar hasta los 2,5 m de altura, con un tallo erguido, rígido y sólido.

Las hojas toman una forma alargada íntimamente arrollada al tallo, del cual nacen las espigas o *mazorcas*. Cada mazorca consiste en un tronco que está cubierta por filas de granos, la parte comestible de la planta, cuyo número puede variar entre ocho y treinta. Por su gran masa de raíces superficiales, es susceptible a sequías, intolerancia a suelos deficientes en nutrientes, y a caídas por severos vientos.

Requiere climas tropicales, subtropicales y templados, se cultiva en altitudes hasta 4.000 msnm. En cuanto a la variación de pH el óptimo se encuentra entre 6 - 7.5 y desde el punto de vista nutricional, los nutrientes que requiere por tonelada de grano son: 25 Kg. de Nitrógeno, 4 Kg. de Fósforo, 19 de Potasio, 6 Kg. de Magnesio y 3 Kg. de Azufre. Se han conseguido rendimientos potenciales de 20.000 Kg/Ha. (Wikipedia, 2009). (Fertilizando, 2009)

### **La salinidad de los suelos y el rol del ácido abscísico (ABA) en la respuesta vegetal al estrés salino e hídrico.**

La salinidad de los suelos representa la mayor causa de estrés abiótico en plantas cultivables en el mundo. En la actualidad, cerca del 20 % de las tierras cultivables y casi la mitad de las tierras irrigadas en todo el planeta están afectadas por salinidad (Rhoades *et al.*, 1992). Una estrategia para mejorar y expandir las fronteras agrícolas y re-utilizar los recursos disponibles se focaliza en la obtención de cultivos tolerantes a salinidad o déficit hídrico con el objeto de introducirlos en las tierras desfavorables ó no utilizadas. En las zonas afectadas por salinidad, la principal solución ha sido la sustitución de cultivos sensibles por otros más tolerantes. Las técnicas de lavado de suelos han reducido el problema en algunos países, pero los costos de esta tecnología no están siempre al alcance de otros, por lo que se ha recurrido al empleo de cultivos con mayor tolerancia, como remolacha azucarera, cebada, algodón, etc., para reemplazar cultivos tradicionales (Shannon, 1997). Sin embargo, esta opción puede no tener interés por problemas de mercado, particularidades climáticas o necesidades nutricionales de la población, por lo

que resulta más importante disponer de variedades tolerantes en los principales cultivos (arroz, trigo, soja, etc.).

En la región agrícola central, principalmente en las provincias de Córdoba y Santa Fe, los suelos salinizados disminuyen la productividad y disponibilidad de los mismos para su explotación. De esta manera, la búsqueda de poblaciones vegetales más tolerantes, así como la comprensión de la base fisiológica de su respuesta a la salinidad, se considera como un tema prioritario de estudio. Desde el punto de vista fisiológico, la salinidad determina dos tipos de estrés en los tejidos vegetales: un estrés hídrico ocasionado por el aumento relativo de la concentración de solutos y la consecuente disminución en la disponibilidad de agua en el suelo y un estrés iónico que resulta de la modificación en la relación de  $K^+/Na^+$  y en las concentraciones de  $Na^+$  y  $Cl^-$  que son perjudiciales para la planta. Shannon y Grieve (1999) afirman que el factor osmótico de la salinidad es responsable de reducir la tasa de crecimiento (principalmente en los estadios de germinación y crecimiento de plántula) y de modificar la arquitectura vegetal (proporción raíz/tallo). El efecto iónico se manifiesta generalmente como daño generalizado en los meristemas y hojas jóvenes, o como síntomas típicos de desórdenes nutricionales. Según Gadallah, (1996), además de la reducción del crecimiento, se producen efectos antagónicos o sinérgicos en la absorción de iones que son de interés particular y que están en elevada concentración en la solución externa (por ej.  $Na^+$   $Cl^-$  o  $Ca^{+2}$ ) que son incorporados a gran velocidad y se acumulan en el tejido, inhibiendo la incorporación de otros iones por la raíz (por ej.  $K^+$ ). Resulta evidente que la exposición de un organismo a estrés, trae aparejadas importantes modificaciones fisiológicas, que afectan el normal crecimiento y desarrollo del individuo. La estrategia de las plantas para tolerar esta condición, está direccionada a la activación de múltiples vías metabólicas, tendientes a: (1) facilitar la retención y/o adquisición de agua, (2) proteger la funcionalidad de las células, (3) modificar la estrategia de crecimiento y (4) mantener la homeostasis en general. Frente al estrés salino se observa el aumento de succulencia (Ashraf, 1993; Leidi y Sáiz, 1994; Reimann y Breckle, 1995), que sería una adaptación desarrollada para evitar la pérdida de agua, así como el mantenimiento de la actividad fotosintética (Fischer y Turner, 1978; Longstreth y Nobel, 1979).

Estos mecanismos de adaptación se reflejan macroscópicamente como un menor crecimiento, modificación de la relación parte aérea/raíz, limitación de la expansión foliar, y son consecuencia de cambios bioquímicos (síntesis de ácido abscísico y solutos osmoprotectores) y fisiológicos (alteración de la permeabilidad de las membranas a los iones y al agua, cierre estomático, disminución de transpiración y fotosíntesis, etc.). Esta respuesta adaptativa está gobernada por señales moleculares que regulan la relación con el medio externo (por ejemplo, cambios en la actividad de canales y transportadores de

membranas) y por la activación y transcripción de genes entre cuyos efectos está la modificación de rutas biosintéticas que resultan en ajuste osmótico y la protección de las estructuras celulares (Leidi y Pardo, 2002). Una célula vegetal expuesta a un medio salino equilibra su potencial hídrico perdiendo agua, lo que produce la disminución del potencial osmótico y de turgencia. Esta situación genera señales químicas (aumento del  $\text{Ca}^{2+}$  libre intracelular, síntesis de ABA, etc.) que desencadenan posteriores respuestas adaptativas (Hasegawa et al., 2000). Durante el proceso de ajuste se produce la acumulación de solutos orgánicos e inorgánicos que reducen el potencial osmótico celular (Wyn Jones y Gorham, 1983b), y la reducción en la conductividad hidráulica de las membranas, posiblemente por disminución del número o apertura de los canales de agua (acuaporinas) (Carvajal et al., 1999).

El estrés aumenta el ácido abscísico (ABA) endógeno y resulta generalmente en una inhibición del crecimiento con sentido positivo para la planta ya que la mayoría de sus efectos fisiológicos implican mecanismos de protección. El ABA, es la molécula clave de esta respuesta y quizás el compuesto químico de mayor importancia y jerarquía dentro de los mecanismos de respuesta al estrés hídrico o salino. Desde el punto de vista estructural, podemos decir que es un sesquiterpeno de 15 átomos de carbonos, parcialmente producido a partir del ácido mevalónico, tanto en cloroplastos como en otros plástidos. Otros autores proponen una ruta biosintética a partir de la degradación de carotenoides de 40 átomos de carbonos. Desde el punto de vista funcional, esta molécula desencadena el estado de alerta en tejidos vegetales, como una señal química al estrés y comanda la respuesta de la planta a tal condición (Bray E.A., 2002). La raíz, como principal órgano de absorción de agua e iones, tiene gran importancia en la respuesta a corto y largo plazo al estrés salino. En este órgano se sintetiza ácido abscísico (ABA), una de las señales tempranas de estrés capaz de producir cambios fisiológicos locales (conductividad hidráulica) y a distancia (cierre estomático), tal como ha sido considerado previamente por Hartung *et al.* (2002).

El ABA cumple una importante función como regulador del cierre de los estomas en hojas de diferentes especies ante condiciones de estrés hídrico. (Hartung y Davies, 1991). La aplicación exógena de ABA en la mayoría de las especies cultivables aumenta la eficiencia del uso del agua (Rademacher et al. 1989) y como el crecimiento vegetal es un fenómeno cuantitativo de aumento de volumen y acumulación de materia seca que ocurre por efecto directo de un estado de turgencia hídrica, entonces al reducir las pérdidas por transpiración y mejorar el estado hídrico se permitirá un mayor crecimiento y acumulación de materia seca en condiciones de estrés. En tal sentido, De Costa et al. (2007) evaluaron los mecanismos de tolerancia a salinidad por NaCl en híbridos de maíz Pioneer 3906 y en los recientemente desarrollados SR03, SR12 y SR13 y probaron que en

tales condiciones se incrementaban los niveles de ABA y que esta molécula jugaba un rol central en el mecanismo de promoción del crecimiento de hojas, como parte de una respuesta relacionada con el ajuste osmótico de la especie. Similares resultados fueron descritos por Liu et al. (2005) y Jimenez-Bremont, et al. (2007) en los que se comprobó que la aplicación exógena de ABA determinaba un aumento en la biosíntesis de poliaminas y que tal incremento tenía una relación directa con una mayor tolerancia a salinidad en plántulas de maíz. Por otro lado, se ha sugerido que la tolerancia a salinidad, mediada por la producción y acumulación de ABA en plántulas de maíz, sería consecuencia de una regulación corriente arriba en la que participaría el óxido nítrico como molécula efectora (Cheng et al. 2006).

La elevada concentración de sales restringe el crecimiento en muchas regiones templadas (Greenway y Munns, 1980). Cuando la situación ambiental se modifica incrementando el gradiente de presión de vapor entre la hoja y la atmósfera, la planta necesita reducir las pérdidas por transpiración para regular el estado hídrico y sostener un ritmo adecuado de crecimiento y acumulación de materia seca en condiciones de estrés. En yerba mate, la aplicación foliar de ABA promovió el crecimiento al aliviar la condición de estrés hídrico diurno (Sansberro *et al.*, 2004). En cereales, el ABA exógeno aceleró el transporte de asimilados favoreciendo el crecimiento del grano (Xie *et al.*, 2003). Por otro lado, en sistemas naturales, el grado de salinización y el tipo de sales presentes varía en los diferentes tipos de suelo y con la fuente de provisión de agua de los mismos. En la mayoría de los casos, los principales cationes presentes en la solución son  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , mientras que los principales aniones son  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ . En base a esto, Grattan y Grieve (1999) manifiestan que resulta sorprendente que la mayoría de los estudios sobre salinidad se lleven a cabo considerando al ClNa como el único agente salinizante, limitando la posibilidad de extrapolación de resultados a condiciones reales de campo. En los suelos salinizados del sur de Córdoba, las sales predominantes son ClNa y  $\text{SO}_4\text{Na}_2$  (Cisneros et al., 1997). Según Egan y Ungar (1998), muy pocos estudios enfocan los efectos del  $\text{SO}_4\text{Na}_2$  en el crecimiento vegetal, a pesar de ser de interés creciente la comparación de los mismos con los del ClNa. En base a estos antecedentes, la hipótesis y objetivos generales y específicos de este trabajo sostienen que:

### **Hipótesis**

La aplicación exógena de ABA a plántulas de maíz (*Zea mays* L.) germinadas en sistemas de suelos salinizados con NaCl o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en concentraciones equivalentes a las establecidas en suelos salinos del sur de la provincia de Córdoba y Santa Fe, determinará mayor eficiencia del uso del agua, crecimiento y acumulación de materia seca, en comparación con las plántulas no tratadas con este regulador.

