



***Universidad Nacional de Santiago del Estero – UNSE.***



***Facultad de Ciencias Forestales – FCF.***

***Tolerancia al estrés salino del vinal (*Prosopis ruscifolia*):  
germinación, crecimiento y ajuste osmótico.***

Trabajo Final presentado como parte de las exigencias para la obtención del título de Grado en la carrera de Ingeniería Forestal, de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

**Autor: GONZÁLEZ, DAMIÁN PABLO.**

**Año: 2007**

***Tolerancia al estrés salino del vinal (Prosopis ruscifolia):  
germinación, crecimiento y ajuste osmótico.***

Trabajo Final presentado como parte de las exigencias para la obtención del título de Grado en la carrera de Ingeniería Forestal, de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

**Director**

MSC. DIEGO A. MELONI

**Tribunal Examinador**

\_\_\_\_\_  
ING. FTAL. MARTA R. GULOTTA  
PROFESORA

\_\_\_\_\_  
DR. CARLOS R. LÓPEZ  
PROFESOR

\_\_\_\_\_  
MSC. DIEGO A. MELONI  
PROFESOR

Lugar y Fecha de aprobación:.....

## **DEDICATORIA.**

Este trabajo es dedicado a mis padres Oscar y Ana por darme la oportunidad de estudiar la carrera que elegí y sobre todo por el esfuerzo y la confianza invaluable en todos estos años, sin los cuales no habría llegado a cumplir esta meta en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A mi director Diego Meloni por la orientación, opiniones y sugerencias brindadas siempre tan oportunamente para la realización de este trabajo.

A las profesoras de la cátedra de Estadística, Marta Pece y Marcia Acosta por su valiosa cooperación a la hora de los análisis de los datos.

A los profesores Sandra Bravo, Nelly Abdala, Susana Saavedra y Pedro Boletta por su apoyo y optimismo.

A Elba Bravo por su valorada ayuda y predisposición en la etapa de ensayo del trabajo.

A mi novia Alexia Lindow por ayudarme a superar momentos difíciles y por su paciencia y apoyo incondicional, siempre motivador.

A mis amigos de la juventud y a los que me brindó esta provincia por su afecto, sus presencias y vivencias.

## ÍNDICE

<b>1 - INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>1.1 - Hipótesis.</b>	<b>3</b>
<b>1.2 - Objetivos.</b>	<b>4</b>
<b>2 - MATERIALES Y MÉTODOS.</b>	<b>5</b>
<b>2.1 - Características ambientales generales.</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1- Características ambientales de la provincia de Santiago del Estero.</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.1- Clima.</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.2 - Régimen Térmico.</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.3 - Régimen Hídrico.</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1.4 - Geomorfología.</b>	<b>8</b>
<b>2.1.1.5 - Suelos.</b>	<b>8</b>
<b>2.1.1.6 - Vegetación.</b>	<b>9</b>
<b>2.2 - Características generales de la especie.</b>	<b>10</b>
<b>2.3 - Material Vegetal.</b>	<b>12</b>
<b>2.3.1 - Germinación y crecimiento de plántulas.</b>	<b>14</b>
<b>2.3.2 - Relaciones hídricas.</b>	<b>16</b>
<b>2.4 - Diseño experimental y análisis estadístico.</b>	<b>18</b>
<b>3 - RESULTADOS Y DIUSCUSIÓN.</b>	<b>19</b>

<b>3.1 - Efecto del estrés salino sobre la germinación.</b>	<b>19</b>
<b>3.2 - Efecto del estrés salino sobre el crecimiento.</b>	<b>22</b>
<b>3.3 - Relaciones hídricas en plántulas de vinal crecidas en diferentes concentraciones salinas.</b>	<b>24</b>
<b>4 - CONCLUSIONES.</b>	<b>29</b>
<b>5 - BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>30</b>

## 1 - INTRODUCCIÓN

Las superficies con suelos salinos se incrementan significativamente a nivel mundial debido a la actividad antrópica, al ampliar las zonas de regadío (Leidi y Prado, 2002). Este avance desmesurado de la cantidad de nuevas tierras que son afectadas por las sales, restringe la producción vegetal (Evert *et al.*, 2002).

La salinidad afecta principalmente regiones con climas áridos y semiáridos, debido a que la precipitación es escasa y limita la lixiviación y el transporte de los iones hacia capas inferiores del perfil del suelo; y a que la elevada evapotranspiración que se produce concentra las sales en la superficie.

Las prácticas de riego inadecuadas contribuyen a la salinización de los suelos. Así, el uso de aguas con alta conductividad eléctrica, sistemas de riego ineficientes o sistemas de distribución defectuosos pueden ocasionar la acumulación de sales en la superficie. El ascenso de las napas freáticas, debido al riego excesivo puede acelerar el proceso de salinización (Munns, 2002; Leidi y Prado, 2002).

Uno de los agentes salinizadores de mayor relevancia es el NaCl, por ser la componente principal que se encuentra en suelos salinos (Fan *et al.*, 1993).

La tolerancia de las plantas a la salinidad puede variar en las diversas fases de su ciclo de vida, siendo las más sensibles las de germinación y crecimiento de las plántulas (Solbrig y Cantino, 1975; Rathcke y Lacey, 1985; Sosebee y Wan, 1987), las cuales a su vez son influenciadas por el tipo y concentración de sales presentes en la solución del suelo (Ryan *et al.*, 1975). Pese a que el comportamiento durante la germinación y el estadio de plántula no necesariamente se correlacionan con el crecimiento de la planta adulta, la mayoría de las investigaciones se realizan en estas etapas tempranas, ya que determinan su implantación. Por otra parte dichas plántulas no han desarrollado aun su sistema radicular que les permita explorar horizontes más profundos donde la concentración de sales es menor.