### **Objetivo general**

1. Evaluar la respuesta de crecimiento y el estado hídrico de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) tratadas exógenamente con concentraciones fisiológicamente activas de ABA y sometidas a condiciones de cultivo controladas (cámara de crecimiento) y semi-controlados (invernáculo) en sistema hidropónico, bajo estrés salino.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de cultivo recomendadas para la especie por los organismos de control o modificadas por la adición de concentraciones equivalentes de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o su combinatoria isosmótica.

2. Evaluar el peso fresco y seco aéreo y radical en plántulas de maíz, tratadas exógenamente con 1 µg/planta ácido abscísico y cultivadas en cámara de crecimiento, en sistemas hidropónicos suplementados con 100 mM de NaCl, concentraciones equivalentes de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla isosmótica de ambas sales.

3. Evaluar el peso fresco y peso seco aéreo y radical de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) y la velocidad de crecimiento (cm/d) de las semillas y plántulas de maíz tratadas exógenamente con 250 mg/l de una mezcla racémica de ABA y cultivadas en invernáculo en sistemas hidropónicos suplementados con concentraciones equivalentes de 150 mM de NaCl y SO<sub>4</sub>Na<sub>2</sub> o su mezcla isosmóticos.

## Materiales y métodos

### Material Vegetal

Se utilizaron semillas de maíz (*Zea mays* L.) Morgan, híbrido simple transgénico MASS 484 MG, correspondiente a un ciclo de crecimiento intermedio/precoz, sin considerar la longitud del ciclo hasta floración. Antes del comienzo del ensayo se evaluó su energía y poder germinativo de acuerdo a normas de la International Seed Test Association (ISTA). No se conocen referencias en relación a su tolerancia a salinidad.

### Condiciones generales del ensayo de germinación en cámara

Para el desarrollo del experimento se utilizaron cajas de petri de 10 cm de diámetro con papel de filtro como soporte impregnado con 10 ml de H<sub>2</sub>O como control o soluciones - 0,2; -0,3; -0,4 y -0,6 MPa de NaCl; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla isosmótica de ambas sales, de acuerdo al tratamiento. La preparación de cada sal y su equivalencia en concentración de iones se detalla a continuación en las Tablas 1 y 2:

**Tabla I:** Preparación de soluciones entre 0,05 y 0,15 M de NaCl, a partir de una solución 1M y su equivalencia en términos e potencial osmótico, de acuerdo a Sosa *et al.*, (2005).

<b>MOLARIDAD NaCl</b>	<b>POTENCIAL OSMÓTICO</b>	<b>SOLUCION 1 M NaCl (ml)</b>	<b>H<sub>2</sub>O destilada (ml)</b>
0,05	-0,1 MPa	4,5	85,5
0,075	-0,3 MPa	6,72	83,25
0,1	-0,4 MPa	9	81
0,15	-0,6 MPa	13,5	77,5

**Tabla II:** Preparación de soluciones entre 0,05 y 0,15 M de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, a partir de una solución 1M y su equivalencia en términos e potencial osmótico, de acuerdo a Sosa *et al.*, (2005).

<b>MOLARIDAD Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<b>POTENCIAL OSMÓTICO</b>	<b>SOLUCION 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml)</b>	<b>H<sub>2</sub>O destilada (ml)</b>
0,044	-0,1 MPa	4	86
0,066	-0,3 MPa	6	84
0,088	-0,4 MPa	8	82
0,132	-0,6 MPa	12	78

La experiencia se desarrolló con un diseño aleatorio de dos réplicas por tratamiento (n=10) y en cada cápsula se colocaron 10 semillas de maíz (*Zea mays L.*). Las placas con las semillas fueron colocadas en una cámara de germinación mantenida a 25 °C y condiciones de oscuridad hasta la finalización del ensayo. El parámetro determinado en todos los casos fue el número de semillas germinadas por réplica, considerando como tales a aquellas que presentaban más de 0.5cm de longitud en la radícula. Los intervalos de evaluación fueron establecidos cada 24 horas hasta el momento de la evaluación de la energía germinativa (4 días), de acuerdo a normas ISTA (Internacional Seed Test Association), más una evaluación final a los 7 días considerado el tiempo de evaluación de poder germinativo, para la misma especie. En ambos casos se consideró el porcentaje expresado como el número de semillas germinadas sobre el total de semillas existentes en la placa.

### **Condiciones generales del ensayo de crecimiento temprano en cámara de cultivo.**

La experiencia se llevó a cabo con un diseño aleatorio, de tres réplicas por tratamiento (n=10) y los datos fueron analizados por ANOVA y test de Tuckey *a posteriori* con  $p < 0.05$ . Para ello, 300 semillas fueron sembradas en bandejas plásticas conteniendo arena estéril y agua destilada (60 % de capacidad de campo). Las semillas fueron cultivadas en cámara de germinación con un fotoperíodo de 16 horas de luz a 30° C y 8 horas de oscuridad a 25° C con 80 % de HR durante 72 horas. Transcurrido este período, se seleccionaron los individuos con crecimiento y características morfológicas uniformes y se implantaron en un sistema de bandejas plásticas con receptáculos individuales de 100 ml de capacidad, conteniendo vermiculita estéril como único sustrato y solución nutritiva de Hoagland 25 % modificada (Hoagland y Arnon, 1950) suministrada por riego capilar. Las plántulas fueron cultivadas por 12 días en las condiciones ambientales descritas anteriormente, de acuerdo a los siguientes tratamientos (**Foto 1**):

- 1-Plántulas control.
- 2-Plántulas tratadas con 100 mM de NaCl.
- 3-Plántulas tratadas con 100 mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- 4-Plántulas tratadas con 100 mM de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- 5-Plántulas tratadas con 1 µg/planta de ABA
- 6-Plántulas tratadas con 1 µg/planta de ABA en 100 mM de NaCl.
- 7-Plántulas tratadas con 1 µg/planta de ABA en 100 mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- 8-Plántulas tratadas con 1 µg/planta de ABA en 100 mM de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

La salinización y aplicación exógena de ácido abscísico (ABA) comenzó luego de 96 horas desde la siembra. Para ello, la solución nutritiva de Hoagland (25 %) fue modificada por la adición de 100 mM de NaCl (-0,4 MPa); una concentración equivalente

de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  o la mezcla isosmótica de ambas sales. Se utilizó esta concentración, debido a que en general, se considera que la tolerancia de la especie glicófitas oscila entre los 50 y 150 mM de NaCl, si bien en casos excepcionales de algunos cultivares de alfalfa puede llegar a casi 400 mM (Munns, R., 2005). Por su parte, el ABA exógeno se aplicó a partir de V1 (Rithchie-Hanway, 1997) cada 72 horas, con micropipeta y a una dosis constante de 1  $\mu\text{g/planta}$ . Al finalizar la experiencia, fueron evaluados los siguientes parámetros de crecimiento: (a) peso (fresco y seco) aéreo y radical (b). Para determinar el peso se utilizó una balanza analítica (Precisión 0,0001g). El material se secó en estufa a 37 °C durante 4 días.



**Foto 1:** Modelo del experimento en cámara de crecimiento (condiciones controladas).

### **Condiciones generales del ensayo de crecimiento en invernáculo**

La experiencia fue desarrollada en el invernáculo de la Universidad Nacional de Río Cuarto, que se encuentra emplazada sobre la Ruta Nacional n° 36 Km. 601, Río Cuarto, Córdoba (33° 07' Latitud Sur, 64° 14' Longitud Oeste, 421 m.s.n.m.) durante la campaña 2005-2006. El ensayo se llevó a cabo con un diseño experimental "anidado" que consistió en 8 tratamientos con tres repeticiones cada uno. Cada repetición (maceta) de cada tratamiento (3 macetas) contuvo 5 semillas que fueron colocadas en macetas plásticas flexibles de 20 cm de diámetro x 20 cm de longitud, conteniendo como soporte inerte una mezcla de perlita:arena (2:1) estéril según Somasegaran *et al.* (1994), regándose con agua hasta emergencia de la plántula. A partir de este momento, cada maceta recibió por capilaridad solución nutritiva de Hoagland 25% que se renovó cada 7 días hasta la finalización del ensayo. Las variantes para cada tratamiento se resumen a continuación (**Foto 2**):

- 1-Plántulas control
- 2- Plántulas tratadas con 150 mM de NaCl.
- 3- Plántulas tratadas con 150 mM de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

- 4- Plántulas tratadas con 150 mM de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- 5- Plántulas tratadas con 250 mg/l de ABA.
- 6-Plántulas tratadas con 250 mg/l de ABA en 150 mM de NaCl.
- 7-Plántulas tratadas con 250 mg/l de ABA en 150 mM de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- 8-Plántulas tratadas con 250 mg/l de ABA en 150 mM de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

La salinización comenzó a los 15 días posteriores a la siembra, mediante pulsos de 50 mM de la sal correspondiente, cada 7 días hasta alcanzar una concentración final de 150 mM. Se decidió trabajar con una concentración final de sal mayor, en base a que los resultados obtenidos en los ensayos en cámara mostraron una buena tolerancia de la especie. El ABA exógeno se adicionó a partir de V3 cada 72 horas hasta finalizar el ensayo, por aspersión foliar a una dosis constante de 250 mg/l. El experimento se desarrolló en el invernáculo de la Cátedra de Fisiología Vegetal de la UNRC en condiciones semi-controladas de temperatura y bajo luz natural (Febrero-Abril 2006). La experiencia completa finalizó cuando las plantas alcanzaron el estado fenológico correspondiente a V6-V7 según la escala de desarrollo de Rithchie-Hanway (1997), evaluándose los siguientes parámetros de crecimiento: (a) número de plántulas establecidas, (b) peso seco y peso fresco aéreo y radical. Cada experiencia se llevó a cabo con un diseño aleatorio, de tres réplicas por tratamiento. Para determinar el peso se utilizó una balanza analítica (Precisión 1g). El material se secó en estufa a 37 °C durante 4 días. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) seguido por un test de Tukey *a posteriori* con  $p < 0.05$ , en el software para diseño estadístico, Prism 4.0 para Windows.



**Foto 2:** Modelo del experimento en invernáculo (condiciones semi-controladas).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ensayo de germinación en cámara

El **Cuadro 1** muestra la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) de acuerdo a normas recomendadas por la International Seed Test Association (ISTA)

**Cuadro I:** Porcentaje (%) de semillas germinadas en placas de Petri embebidas con volúmenes constantes de agua (control), soluciones de NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla isosmótica de ambas sales, de acuerdo al tratamiento (Híbrido MASS 484 MG, 2007, Río Cuarto).

Lectura	T	C		MPa de NaCl				MPa de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				MPa de NaCl+ Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
		0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,2	-0,3	-0,4	-0,6	-0,2	-0,3	-0,4	0,6	
1	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	48	90	60	65	35	20	60	55	50	0	65	35	25	50	
3	72	95	95	95	90	85	85	80	70	60	100	85	90	80	
4-EG	96*	95	95	95	85	95	85	85	75	75	100	95	95	85	
5-PG	168**	100	100	100	100	100	95	90	95	95	100	95	100	100	

C: Tratamiento control

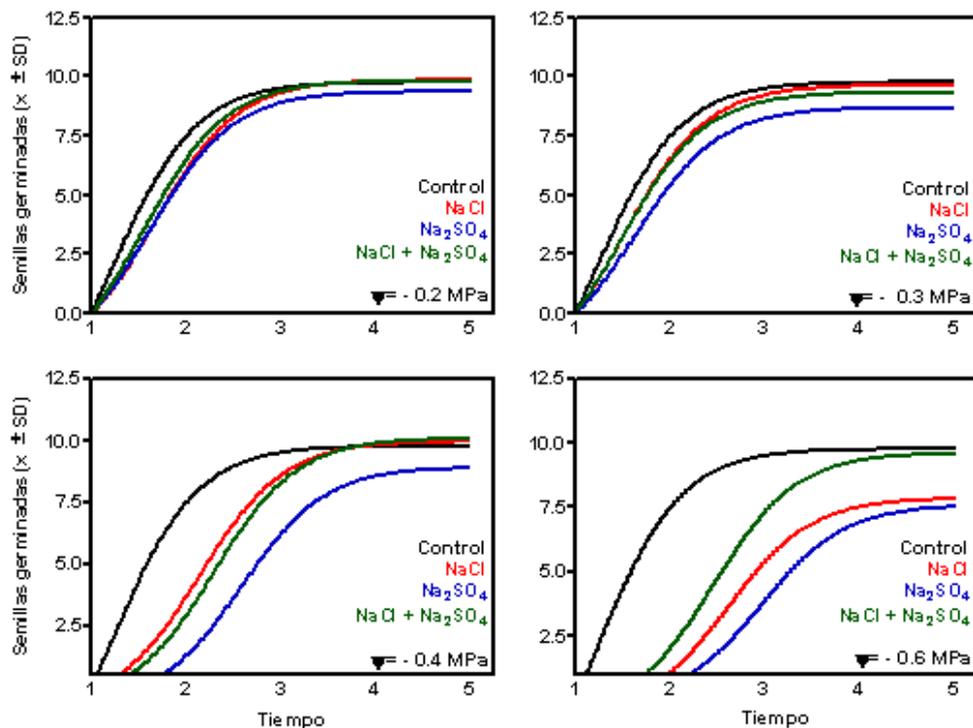
T: Tiempo de evaluación desde tiempo 0 (comienzo del ensayo)

(\*) Evaluación de la Energía Germinativa (EG) a los 4 días.

(\*\*) Evaluación del Poder Germinativo (PG) a los 7 días.

Como se observa en el **Cuadro I**, el tratamiento testigo o control muestra el ritmo normal de germinación de semillas en ausencia de un agente estresante como las sales. En tales condiciones, se obtuvo el máximo valor de germinación (100%), luego de 168 horas de incubación (PG), mientras que a las 48 horas de iniciado el proceso se determinó un valor de 90% ampliamente superior a cualquiera de los tratamientos salinizados. A nivel de la Energía Germinativa (EG), determinada a los 4 días, el tratamiento que mayor inhibición causó fue el que contenía las semillas tratadas con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, en menor proporción las tratadas con NaCl, mientras que la mezcla isosmótica de sales, fué la que menos afectó éste parámetro con respecto a los demás tratamientos salinos. En tal sentido, podemos mencionar que el tratamiento de semillas con cualquiera de las sales o su mezcla isosmótica con diferentes potenciales osmóticos, determinó de manera general un retraso de la expresión normal de la germinación, afectando principalmente, la velocidad de germinación. Al respecto, Shannon (1997), menciona que en presencia de sales, la germinación y el crecimiento temprano se verían principalmente inhibidos por el

componente osmótico de la sal; sin embargo, cada semilla tuvo un comportamiento diferencial en función de la concentración y del tipo de soluto adicionado. Así, los efectos más inhibitorios fueron comprobados en aquellas semillas tratadas con las soluciones monosalinas y de menor potencial osmótico ( $\psi_o$ ) de -0.6 MPa. En condiciones de salinidad, sólo se pudo obtener el máximo valor de germinación en aquellas semillas tratadas con cualquier solución de NaCl. En el caso, del tratamiento de la mezcla isosmótica se obtuvo el 100% de germinación en las soluciones de -0.2, -0.4 y -0.6 MPa. Tal resultado determinaría una fuerte inhibición generada por el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , lo que no podría ser atribuido al componente osmótico de la sal ya que las soluciones isosmóticas de NaCl no mostraron el mismo comportamiento. Adicionalmente, en las semillas tratadas con soluciones de -0.6 MPa de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , la germinación fue completamente inhibida (0) incluso luego de pasadas las 48 horas de iniciado el proceso. En el caso particular de la mezcla isosmótica de sales, se determinó una velocidad de germinación similar al tratamiento control, para un  $\psi_o$  de -0.2 MPa, alcanzando el 100% de la germinación a partir de las 72 h, mientras que el control alcanzó un valor máximo a los 7 días (final).



**Figura I:** Comportamiento germinativo ajustado a un crecimiento exponencial ( $r^2 > 0.95$ ) de semillas de maíz germinadas en placas de Petri, en 4 tratamientos: agua (negro), soluciones de NaCl (rojo),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (azul) o la mezcla isosmótica de ambas sales (verde), en diferentes potenciales osmóticos (-0.2 Mpa; -0.3 Mpa; -0.4 Mpa; -0.6 Mpa) como se describe en materiales y métodos.

Cuando los valores se ajustaron a un modelo exponencial de crecimiento, como muestran la **Figura I**, las semillas sometidas a salinidad mostraron una cinética de crecimiento que fue afectada por cada sal, de manera particular.

**Tabla I:** Resultados comparativos del comportamiento germinativo ajustado a un crecimiento sigmoidal ( $r^2 > 0.95$ ) generado con el software (Prism® 4.0).

		Control	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Bisalina
-0.2 Mpa	TOP	9,765	9,857	9,363	9,823
	LOGEC50	1,236	1,672	1,627	1,552
	R <sup>2</sup>	0,9984	0,998	0,9967	0,9983
-0.3 Mpa	TOP	9,765	9,633	8,68	9,327
	LOGEC50	1,236	1,511	1,638	1,489
	R <sup>2</sup>	0,9984	0,9986	0,9967	0,9911
-0.4 Mpa	TOP	9,765	9,966	8,913	10,09
	LOGEC50	1,236	2,153	2,585	2,294
	R <sup>2</sup>	0,9984	0,9966	0,9617	0,9902
-0.6 Mpa	TOP	9,765	7,857	7,585	9,61
	LOGEC50	1,236	2,613	2,967	2,455
	R <sup>2</sup>	0,9984	0,9599	0,8832	0,9797
Equation: Sigmoidal dose-response (variable slope).					
Y=Bottom + (Top-Bottom)/(1+10^((LogEC50-X)*HillSlope))					

La **Tabla I**, muestra que el comportamiento poblacional correspondió con una cinética del crecimiento del tipo sigmoidal en la mayoría de los tratamientos con y sin la adición de sales y en todos los potenciales generados.

En el caso de aquellas tratadas con soluciones isosmóticas de -0.2 MPa, no se observaron diferencias significativas entre las fases estacionarias de las curvas obtenidas en el tratamiento control, la mezcla isosmótica de sales y el NaCl, siendo sólo afectadas por la presencia de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Al disminuir el potencial osmótico de las soluciones a valores de -0.3 MPa, se determinó un comportamiento similar al anterior, sólo que la inhibición se intensificó en los tratamientos con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Adicionalmente, en la fase lineal de la curva se observaron diferencias entre la velocidad de germinación del tratamiento control y los tratamientos de NaCl y la mezcla isosmótica de sales, lo que se debería a que el factor osmótico de la salinidad comienza a ser limitante. Con un potencial de -0.4 MPa, se observó que todos los tratamientos salinizados, presentaron una menor velocidad de germinación, en comparación al tratamiento control en la fase lineal de la curva, siendo el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> la sal con mayor capacidad de reducir dicho parámetro, incluso hasta el final de la fase estacionaria. En el caso de las semillas tratadas con soluciones de NaCl y la mezcla isosmótica de sales, no hubo un comportamiento diferencial en ninguna de las fases de crecimiento, pero en todos los casos fueron menores que el control. En el caso de las semillas tratadas con soluciones de -0.6 MPa, se determinó un comportamiento altamente inhibitorio del Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaCl durante todas las fases de la curva y a diferencia de las

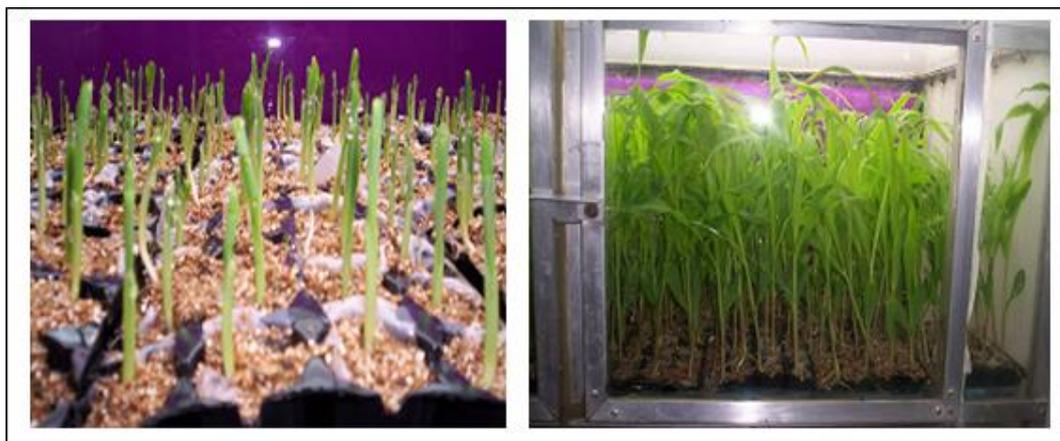
anteriores, la mezcla isosmótica de sales tuvo un comportamiento similar al control hacia el final de la fase estacionaria, lo cual nos indica que la mezcla de iones en la solución en proporciones equivalentes a las encontradas en el suelo (Sosa et al., 2005) ejerce una toxicidad menor a nivel de tejidos que las soluciones monosalinas, y en este caso particular, que la presencia del catión  $\text{Cl}^-$  alivia la toxicidad del anión  $\text{SO}_4^{+2}$ .