En las plantas halófitas, es decir aquellas plantas adaptadas para crecer en lugares salinos, la germinación se realiza principalmente durante el período de lluvias, cuando la concentración salina en los suelos es menor (El-Keblawy, 2004).

El estrés salino puede inhibir el crecimiento debido a que afecta procesos fisiológicamente importantes tales como la fotosíntesis, transpiración y extensión celular (Meloni *et al.*, 2001). También puede producir modificaciones en la relación parte aérea/raíz y limitación de la expansión foliar, hasta la pérdida de la estructura celular por desorganización de membranas e inhibición de la estructura enzimática (Leidi y Prado, 2002). Estos efectos son el producto combinado de las siguientes componentes:

- El desbalance nutricional, que se produce cuando al concentrarse el  $\text{Na}^+$  en el suelo, inhibe la absorción de otros iones importantes para la planta como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  (Lynch y Läuchli, 1985). O bien cuando ese catión  $\text{Na}^+$  desplaza el de  $\text{Ca}^{2+}$  ligado a las membranas celulares alterando su estructura y funciones (Cramer *et al.*, 1985).

- La toxicidad de los iones, fundamentalmente el de  $\text{Na}^+$  que interfiere en la estructura de ciertas enzimas, al igual que en sus funciones, y las del  $\text{K}^+$  como cofactor en varias reacciones (Kurth *et al.*, 1986).

- El efecto osmótico que se debe al bajo potencial hídrico que producen las sales en la solución del suelo. Esto limita la disponibilidad de agua, ocasionando una disminución en el potencial de turgencia de las células (Heimler *et al.*, 1995). Este fenómeno induce un cierre estomático aumentando la resistencia a la difusión del  $\text{CO}_2$ , y como consecuencia una disminución en la tasa fotosintética (Brugnoli y Lauteri, 1991). A su vez produce disminución en la tasa respiratoria limitando la difusión del vapor de agua, lo que aumenta la eficiencia en el uso de ésta (Lakshmi *et al.*, 1996).

Para contrarrestar este efecto osmótico ciertas plantas suelen desarrollar mecanismos que conducen a la disminución en el potencial hídrico celular, de modo que se restablezca el gradiente de potencial entre el medio y la planta, posibilitando así la absorción de agua. Este mecanismo de tolerancia se llama ajuste osmótico y puede efectuarse mediante la acumulación de iones en el interior de las células. Por ejemplo, el ion  $\text{Na}^+$  puede compartimentalizarse en vacuolas, al mismo tiempo que libera al citosol del exceso (Leidi y Prado, 2002). La reducción en la concentración de  $\text{Na}^+$  citosólico, puede conseguirse también



mediante la extrusión al medio extracelular, aunque como cita Yeo, (1998) esta estrategia podría constituir a largo plazo un serio problema en las células de algunos tejidos, como en las hojas, ya que la acumulación extracelular de  $\text{Na}^+$  podría ser aun más nociva que su inclusión, al generar un déficit hídrico extremo.

Otra manera de realizar el ajuste osmótico es mediante la síntesis de solutos osmocompatibles. Estas sustancias producidas por las plantas son carbohidratos, ácidos orgánicos, aminoácidos y glicinabetaina entre otros (Girija *et al.*, 2002). Estos compuestos orgánicos con actividad osmótica, se consideran solutos compatibles porque no interfieren en el metabolismo celular (Kuznetsov y Shevyakova 1997) generan el potencial hídrico necesario para permitir la absorción de agua.

El vinal (*Prosopis ruscifolia*) es una especie nativa del Chaco Occidental (Cabrera, 1976), muy apreciada por sus múltiples aplicaciones en áreas rurales. Pese a que es considerada una especie tolerante a la salinidad, no existen referencias acerca de los umbrales críticos para la germinación, el crecimiento, ni los mecanismos involucrados.

### **1.1 - Hipótesis.**

Se propusieron las siguientes hipótesis de trabajo:

- El estrés salino afecta en mayor grado al crecimiento de plántulas que a la germinación.
- En ambos procesos el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  es más tóxico que el  $\text{NaCl}$ .
- La velocidad del proceso de germinación es afectada en mayor magnitud que el poder germinativo.
- Las plántulas de vinal se ajustan osmóticamente mediante la síntesis de solutos osmocompatibles.

## **1.2 - Objetivos.**

- Determinar los umbrales críticos de salinidad para la germinación y crecimiento de plántulas de vinal.
- Diferenciar los efectos de la toxicidad de los iones del efecto osmótico.
- Evaluar la contribución del ajuste osmótico a la tolerancia de las plántulas al estrés salino.

## 2 - MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1 - Características ambientales generales.

El área de recolección de las semillas se encuentra dentro de la región fitogeográfica del Parque Chaqueño, específicamente en el Chaco Semiárido. Dicha sub-región abarca la parte oeste de Formosa y Chaco, casi toda la provincia de Santiago del Estero, Este de Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca, La Rioja y una franja de la provincia de Córdoba (Figura 1).