**Tabla II:** Resultados del Test de Tuckey *a posteriori* ( $p < 0.05$ ) para la combinatoria de 20 bloques de datos resultantes de los diferentes tratamientos de salinización, así como del tiempo de evaluación de la germinación (Figura 1).

	Tukey's Test	-0.2 MPa	-0.3 MPa	-0.4 MPa	-0.6 MPa
Tiempo	Tratamiento	P value			
1	Control vs NaCl	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	Control vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	Control vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	NaCl vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	NaCl vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
2	Control vs NaCl	P > 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	Control vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	Control vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	NaCl vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	NaCl vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
3	Control vs NaCl	P > 0.05	P > 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	Control vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	Control vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	NaCl vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	NaCl vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
4	Control vs NaCl	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P < 0.05
	Control vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	Control vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	NaCl vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P > 0.05
	NaCl vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P < 0.05
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
5	Control vs NaCl	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P < 0.05
	Control vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
	Control vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05
	NaCl vs Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P > 0.05
	NaCl vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	P < 0.05
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> vs NaCl + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05	P < 0.05
ANOVA	P value	0,9966	0,9766	0,8581	0,5443
	Number of groups	20	20	20	20
	F	0,01806	0,06708	0,2529	0,7387
	r square	0,003375	0,01242	0,04527	0,1217

De manera general, podemos destacar que las semillas tratadas con soluciones de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tuvieron una respuesta más inhibitoria, tanto a nivel de la velocidad (**Figura 1, Tabla II**), como del porcentaje de semillas germinadas (**Cuadro 1**), pero todas mantuvieron una cinética del tipo sigmoideal (**Tabla I**). Tal efecto fue parcialmente revertido cuando se adicionaron de manera conjunta tanto  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  como  $\text{NaCl}$  soluciones isosmóticas. Al respecto, estudios previos realizados en nuestro laboratorio a nivel de la respuesta germinativa de *Prosopis strombulifera*, una leguminosa arbustiva de la subfamilia *Mimosoideae*, demostraron que el anión sulfato, en su forma de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y en soluciones isosmóticas, era mas inhibitorio que el anión cloruro, en su forma de  $\text{NaCl}$ . Adicionalmente se demostró que la toxicidad ocasionada por sulfato ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) era revertida cuando el anión era combinado con el cloruro ( $\text{NaCl}$ ) en soluciones bisalinas debido a fenómenos de antagonismo iónico y competencia mutua a nivel de transportadores de membrana (Sosa *et al.*, 2005), ya que frente a una disponibilidad equivalente de aniones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  en el medio, la planta favorece el ingreso de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  para osmorregulación impidiendo el ingreso de  $\text{SO}_4^{2-}$  el cual es responsable de visibles síntomas de toxicidad tales como clorosis, necrosis y abscisión de hojas (Reginato *et al.*, 2007). En similares estudios, Lépore *et al.* (2008) y Ramadú *et al.* (2008), comprobaron un comportamiento similar a nivel de la germinación de semillas de soja.

## Ensayo de crecimiento temprano en cámara de cultivo



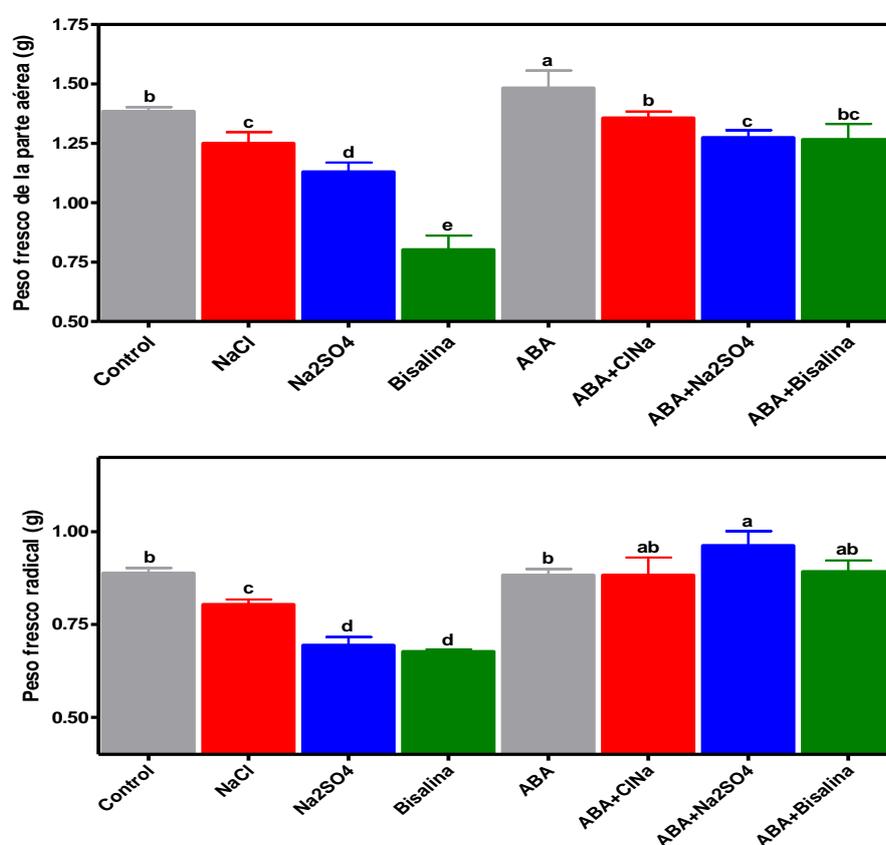
**Foto 3:** Plántulas de maíz, en bandejas plásticas con receptáculos individuales de 100 ml de capacidad, conteniendo vermiculita estéril como único sustrato y solución nutritiva de Hoagland 25 %, en estadio temprano y avanzado al finalizar el ensayo (12 días).

### Parámetros de crecimiento y estado hídrico

En la **Figura 2** podemos observar que tanto el peso fresco aéreo (PFPA) como radical (PFR) fueron sensiblemente afectados por salinidad. De acuerdo con Shannon y Grieve (1999), este efecto se debería, al menos en parte, al componente osmótico de las diferentes sales adicionadas al medio de cultivo, ocasionando una disminución de la disponibilidad de agua en el sustrato que reduciría la tasa de crecimiento, principalmente en los estadios de germinación y crecimiento temprano. El tratamiento con la solución isosmótica de  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$ , presentó un mayor efecto inhibitorio a nivel aéreo, luego el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y finalmente el  $\text{NaCl}$ , lo cual fue revertido mediante la aplicación de ABA lo que muestra que al favorecer la regulación de la transpiración mediante la regulación de la conductancia estomática, la hormona favoreció el equilibrio hídrico de la planta

A nivel radical, la mayor inhibición fue observada tanto en la mezcla isosmótica, como en el tratamiento con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Todas las plántulas de maíz que fueron tratadas exógenamente con ácido abscísico (ABA), mostraron un incremento significativo del peso fresco, en comparación con sus controles salinizados. A nivel aéreo (PFPA), se produjo una mayor reversión relativa en el tratamiento correspondiente a la mezcla isoosmótica ya que fue el más afectado en ausencia de la hormona (tabla IV), aumentando la producción del peso fresco con diferencias estadísticamente significativas. Por otro lado, a nivel radical esta reversión fue mayor tanto en la mezcla isosmótica como en el tratamiento con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (tabla IV), aumentando el peso en un 9 y 1.1 % respectivamente. El incremento observado estaría dado por un mejor estado hídrico de la planta, que a nivel radical podría deberse a una inversión de la relación de crecimiento aéreo/radical, mediada por la inhibición de la

biosíntesis de GAs (Lefebvre *et al.*, 2006) y la disminución del crecimiento aéreo, así como del aumento del volumen radical. Este efecto se hizo más notorio en las plántulas salinizadas, en las que el efecto osmótico de la sal fue revertido en un grado considerable por la aplicación de ABA, lo que a su vez fue más visible en raíces, lo cual constituiría una respuesta típica a esta hormona en plantas estresadas promoviendo el crecimiento radical como un mecanismo de supervivencia de la planta (Zhang *et al.*, 2006). A nivel foliar, el efecto sería también mediado por ABA y se debería, como se dijo anteriormente, a la regulación del cierre estomático con la consecuente acumulación de agua en los tejidos por disminución de la tasa transpiratoria de las plántulas salinizadas e incluso el control sin salinizar, pero tratado con la hormona.



**Figura 2:** Peso fresco aéreo (PFPA) (parte superior) y radical (PFR) (parte inferior), de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) no tratadas (1-4) o tratadas exógenamente con 1 µg/planta de ABA (5-8) y cultivadas en 100 mM de NaCl; una concentración equivalente de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla isosmótica de ambas sales. Las barras representan el valor promedio ± SD. Letras diferentes representan diferencias significativas por Test de Tuckey (p<0.05).

**Tabla III:** Resultados comparativos del análisis estadístico generado con el software (Prism® 4.0) para la evaluación del Peso Fresco en los diferentes tratamientos.