El Chaco Semiárido representa aproximadamente un 40 % del Chaco Argentino y es el de mayor extensión longitudinal y latitudinal, debido a esto hay dos importantes gradientes climáticos: en sentido Este-Oeste disminuyen las precipitaciones y en sentido Norte-Sur, la temperatura. (Red Agroforestal Chaco, 1999).

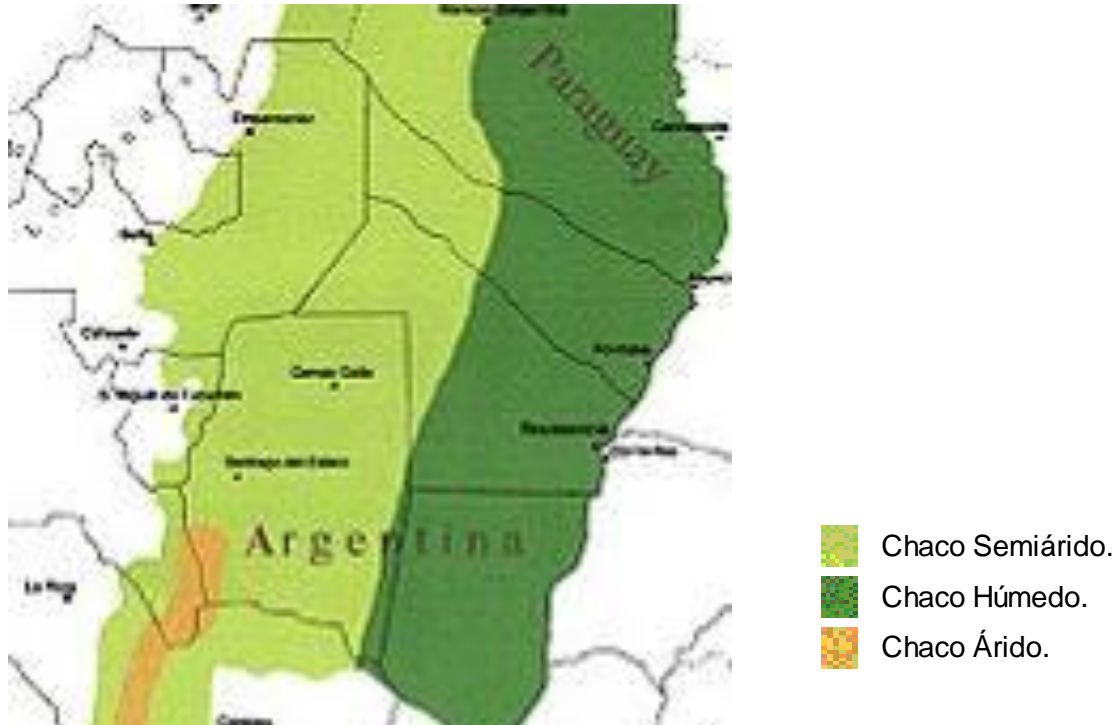


Figura 1. Localización Geográfica del Parque Chaqueño  
Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2005.

## **2.1.1- Características ambientales de la provincia de Santiago del Estero.**

### **2.1.1.1- Clima.**

El clima es subtropical de tipo continental debido a la importante amplitud térmica anual y a la escasa influencia de los vientos del Océano Atlántico (Saavedra, 2004).

Según Ledesma (1973), la uniformidad del clima de la región se debe a la característica plana del relieve, que permite la libre circulación de los vientos. Los vientos que predominan son del sector Norte y Sur. En la última parte del invierno y primera parte de la primavera, los vientos dominantes son del sector Norte y se caracterizan por ser cálidos y secos, produciendo un gran efecto evaporante que eleva la sequedad del ambiente (Boletta *et al.*, 1989).

### **2.1.1.2 - Régimen Térmico.**

El régimen térmico tiende a fomentar las condiciones de semiaridez debido principalmente a las escasas precipitaciones.

Las temperaturas medias máximas en verano y mínimas absolutas en invierno alcanzan los 45°C y -10°C respectivamente. Si bien las mínimas absolutas disminuyen varios grados centígrados bajo cero, la región posee un período medio libre de heladas de más de 300 días.

El rápido ascenso de la temperatura durante la primavera, combinado con la acción del viento y el déficit de saturación del aire, disminuye la disponibilidad del agua en el suelo (Ledesma y Medina, 1969).

### 2.1.1.3 - Régimen Hídrico.

Posee clima subhúmedo seco en el Centroeste y Sudeste y semiárido en el resto de la provincia (Boletta *et al.*, 1989).

Las precipitaciones anuales oscilan entre 750 mm en la parte Este hasta 500 mm en el sector Oeste de la provincia (Figura 2).