<b>Peso Fresco PA</b>		<b>Peso Fresco R</b>	
<i>One-way analysis of variance</i>		<i>One-way analysis of variance</i>	
P value	P<0.0001	P value	P<0.0001
P value summary	***	P value summary	***
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes	Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes
Number of groups	8	Number of groups	8
F	1076	F	855
R squared	0,941	R squared	0,9269

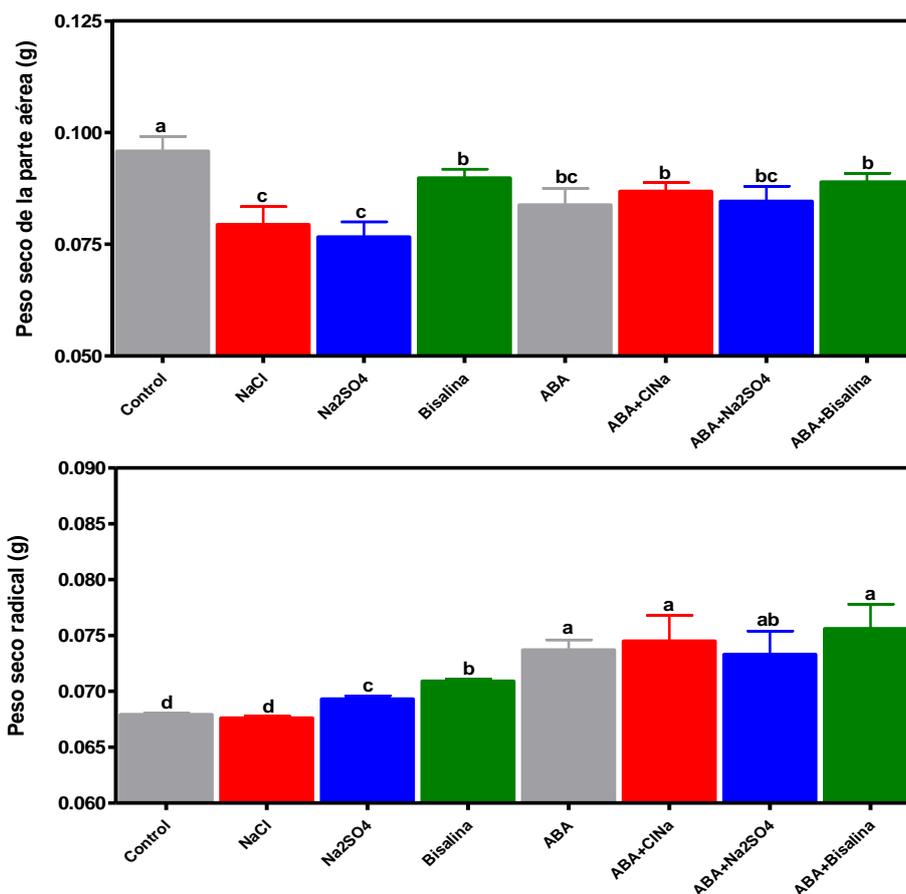
**Tabla IV:** Porcentaje de disminución del PF con respecto al control no salinizado en plántulas de maíz sin tratar o tratadas con ABA y sometidas a salinidad por NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla de ambas.

	Control			ABA		
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Bisalina	ABA+ClNa	ABA+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ABA+Bisalina
PFPA	9,73	18,45	42,06	8,51	14,07	14,60
PFR	9,47	21,87	23,77	0,00	-9,06	-1,12

En la **Figura 3** podemos observar que el peso seco de la parte aérea (PSPA) de las plántulas de maíz sometidas a salinidad, por NaCl fue significativamente menor al mismo tratamiento pero con la adición de ABA, lo que se explicaría por el cierre de los estomas en respuesta al estrés, inicialmente generado en la raíz. Este proceso afectaría su tasa fotosintética y no se observaría en los tratamientos con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o en presencia de ambas sales. Dentro de los tratamientos salinizados, el que determinó una mayor producción de biomasa fue aquel correspondiente al de la solución bisalina, que mostró similar comportamiento, aún en presencia del ABA exógeno; sin embargo, las plántulas que determinaron una mayor reversión relativa de la producción de biomasa debida al tratamiento con la hormona, fueron las de NaCl (Tabla VI) que incrementaron la respuesta con respecto al control sin ABA en un 3.6 %. Este resultado es muy interesante, ya que se asemeja en parte a los obtenidos previamente en nuestro laboratorio en el sentido de que la combinación de sales parece tener un efecto menos estresante que los tratamientos monosalinos y por ello se estaría observando una mejor producción de biomasa y una menor respuesta al ABA exógeno, aunque para el tratamiento con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> no se pudo observar lo mismo para el parámetro evaluado.

A nivel del peso seco de la raíz (PSR) podemos determinar que todos los tratamientos en los que se adicionó ABA de manera exógena, tuvieron un incremento del crecimiento relativo, en comparación a sus controles salinizados y sin aplicación de la hormona (Tabla VI). Esto se debería, al menos en parte a la capacidad del ABA para sostener y promover el crecimiento de la raíz en condiciones de estrés por salinidad, por un lado favoreciendo la acumulación de iones en vacuolas para osmorregulación (entre el 15%

y el 30% del PS; Vicente *et al.*, 2005), y por otro mejorando la tasa fotosintética por un incremento de la eficiencia en el uso del agua. Este último efecto de ABA ha sido comprobado por Sansberro *et al.* (2004) en yerba mate (*Illex paraguensis* L.) y por Travaglia *et al.* (2007) quienes determinaron que el cierre parcial de estomas evita la pérdida excesiva de agua sin afectar la eficiencia fotosintética, observando una mejora notable en la asimilación y partición del carbono en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) sometidas a estrés hídrico y tratadas exógenamente con ABA.



**Figura 3:** Peso seco aéreo (PSPA) (parte superior) y radical (PSR) (parte inferior), de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) no tratadas (1-4) o tratadas exógenamente con 1 µg/planta de ABA (5-8) y cultivadas en 100 mM de NaCl; una concentración equivalente de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla isosmótica de ambas sales. Las barras representan el valor promedio ± SD. Letras diferentes representan diferencias significativas por Test de Tuckey (p<0.05).

**Tabla V:** Resultados comparativos del análisis estadístico generado con el software (Prism® 4.0) para la evaluación del Peso Seco en los diferentes tratamientos.

<b>Peso Seco PA</b>		<b>Peso Seco R</b>	
<i>One-way analysis of variance</i>		<i>One-way analysis of variance</i>	
P value	P<0.0001	P value	P<0.0001
P value summary	***	P value summary	***
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes	Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes
Number of groups	8	Number of groups	8
F	233,3	F	296,4
R squared	0,7758	R squared	0,8147

**Tabla VI:** Porcentaje de disminución del PS con respecto al control no salinizado en plántulas de maíz sin tratar o tratadas con ABA y sometidas a salinidad por NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla de ambas.

	Control			ABA		
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Bisalina	ABA+ClNa	ABA+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ABA+Bisalina
<b>PSPA</b>	17,12	20,04	6,26	-3,58	-0,95	-6,085918854
<b>PSR</b>	0,441826215	-2,06185567	-4,41826215	-1,085481682	0,542740841	-2,578018996

#### Ensayo de crecimiento tardío en invernáculo.

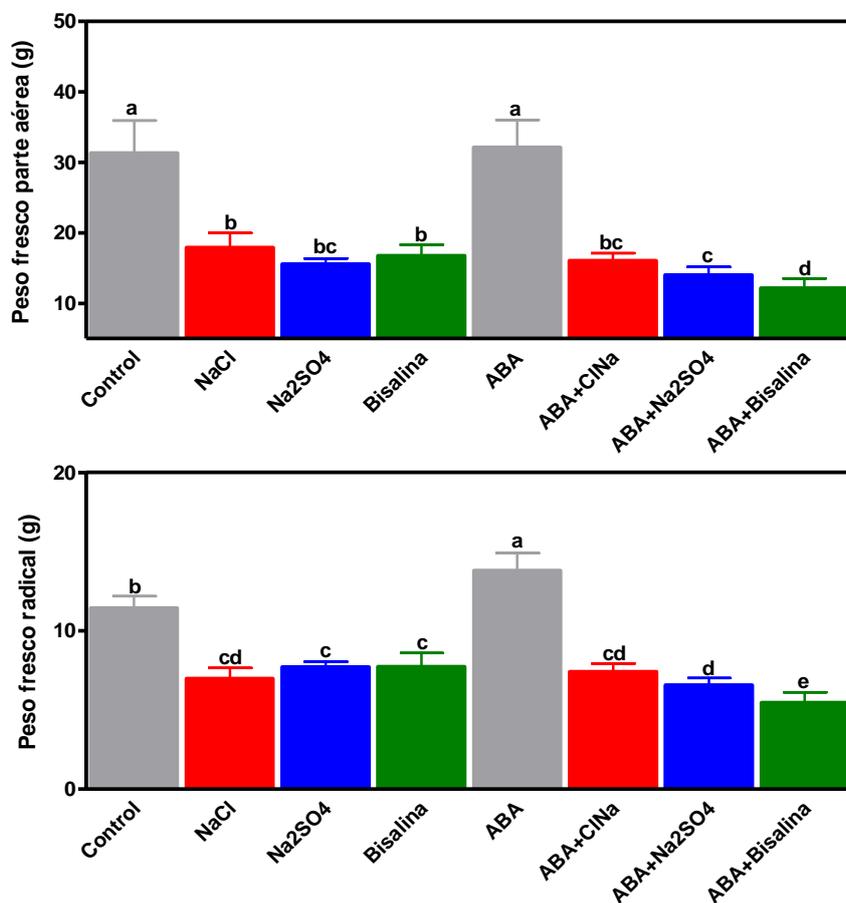


**Foto 4:** Plántulas de maíz (5) en macetas flexibles de 20x20 cm con soporte inerte de una mezcla de perlita:arena (2:1) y solución nutritiva Hoagland 25%, con tres repeticiones para los 8 tratamientos, en estadio temprano y avanzado al finalizar el ensayo (estado fenológico V6-V7 según la escala de desarrollo de Ritchie-Hanway, 1997).