#### SANTIAGO DEL ESTERO-FCEYT(UNSE)-INTA PROMEDIO DE PRECIPITACION HISTORICO ANUAL

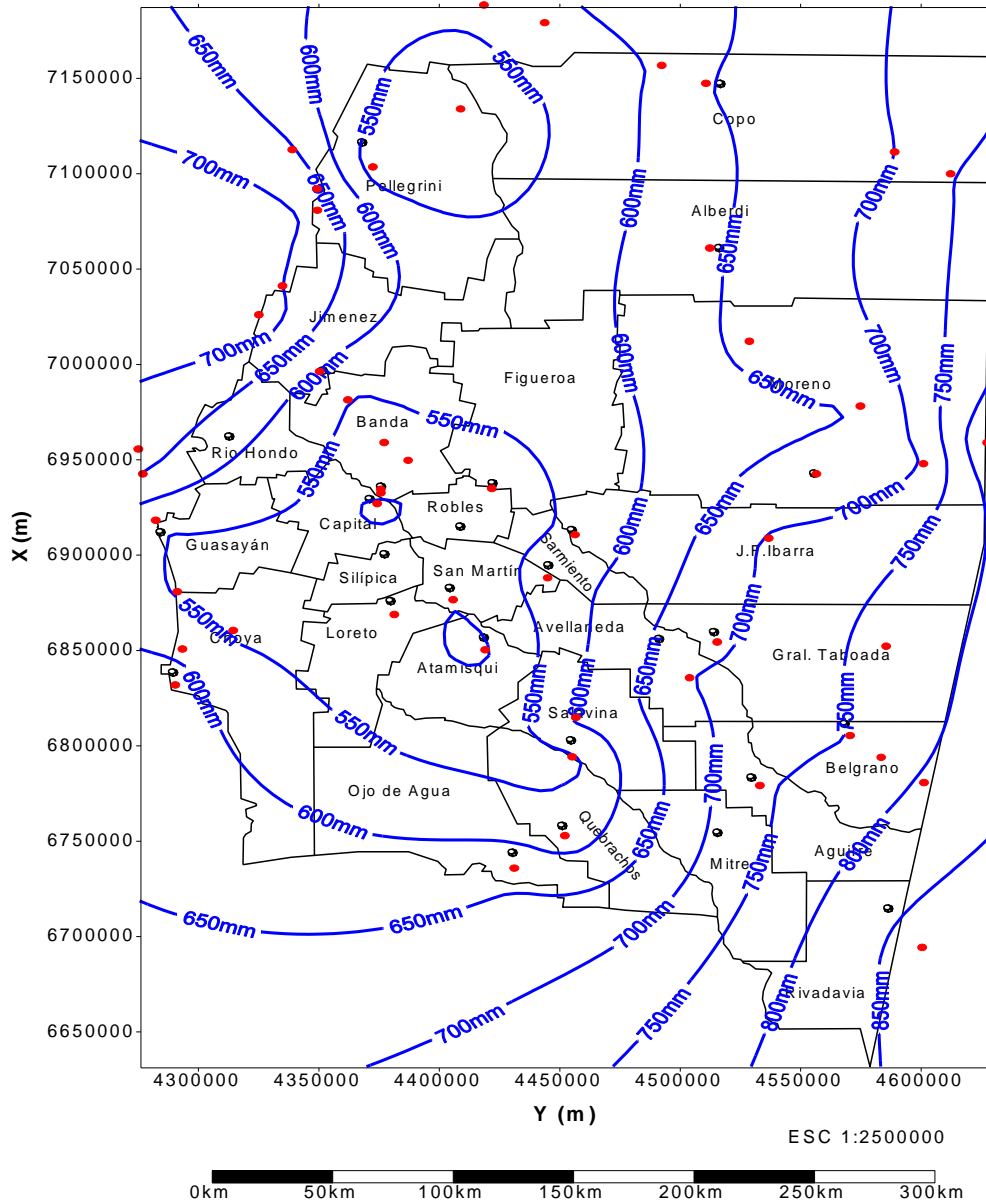


Figura 2. Promedio de precipitación histórico. Anual.  
Fuente: Galván (2002). Adaptado de Saavedra (2004)

El régimen pluviométrico es de tipo Monzónico concentrándose las precipitaciones en la estación estival, mientras que el invierno y la primavera se caracterizan por ser estaciones secas. Esto se debe a los vientos dominantes, y al hecho de ser la región una llanura, que permite el libre movimiento de las masas de aire, dando lugar a los frentes, que originan las precipitaciones denominadas frontales. (Saavedra, 2004).

El balance hídrico climático alcanza valores negativos en todos los meses del año en la mayor parte de la provincia de Santiago del Estero (Ledesma y Boletta, 1972). La evapotranspiración potencial varía entre 1100 mm y 1200 mm (Boletta *et al.*, 1989).

#### **2.1.1.4 - Geomorfología.**

Santiago del Estero pertenece a la cuenca endorreica de Mar Chiquita. Comprende la depresión del Río Dulce, con una amplitud de 80 a 90 Kilómetros de ancho. En época de crecientes el río Dulce desborda dando origen a un sistema de bañados, lagunas y arroyos.

La napa freática se encuentra muy cerca de la superficie durante los meses de febrero y abril, el nivel mínimo se registra a fines de octubre cuando culmina la época seca, habiendo una diferencia entre profundidades máximas y mínimas de 1,20 m a 1,5 m (Red Agroforestal Chaco, 1999).

#### **2.1.1.5 - Suelos.**

La región esta formada por la acumulación irregular y discontinua de sedimentos loésicos sobre materiales aluviales finos. Los suelos son en general deposiciones del terciario o cuaternario mezclados con cenizas volcánicas o material eólico. La capa principal es de loess profunda, con un desarrollo

pedológico exiguo debido a las escasas precipitaciones que ocurren. Por ello la vegetación que se encuentra presente en el suelo juega un papel elemental, afectando la fertilidad del mismo cuando el bosque es eliminado (Vargas Gil, 1990).

Los suelos aluviales, frecuentemente salinizados son de textura media, como también con alto contenido de yeso y alcalino sódicos.