#### Parámetros de crecimiento y estado hídrico.

En la **Figura 4** se observa que la salinización, independientemente del agregado de ácido abscísico (ABA) ejerció un efecto inhibitorio sobre el crecimiento (como producción de biomasa) y la acumulación de agua en los tejidos. Ambas sales de manera individual o combinada fueron inhibitorias sobre este parámetro y no existieron respuestas de mayor o menor toxicidad asociadas particularmente a uso de una de las sales como ocurrió en los ensayos de germinación o de crecimiento temprano en condiciones controladas. Cabe mencionar, que con la aplicación de ABA no se logró revertir el efecto de estrés, causado por la adición de las sales en el medio de cultivo, como se determinó en

el caso de los ensayos desarrollados en cámara, y por el contrario, la adición de la hormona, generó un efecto inhibitorio o depresor estadísticamente significativo sobre la producción de biomasa en el caso de los tratamientos bisalinos en la parte aérea y con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y la mezcla isoosmótica en la fracción radical (Tabla VIII).



**Figura 4:** Peso fresco aéreo (parte superior) y radical (parte inferior) de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) no tratadas (1-4) o tratadas exógenamente con una aspersión de 250 mg/l de ABA y cultivadas en 150 mM de NaCl, una concentración equivalente de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla isoosmótica de ambas sales. Las barras representan el valor promedio  $\pm$  SD. Letras diferentes representan diferencias significativas por Test de Tuckey ( $p < 0.05$ ).

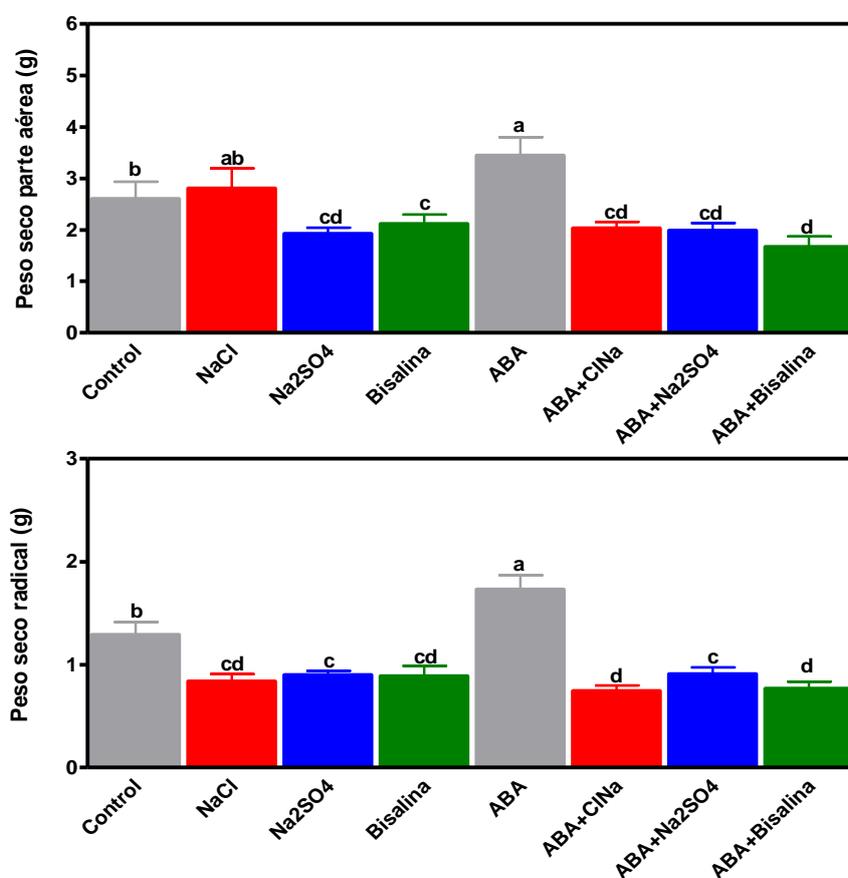
**Tabla VII:** Resultados comparativos del análisis estadístico generado con el software (Prism® 4.0) para la evaluación del Peso Fresco en los diferentes tratamientos.

<b>Peso Fresco PA</b>		<b>Peso Fresco R</b>	
<i>One-way analysis of variance</i>		<i>One-way analysis of variance</i>	
P value	P<0.0001	P value	P<0.0001
P value summary	***	P value summary	***
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes	Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes
Number of groups	8	Number of groups	8
F	10,03	F	15,25
R squared	0,4438	R squared	0,5481

**Tabla VIII:** Porcentaje de disminución del PF con respecto al control no salinizado en plántulas de maíz sin tratar o tratadas con ABA y sometidas a salinidad por NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla de ambas.

	Control			ABA		
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Bisalina	ABA+ClNa	ABA+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ABA+Bisalina
<b>PFPA</b>	42,85	50,29	46,49	50,14	56,39	62,21
<b>PFR</b>	39,08	32,74	32,55	46,27	52,52	60,48

En la **Figura 5** se observa que la aplicación exógena de ABA sobre el crecimiento aéreo (PSPA) y radical (PSR) sólo fue positiva y significativa para el control no salinizado, en ambas fracciones.



**Figura 5:** Peso seco aéreo (parte superior) y radical (parte inferior) de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) no tratadas (1-4) o tratadas exógenamente con una aspersión de 250 mg/l de ABA y cultivadas en 150 mM de NaCl, una concentración equivalente de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla isosmótica de ambas sales. Las barras representan el valor promedio  $\pm$  SD. Letras diferentes representan diferencias significativas por Test de Tuckey ( $p < 0.05$ ).

En los tratamientos salinizados a nivel aéreo, el menos deletéreo fue el NaCl con una producción similar al control, incluso un 7 % mayor aunque sin diferencia estadística significativa, mientras que las sales de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y la mezcla isoosmótica afectaron en similar medida el peso fresco, 26 y 18.4 % respectivamente. Con la aplicación de ABA, no

se logró revertir el efecto estresante de las sales, ya que en el tratamiento con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, se mantuvo igual que en ausencia de la hormona, mientras que en los otros produjo una disminución en comparación con sus respectivos controles. En la fracción radical (PSR), la salinización de manera independiente al tratamiento, afectó la producción de biomasa, con respecto al control. Esta situación no pudo modificarse, aún con la aplicación de ABA.

**Tabla IX:** Resultados comparativos del análisis estadístico generado con el software (Prism® 4.0) para la evaluación del Peso Seco en los diferentes tratamientos.

<b>Peso Seco PA</b>		<b>Peso Seco R</b>	
<i>One-way analysis of variance</i>		<i>One-way analysis of variance</i>	
P value	P<0.0001	P value	P<0.0001
P value summary	***	P value summary	***
Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes	Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes
Number of groups	8	Number of groups	8
F	5,324	F	14,33
R squared	0,2975	R squared	0,5326

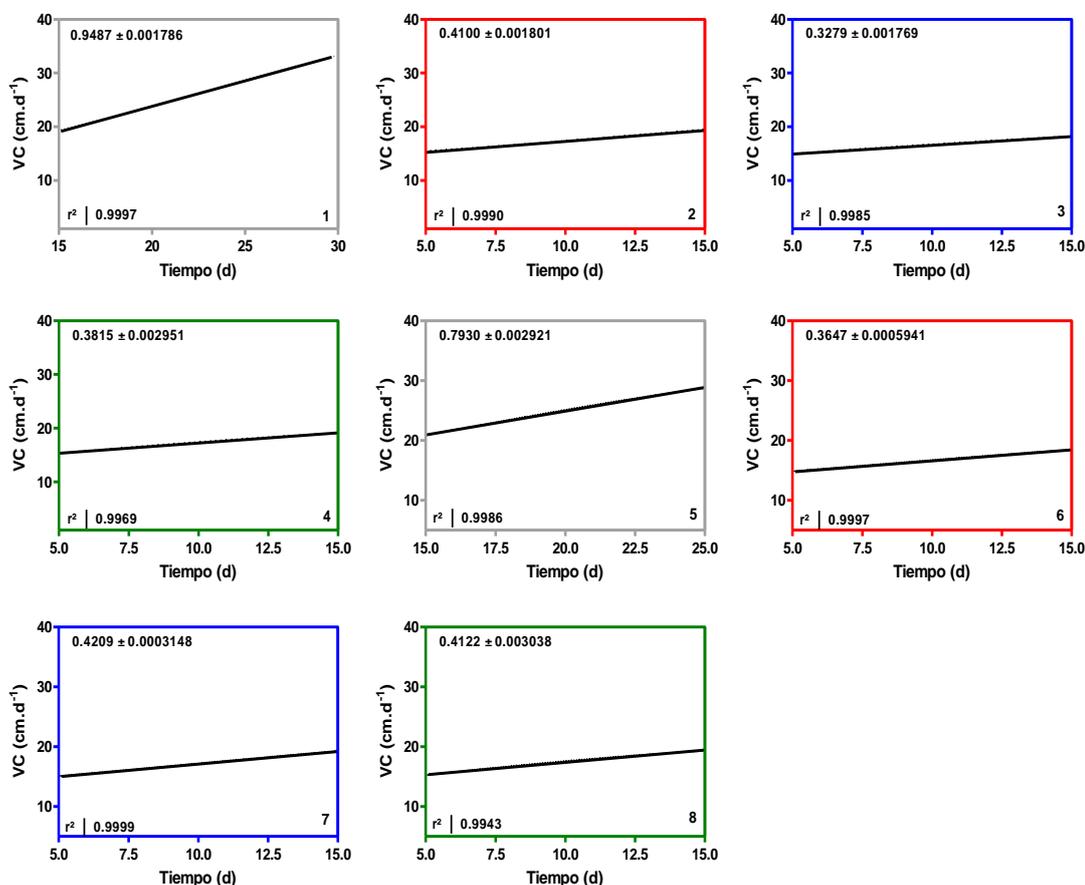
**Tabla X:** Porcentaje de disminución del PS con respecto al control no salinizado en plántulas de maíz sin tratar o tratadas con ABA y sometidas a salinidad por NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla de ambas.

	Control			ABA		
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Bisalina	ABA+ClNa	ABA+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ABA+Bisalina
<b>PSPA</b>	-7,92	25,92	18,43	41,05	42,33	51,48
<b>PSR</b>	34,88	30,13	31,01	56,84	47,40	55,69

Las **Figura 6** y **la Tabla XI** muestran la velocidad de crecimiento relativo a la fase exponencial (cm/d) de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) tratadas exógenamente con 250 mg/l de ABA y sometidas a condiciones de estrés salino por su exposición a soluciones de 150 mM de NaCl; una concentración equivalente de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o la mezcla isosmótica.