Las características generales son: perfil poco diferenciado, textura franca, franco-arenosa y limosa. Son suelos mal drenados e inundables; pobres en materia orgánica, con desbalances nutricionales y con peligro de erosión. Los suelos del extremo sur de la provincia de Santiago del Estero son más secos y susceptibles a la erosión hídrica (Red Agroforestal Chaco 1999).

#### **2.1.1.6 - Vegetación.**

La vegetación esta formada principalmente por especies de madera dura localizada fundamentalmente en tres estratos. El estrato superior, hasta 20 metros de altura, está formado exclusivamente por quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*). El piso intermedio del estrato arbóreo está constituido por ejemplares menos desarrollados de las dos especies anteriores, junto con algarrobo negro (*Prosopis nigra*), algarrobo blanco (*Prosopis alba*), mistol (*Zyziphus mistol*). En este estrato muestran menor frecuencia los ejemplares de brea (*Cercidium australe*), guayacán (*Caesalpinia paraguariensis*) y chañar (*Geoffroea decorticans*). El estrato inferior es muy denso y está formado por arbustos que pueden alcanzar alturas de hasta 6 metros. En este estrato son comunes las especies del género *Acacia* como los garabatos, además de ejemplares de tala (*Celtis pallida*), piquillín (*Condalia microphilla*) y molle (*Schinus sp*) entre otras, (Brassiolo, 2005). En los lugares ecológicamente más desfavorables, por tener elevada concentración de sales o bien por estar relacionados a los derrames de ríos y a llanuras pantanosas, se

encuentran principalmente vinales (*Prosopis ruscifolia*), aunque también pueden aparecer otras especies arbóreas del género *Prosopis* como ser el *P. vinalillo* y *P. pugionata* (Giménez *et al.*, 2006).

## 2.2 - Características generales de la especie.

*Prosopis ruscifolia*, cuyo nombre vulgar es vinal, viñal o visnal, es una especie del género *Prosopis* perteneciente a la familia Leguminosas-Mimosoideas.

Se distribuye en la Región del Gran Chaco, Bolivia, Paraguay y centro Norte de Argentina. Sobre su rol ecológico se destaca por ser una de las leñosas arbóreas que prospera en suelos arenosos, áridos y resiste tanto a la sequía como a la salinidad, desarrollando un sistema radicular extremadamente profundo.

Su fuste es corto de no más de 3 metros (figura 3-A), tortuoso y presenta la corteza fisurada longitudinalmente de color pardo grisáceo y consistencia fibrosa.

Las hojas son alternas, compuestas, bipinadas, uniyugas y el borde del limbo con 2-4 pares de folíolos opuestos, coriáceos (figura 3-B).



Figura 3-A Porte del vinal (*Prosopis ruscifolia*).



Figura 3-B Hojas e inflorescencia de vinal.





Figura 4-A Espinas características de vinal.



Figura 4-B Semillas de vinal.

La madera posee peso específico  $0.8 \text{ Kg/dm}^3$  y es dura y pesada. El color de la albura es blanco amarillenta y el duramen castaño amarillento que se oscurece con la exposición al aire (Giménez y Moglia, 2003).

Florece entre septiembre y noviembre y fructifica entre noviembre y febrero.

No es un árbol longevo, rebrota bien de la cepa al ser cortado y quemado. La característica más notoria es la presencia de grandes espinas uninodales de longitudes de hasta 30 cm (figura 4-A). Es colonizador por excelencia de los ambientes inestables originados por la acción fluvial y puede vivir en ambientes sometidos a inundaciones (Giménez y Moglia, 2003).

Los renovales tienen gran capacidad para constituir rápidamente montes compactos, pudiendo formar masas puras, con densidades de más de 2.000 plantas/ha. Es una especie sumamente agresiva y pionera y es reconocida equivocadamente como "Plaga Nacional", desde 1941. Su fruto es una legumbre con mediana concentración de azúcar y muy apetecible por el ganado que ejerce una acción diseminante al esparcir las semillas a largas distancias. Las semillas también se pueden diseminar por inundaciones (figura 4-B).

Presenta múltiples usos entre ellos se puede mencionar el de las flores que son utilizadas por las abejas y sus hojas como infusión que son empleadas para curas oftálmicas. Los frutos, que hervidos son comestibles, sirven para la

preparación de harina, panes y fermentados para elaborar chicha. Conocido el rápido crecimiento y la superficie cubierta, su madera constituye una excelente alternativa para cubrir necesidades energéticas (1 ha de *P. ruscifolia* rinde 100 a 150 toneladas de leña y madera) como así también para la elaboración de postes.

### **2.3- Material Vegetal.**

Las semillas fueron recolectadas en el mes de febrero del 2006 en la localidad de Maco, Santiago del Estero situada a 27°51'20" Latitud S y 64°13'27" longitud W (Figura 5 y 6), donde se presentan suelos con una conductividad eléctrica media de 5,128 ds/m. y un pH medio de 9.

Se tomaron las vainas de 22 árboles para que sea representativa de la población y se realizó una mezcla con las mismas. Posteriormente fueron separadas las semillas de sus vainas mediante pinzas, luego llevadas a freezer a -15 °C durante 48 horas para evitar que sean afectadas por insectos y finalmente almacenadas en heladera a 10 °C hasta su utilización.

Las semillas se seleccionaron visualmente por tamaño y aspecto homogéneo, descartando las más pequeñas y dañadas. Para acelerar el proceso de germinación, se realizó escarificación química que consistió en la inmersión en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 98% de pureza durante 10 minutos, lavadas por un tiempo de media hora bajo agua corriente y finalmente enjuagadas 3 veces con agua destilada.

Para la siembra de las semillas se utilizaron toallas de papel de color natural de 22 x 36 cm. que fueron esterilizadas en autoclave a 2 bar de presión y a 120 °C durante 20 minutos.

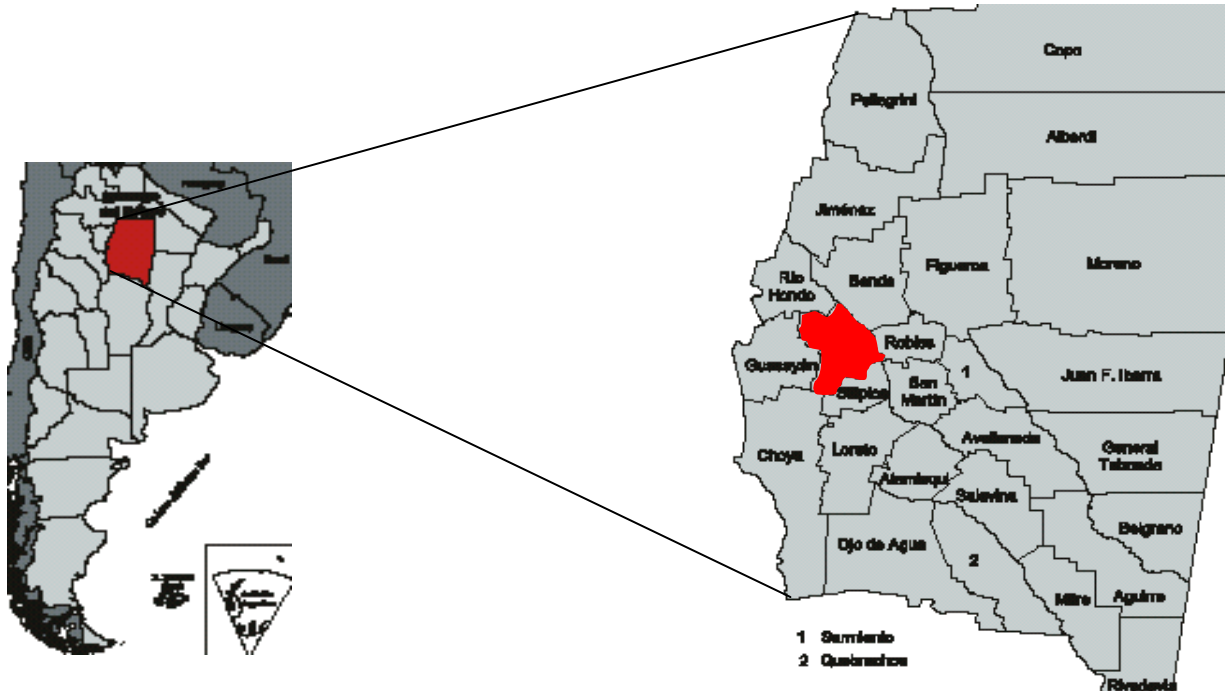


Figura 5. Mapa de la provincia de Santiago del Estero y sus departamentos.  
Fuente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2005.



Figura 6. Imagen Satelital del área de estudio. Maco (Santiago del Estero).  
Fuente: Google earth.

Se incubaron 112 lotes de 25 semillas entre papeles embebidos con 20mL de agua destilada para el control y con 20mL de las soluciones isoosmóticas monosalinas de NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, bisalinas de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y polietilenglicol 6000 (PEG) con potenciales hídricos de 0 (Testigo); -0,4; -0,8; -1,2; -1,5; -1,9 y -2,2 MPa (Tabla 1). La solución bisalina fue obtenida de la mezcla de volúmenes equivalentes de las respectivas soluciones a cada potencial correspondiente.

El PEG es una sustancia de alto peso molecular, osmóticamente activa, que no es absorbida por las raíces, representando por lo tanto una condición de estrés hídrico. Fue utilizado para separar la componente osmótica del estrés salino del efecto específico de los iones.

Las soluciones fueron renovadas pasados los 5 días de haberse iniciado los ensayos para asegurar que los potenciales osmóticos en los tratamientos sean constantes.

Tabla 1. Potenciales hídricos, concentraciones salinas y de PEG en los que se ensayaron la germinación de vinal<sup>1</sup>.

$\Psi_H$ (MPa)	NaCl (mol l <sup>-1</sup> )	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mol l <sup>-1</sup> )	PEG (%p/v)
0	0	0	0
-0,4	0,1	0,088	12
-0,8	0,2	0,178	18
-1,2	0,3	0,266	22
-1,5	0,4	0,333	26
-1,9	0,5	0,400	31
-2,2	0,6	0,480	33

<sup>1</sup> Concentraciones calculadas según Sosa *et al.*, 2005.



Figura 7-A. Posición de las semillas en toallas y forma de guardar las muestras.



Figura 7-B. Muestras dispuestas verticalmente en la cámara de siembra.