Sobre éste parámetro, podemos inferir que ambos controles, tratados o no con ácido abscísico (ABA) tuvieron una mayor velocidad de crecimiento, con respecto a los controles salinizados, siendo mayor en el tratamiento sin adición de la hormona. Por otra parte, la aplicación de de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a la solución nutritiva determinó un retraso en la velocidad de crecimiento, en comparación al NaCl o a la mezcla isosmótica de sales, pudiendo deberse a un efecto particular de ésta sal, que en otras especies vegetales también ha demostrado tener mayor toxicidad. Por ejemplo, Lone, (1988) determinó la mayor toxicidad del ión SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> a nivel del crecimiento y desarrollo de embriones de cebada; Bie *et al.* (2004) determinaron que el SO<sub>4</sub>Na<sub>2</sub> podía disminuir y afectar considerablemente el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.); Shi and Sheng (2005), determinaron una respuesta similar para girasol (*Helianthus annuus* L.) y Reinoso *et al.* (2004) demostraron una notable tolerancia a

NaCl pero no a la misma concentración de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en la halófito nativa *Prosopis strombulifera*. La aplicación de ABA de manera exógena, no revirtió la condición de toxicidad impuesta por la salinización en este experimento en el cual la velocidad relativa de crecimiento bajo el tratamiento con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  fue similar al de NaCl o de la mezcla.

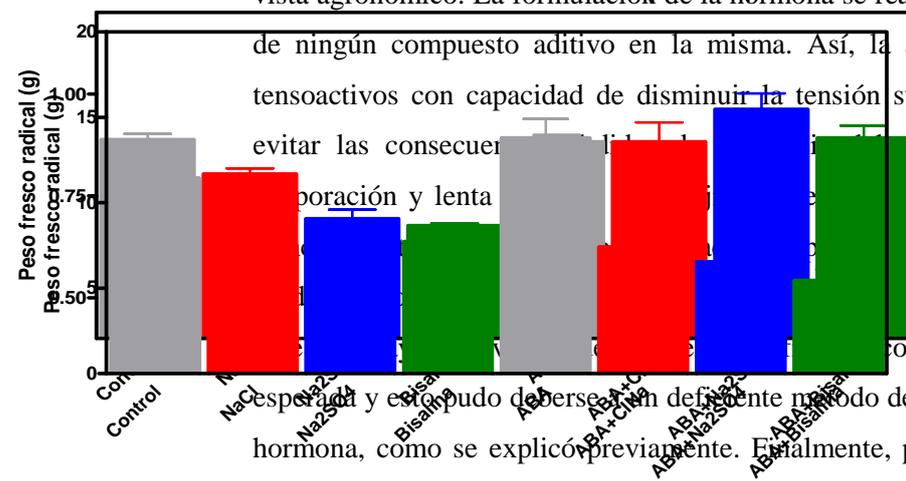
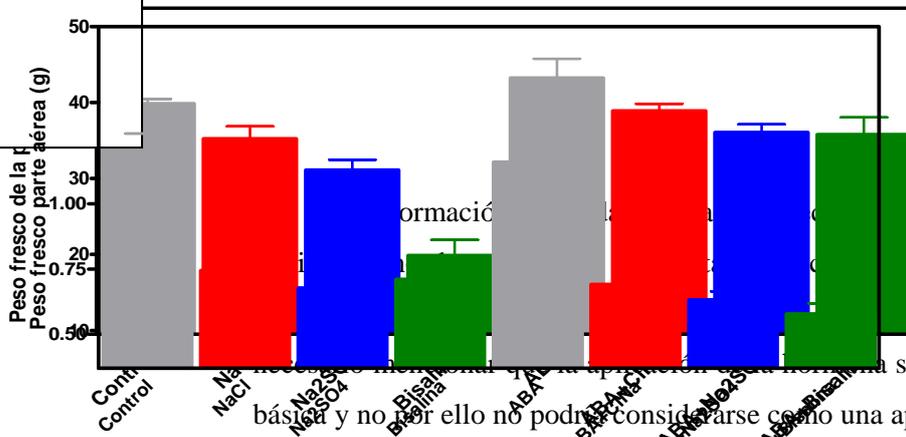


**Figura 6:** Velocidad de crecimiento expresada como cm/d de plántulas de maíz sin ABA (recuadro gris); y tratadas exógenamente con ABA cultivadas en 150 mM de NaCl (recuadro rojo); una concentración equivalente de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (recuadro azul) o la mezcla isosmótica de ambas sales (recuadro verde), utilizando el software PRISM® y considerando ( $T=SD$  para  $p<0.05$  y  $r^2 > 0.95$ ).

**Tabla XI:** Velocidad de crecimiento expresada como cm/d (pendiente Figura 6)

TRATAMIENTO	VC (cm/d)	DS
Control	0.9487	0.001786
Control + NaCl	0.4100	0.001801
Control + $\text{Na}_2\text{SO}_4$	0.3279	0.001769
Control + b isalina	0.3815	0.002951
Control + ABA	0.7930	0.002921
Control + NaCl + ABA	0.3647	0.0005941
Control + $\text{Na}_2\text{SO}_4$ + ABA	0.4209	0.0003148
Control + b isalina + ABA	0.4122	0.003038

DS: desvío estándar.



que la aplicación de ABA no fue sobre el material vegetal como en el para de cultivo. En tal sentido, es se realizó desde un punto de vista básico y no por ello no podrá ser vista agronómico. La formulación de la hormona se realizó en base acuosa, sin el agregado de ningún compuesto aditivo en la misma. Así, la ausencia de agentes surfactantes o tensoactivos con capacidad de disminuir la tensión superficial de las láminas foliares y evitar las consecuencias de la aplicación y lenta principio activo por efecto deriva, se determinaron que una parte del nunca llegara a ser activa sobre el aplicación en las plántulas de maíz necesario para obtener la respuesta esperada y esto pudo deberse a un deficiente método de aplicación o a la formulación de la hormona, como se explicó previamente. Finalmente, podríamos considerar otros factores no relacionados con la hormona pero asociados con las condiciones experimentales planteadas determinaron el fracaso del experimento. Por el contrario, sabemos que en condiciones controladas existe un efecto de la fitohormona y que esto podría considerarse de interés agronómico y en tal sentido los nuevos pasos a seguir a partir de este trabajo, nos llevarían a modificar y mejorar las condiciones de aplicación del principio activo en condiciones no controladas de trabajo.

## CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo indican que la reversión del efecto tóxico del NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o de su mezcla isosmótica en *Zea mays* L, se deberían al menos en parte a la aplicación exógena de ácido abscísico (ABA) en concentraciones fisiológicamente activas. De acuerdo al modelo experimental propuesto para nuestros ensayos de crecimiento, el tratamiento exógeno con ácido abscísico (ABA) en maíz resultaría en una mayor producción de materia seca (PS), tanto aérea como radical y un mejor estado hídrico general de la planta, lo que provocaría un mayor crecimiento durante los primeros estadios del cultivo en condiciones edáficas adversas y una ventaja a nivel de la producción de granos o materia seca en tales condiciones.

Por otro lado, la aplicación del regulador hormonal en ausencia de estrés, no estimuló un aumento del peso fresco aéreo o fue muy leve; a nivel radical, en plantas salinizadas promovió el crecimiento comparado con el control; por lo tanto parecería que, en los tratamientos más deletéreos es en los que hubo mayor respuesta a la aplicación de ABA, para el caso de éste experimento en particular. Esta observación coincide con la bibliografía reciente en relación con que el ABA sería un inhibidor del crecimiento en condiciones normales a través de la regulación de la biosíntesis de giberelinas, pero actuaría como promotor del crecimiento en situaciones de estrés, mediante la inhibición de la producción de etileno.

Si bien los resultados que comprueban nuestra hipótesis fueron obtenidos bajo condiciones controladas, deberían extrapolarse en futuros trabajos a condiciones ambientales menos controladas (invernáculo nuevamente o a campo) ya que no obtuvimos en invernáculo los mismos resultados que en cámara.

Estos avances en el conocimiento de la regulación del crecimiento por ABA abren una perspectiva interesante para su utilización como herramienta tecnológica. Proponemos que en futuros estudios se debería tratar de determinar cual es la dosis de ABA adecuada, el momento y forma de aplicación más apropiada, la concentración de sal a la que es factible obtener respuestas y la posibilidad de aplicar esta tecnología a nivel extensivo, tanto a ambientes con problemas de salinidad como a otros tipos de estrés (hídrico, altas y bajas temperaturas).

A partir de éste trabajo planteamos una nueva hipótesis para futuros equipos de investigación: “La aplicación exógena de ácido abscísico (ABA) en dosis activas, permite mantener la producción de granos tanto en maíz como en otros cultivos, en suelos salinos con NaCl y/o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que superan el umbral de tolerancia de los cultivos y por lo tanto disminuyen el rinde”

## Bibliografía

- ASHRAF, M. 1993. **Effect of sodium chloride on water relations and some organic osmotica in arid zone plant species *Melilotus indica* (L.)** All. Tropenlandwirt, 94. pág. 95-102.
- BIE, Z., T. ITO, Y Y. SHINOHARA. 2004. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. **Scientia Horticulturae** 99: 215-224.
- BOLSA DE COMERCIO DE ROSARIO. 2009. Cultivo de maíz en nuestro país. En: [http://www.bcr.com.ar/Publicaciones/Newsletters/Cereales/castellano/cereales%202009\\_08\\_7\\_9.pdf](http://www.bcr.com.ar/Publicaciones/Newsletters/Cereales/castellano/cereales%202009_08_7_9.pdf). Consultado: 31/07/2009.
- BRAY, E. A. June 2002. **Annals of Botany. Water Stress**. 89(7):803-811
- BRAY, E.A.2002. **Plant, Cell & Environment**, Blackwell Synergy **9**: 153–161
- CANTERO, J.J, A. CANTERO y J.M CISNEROS.1996. En: **La vegetación de los paisajes hidrohalomórficos del centro de Argentina**. U.N.R.C .Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- CARVAJAL, M.; V., MARTÍNEZ y C.F., ALCARAZ.1999. **Physiological function of water channels as affected by salinity in roots of paprika pepper**. Physiologia Plantarum, 105: 95-101.
- CHEN K, J. LI, J. TANG, FG. ZHAO, X. LIU.2006. **Involvement of nitric oxide in regulation of salt stress-induced ABA accumulation in maize seedling**. Journal of plant physiology and molecular biology (5):577-582.
- CISNEROS J.M., J.J. CANTERO Y A CANTERO GUTIÉRREZ. 1997. **Revista UNRC**. 17 (1): 23-35.
- CISNEROS, JM. J.J CANTERO, Y A. CANTERO GUTIÉRREZ. 1999. Vegetation soil hydrophysical propeties, and grazing relationships in saline-sodic soil of Central Argentina. **Canadian Journal of Soil Science** 1-11.
- DE COSTA W.; C., ZÖRB.; W., HARTUNG AND S., SCHUBERT. 2007. **Salt resistance is determined by osmotic adjustment and abscisic acid in newly developed maize hybrids in the first phase of salt stress**. Physiologia Plantarum 131: 311–321.
- EGAN, T. y I, UNGAR. 1998. **Journal of Plant Nutrition** 21(10): 2193-2205.
- EUITA. 2008. Fitorreguladores. En: [www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema\\_14](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_14). Consultado: 10/06/2009.

- FERTILIZANDO. 2009. Características morfofisiológicas del maíz. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. En: [www.fertilizando.com/articulos/Criterios-Manejo-Fertilizacion-Cultivo-Maiz.pdf](http://www.fertilizando.com/articulos/Criterios-Manejo-Fertilizacion-Cultivo-Maiz.pdf). Consultado: 13/12/2009.
- FISCHER, R.A. y N.C., TURNER. 1978. **Plant productivity in the arid and semiarid zones.** *Annual Review of Plant Physiology*, 29: 277-317.
- GADALLAH M.1996. **Abscisic acid, temperature and salinity interactions on growth and some mineral elements in Carthamus plants.** *Plant Growth Regulator* 20:225-236.
- GRATTAN and GRIEVE, 1999. **En Handbook of Plant and Crop Stress.** Cap 9. Ed.Mohammad Pessaraki.New York. EE.UU. pp: 203-229
- GRATTAN, S.R. and C.M., GRIEVE. 1999. **Salinity - Mineral nutrient relations in horticultural crops.** *Sci. Hort.* 78:127-157.
- GRATTAN, S.R. y C.M., GRIEVE. 1994. **Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments.** En: *Handbook of Plant and Crop Stress* . Ed Mohammad Pessaraki, Marcel Dekker, Inc. New York, EE.UU. pp. 203-226.
- GREENWAY H., and R., MUNNS. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 31: 149-190.
- HARTUNG, W. y WJ.,DAVIS. 1991. **Drought-induced changes in physiology and ABA.** In: Davis WJ, Jones HG. , editors; Davis WJ, Jones HG. , editors. *Abscisic Acid: Physiology and Biochemistry.* Oxford, UK: BIOS Scientific Publishers. pp. 63–79.
- HARTUNG, W.; A., SAUTER., y E., HOSE. 2002. **Abscisic acid in the xylem: where does it comes from, where does it goes to?** *Journal of Experimental Botany*, 53: 27-32.
- HASEGAWA, P.M.; R.A., BRESSAN; J.K., ZHU y H.J., BOHNERT. 2000. **Plant cellular and molecular responses to high salinity.** *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 463-499.
- HOAGLAND, D.R. and D.I. ARNON. 1950. **The water-culture method for growing plants withoutsoil.** *California Agricultural Experiment Station Circular* 347:1-32.
- ISTA. 2007. *International Rules for Seed Testing.* The International Seed Testing Association. USA.
- JIMÉNEZ-BREMONT, J.; O., RUIZ AND M., RODRÍGUEZ-KESSLER. 2007. **Modulation of spermidine and spermine levels in maize seedlings subjected to long-term salt stress.** *Plant Physiology and Biochemistry* 45 (2007) 812-821.
- LEFEBVRE. V, H. NORTH., A. FREY, B. SOTTA, M. SEO, M. OKAMOTO, E. NAMBARA, Y A. MARION-POLL. 2006. **Functional analysis of Arabidopsis NCED6 and**

**NCED9 genes indicates that ABA synthesized in the endosperm is involved in the induction of seed dormancy.** *The Plant Journal* 45, 309–319.

LEIDI E. O. y J. M. PARDO. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino: qué hay de nuevo. **Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias, Secretaría de Investigaciones, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, N° II;** En: [www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev2/5.htm](http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev2/5.htm). Consultado: 05/04/2008.

LEIDI, E.O. y J.F. SAIZ. 1997. **Is salinity tolerance related to Na accumulation in Upland cotton (*Gossypium hirsutum*) seedlings?** *Plant and Soil*, 190: 67-75.

LÉPORE L. 2008. **Respuesta del cultivo de soja (*Glycine max* L.) a la salinidad mediada por la aplicación exógena de ácido abscísico (ABA).** Tesis de Trabajo final para optar al grado académico de Ingeniero Agrónomo. Facultad de agronomía y veterinaria., UNRC, Río Cuarto, Argentina, pp: 28.

LIU F., CR. JENSEN, MN. ANDERSEN. 2005. **A review of drought adaptation in crop plants: changes in vegetative and reproductive physiology induced by ABA-based chemical signals.** *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1245–1252.

LONE M. 1988. Ionic relations of barley embryos response to equisomolar salts. *Managing Soil Resources. Proceedings of First National Congress of Soil Science.*

LONGSTRETH, D.J. y P.S. NOBEL. 1979. **Salinity effects on leaf anatomy. Consequences for photosynthesis.** *Plant Physiology*, 63: 700-703.

Monografías. 2005. Origen e historia del cultivo de maíz. En: <http://www.monografias.com/trabajos/elmaiz/elmaiz.shtml?monosearch>. Consultado: 15/11/2005.

MUNNS, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. ***New Phytologist*. 167:** 645-663. .

QFB. 2005. Origen e historia del cultivo de maíz. En: <http://www.qfb.umich.mx/origmaiz.htm>. Consultado: 15/11/2005.

RADEMACHER M. 1989. Gibberellins: metabolic pathways and inhibitors of biosynthesis. **En B Sandman, Ed, Target Sites of Herbicide Action. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL,** pp 127-145.

RADEMACHER M. 1989. **Gibberellins: metabolic pathways and inhibitors of biosynthesis.** In B.

RAMADÚ M. 2008. **Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a salinidad mediada por la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR).** Tesis

de Trabajo final para optar al grado académico de Ingeniero Agrónomo. Facultad de agronomía y veterinaria., UNRC, Río Cuarto, Argentina, pp:41

RAMOS, J.; M.J. LOPEZ Y M. BENLLOCH. 2004. **Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte *Atriplex nummularia***. Plant and Soil 259, 163–168. .

REGINATO, M.; L. SOSA; N. VETTORAZZI; A. LLANES, Y V. LUNA. 2004. Variación del contenido de iones en plántulas de *Prosopis strombulifera* cultivadas en soluciones isosmóticas de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaCl. **Actas de la XXV Reunión Argentina de Fisiología Vegetal**. Pág. 288. La Pampa. Argentina.

REGINATO, M.; L. SOSA; N. VETTORAZZI; A. LLANES; E. HAMPP; N. VETTORAZZI; H. REINOSO Y V. LUNA. 2007. Differential growth, pigment content and ion accumulation in the halophytic legume *Prosopis strombulifera* treated with NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and their mixture. **Annals of botany**. enviado.

REINOSO, H., L. SOSA, L. RAMÍREZ y V. LUNA. 2004. Salt-induced changes in the vegetative anatomy of *Prosopis strombulifera* (Leguminosae). **Canadian Journal of Botany**. 82: 618-628.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A. y A.M. MASHALI. 1992. **The use of saline waters for crop production**. FAO Irrigation and Drainage paper 48.

RITCHIE and HANDWAY 1997. **How a corn plant develops**. Iowa state university of science and technology, ames, Iowa 1 pág.

SAGPYA.2009. Cultivo de maíz en nuestro país. En: [www.minagri.gov.ar/estimaciones-y-estadisticas/usda/maiz](http://www.minagri.gov.ar/estimaciones-y-estadisticas/usda/maiz). Consultado: 10/06/2009.

SANSBERRO P. 2004. Foliar sprays with ABA promote growth of *Ilex paraguariensis* by alleviating diurnal water stress. **Plant Growth Regul.** 42: 105-111.

SHANNON M.C., GRIEVE C. 1999. **Effect of salinity and oxygen level on lettuce grown in a floating system**. Scientia Horticulturae 78: 5-38.

SHANNON, M.C. 1997. **Adaptation of plants to salinity**. Advances in Agronomy, 60: 75-120.

SHI D. y Y. SHENG B. 2005. Effect of various salt–alkaline mixed stress conditions on sunflower seedlings and analysis of their stress factors. **Environmental and Experimental Botany** 54: 8–21.

SOMASEGARAN, P. y H.J. HOBEN. 1994 **Handbook for Rhizobia : Methods in Legume-Rhizobium Technology**. Springer Verlag. New York.

- SOSA L., A LLANES; M. REGINATO, H. REINOSO, V. LUNA. 2005. "Osmotic and Specific Ion Effects on the Germination of *Prosopis strombulifera* (Lam.) Benth". **Annals of Botany** 96 (2): 261-297.
- TRAVAGLIA, C.; A. COHEN, H. REINOSO, C. CASTILLO, Y R. BOTTÍN. 2007. Exogenous abscisic acid increases carbohydrate accumulation and Redistribution to the Grains in Wheat Grown Under Field Conditions of soil Water Restriction. **J Plant Growth Regul.** DOI
- VICENTE CARBAJOSA, J. Y P. CARBONERO. 2005. Seed maturation: developing an intrusive phase to accomplish a quiescent state. **Int. J. Dev. Biol.** **49**: 645-651.
- WIKIPEDIA. 2009. Características morfofisiológicas del maíz. *Zea Mays*. EN: [http://es.wikipedia.org/wiki/Zea\\_mays](http://es.wikipedia.org/wiki/Zea_mays). Consultado: 13/12/2009.
- WYN JONES, R.G. y J. GORHAM. 1983b .**Osmoregulation**. En: **Encyclopedia of Plant Physiology, vol. 12C**. Physiological Plant Ecology III (O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, H. Ziegler, eds) Springer-Verlag, Berlin, pp. 35-58.
- XIE Z. 2003. Relationships of endogenous plant hormones to accumulation of grain protein and starch in winter wheat under different post-anthesis soil water statuses .**Plant Growth Regul.** 41: 117-127.
- ZHANG, J.; W JIA, Y JIANCHANG y A. ISMAIL. 2006. Role of ABA integrating plant responses to drought and salt stresses. **Field Crops Research** 97, 111-119.