Las toallas de germinación se enrollaron y se colocaron dentro de cajas plásticas transparentes (figura 7-A) para minimizar las pérdidas de agua por evaporación y se dispusieron verticalmente en una cámara de crecimiento a 26°C (Figura 7-B). Cada 24 hs se registró el número de semillas germinadas durante un período de 12 días. Se consideraron germinadas aquellas semillas en las que se observó la emergencia de los cotiledones (Figura 8). Al cabo de este período se calculó el porcentaje de germinación y el tiempo medio de germinación (TMG) según la ecuación propuesta por Nichols y Heidecker (1996):

$$\text{TMG} = \sum (f \cdot x_i) / \sum x_i$$

Donde:

$x_i$ : número de nuevas semillas germinadas cada 24 horas.

$f$ : número de días desde que las semillas fueron colocadas a germinar.



Figura 8. Emergencia de los cotiledones de las primeras semillas germinadas.

Concluidos los ensayos se extrajeron 6 plántulas de cada repetición, se separó la raíz de la parte aérea, se llevó el material a estufa a 65°C hasta peso constante y se determinó la biomasa seca. También se midieron longitudes de raíces y tallos.

### 2.3.2 - Relaciones hídricas.

En muestras de 5 plántulas se separaron los cotiledones y se determinó el contenido relativo de agua (CRA.) según la ecuación propuesta por Hall *et al.*, 1999:

$$\text{CRA} = [(\text{PF} - \text{PS}) / (\text{Psat} - \text{PS})] * 100$$

Donde:

PF: Peso fresco

PS: peso del material seco en estufa, a 65°C

Psat: Peso del material saturado de agua destilada

Se cuantificó la contribución de la prolina al ajuste osmótico mediante la técnica de Bates *et al.*, (1973). Para ello, se homogenizó el material vegetal en mortero de porcelana con 5 mL de ácido sulfosalicílico al 3%. Se filtró con papel Whatman N° 1, y se colocaron en tubos de ensayo alícuotas de 1,3 mL de extracto, a las que se le adicionaron 1,3 mL de ninhidrina ácida y 1,3 mL de ácido acético glacial. Se calentaron los tubos en baño de María a 100°C, durante una hora y se enfriaron en baño de hielo. Se leyó absorbancia de los extractos en espectrofotómetro, a 520 nm y se calculó la concentración de prolina, con auxilio de una curva patrón (Figura 9-A). Los resultados fueron expresados como  $\mu\text{mol}$  de prolina.  $\text{g PS}^{-1}$ .

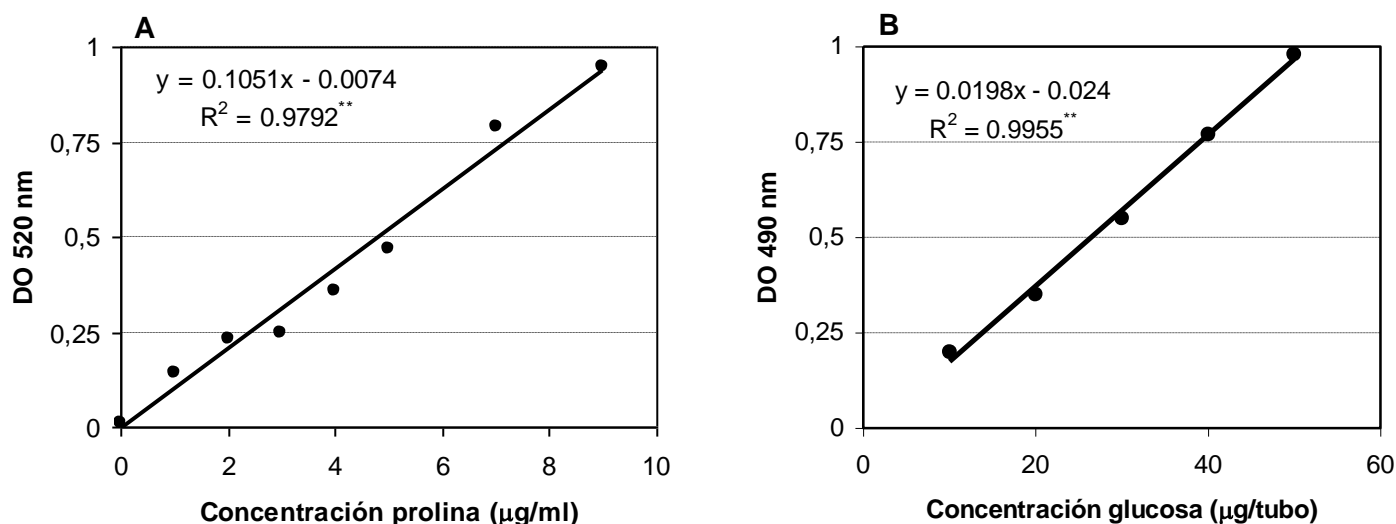


Figura 9. Curva Patrón para determinación de prolina (A), Curva Patrón para determinación de glucosa (B).

También se determinó la contribución de los azúcares solubles totales mediante la técnica de Dubois (1956). Para esto se homogenizó el material vegetal en 15 mL de agua destilada, se filtró con papel Whatman N° 1 y ajustó el volumen a 50 mL en matraz aforado. Posteriormente se colocaron en tubos de ensayo alícuotas de 0,5 mL del extracto y se le adicionaron 0,5 mL de fenol 5% y 2,5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Se hirvió en baño de María durante 20 minutos y se leyó absorbancia en espectrofotómetro a 490 nm. La concentración de



azúcares se calculó con auxilio de una curva patrón de glucosa (Figura 9-B) y se expresó en  $\mu\text{mol}$  de glucosa.  $\text{g PS}^{-1}$ .

#### **2.4 - Diseño experimental y análisis estadístico.**

La aplicación de las soluciones salinas y el agente osmótico (PEG) constituyen ensayos diferentes, cada uno con 7 tratamientos (7 niveles osmóticos, incluido el testigo).

Todos los ensayos se establecieron conforme a un diseño experimental completamente aleatorizado con 4 repeticiones.

El análisis estadístico se realizó mediante métodos paramétricos y no paramétricos. Las pruebas complementarias de diferencias de medias se realizaron mediante test de comparaciones múltiples.

En la etapa de germinación las variables que se analizaron fueron el porcentaje y la velocidad de germinación; en la fase de crecimiento los valores de biomasa aérea y subterránea, la relación longitud raíz y tallo y el contenido relativo de agua. Finalmente para evaluar la contribución del ajuste osmótico se analizaron concentración de prolina y azúcares solubles.



### 3 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 - Efecto del estrés salino sobre la germinación.

La germinación fue inhibida por el estrés. Como puede apreciarse en las Figuras 10 y 11 en todos los casos el porcentaje de germinación fue menos sensible que la velocidad del proceso donde, concordando con los resultados de El-Keblawy (2004), dicha velocidad de germinación se tornó más lenta a medida que se incrementó la concentración de las sales.

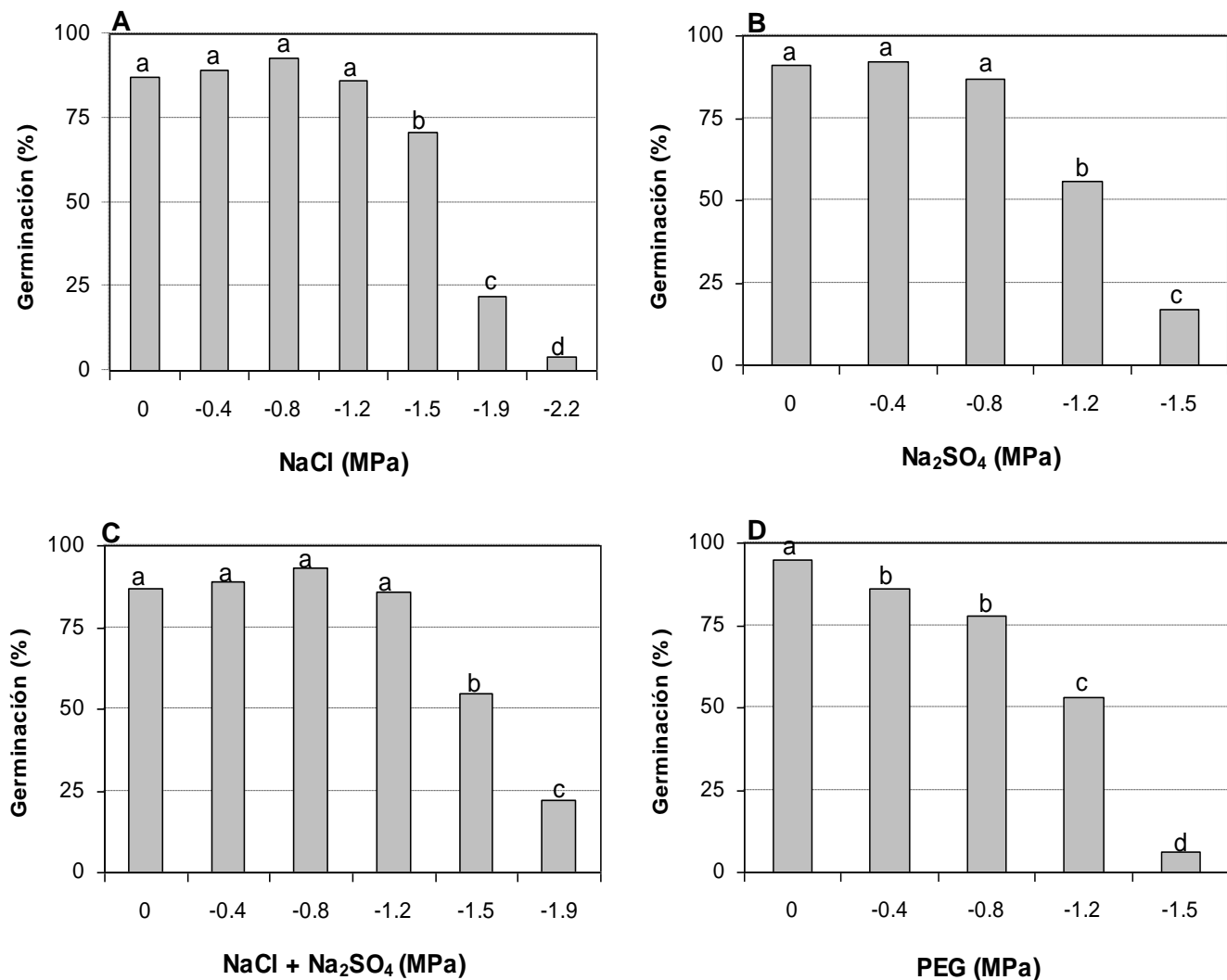


Figura 10: Efectos del NaCl (A), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (B), Mezcla (C) y PEG (D) en la germinación de semillas de vinal. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0,05$ ).

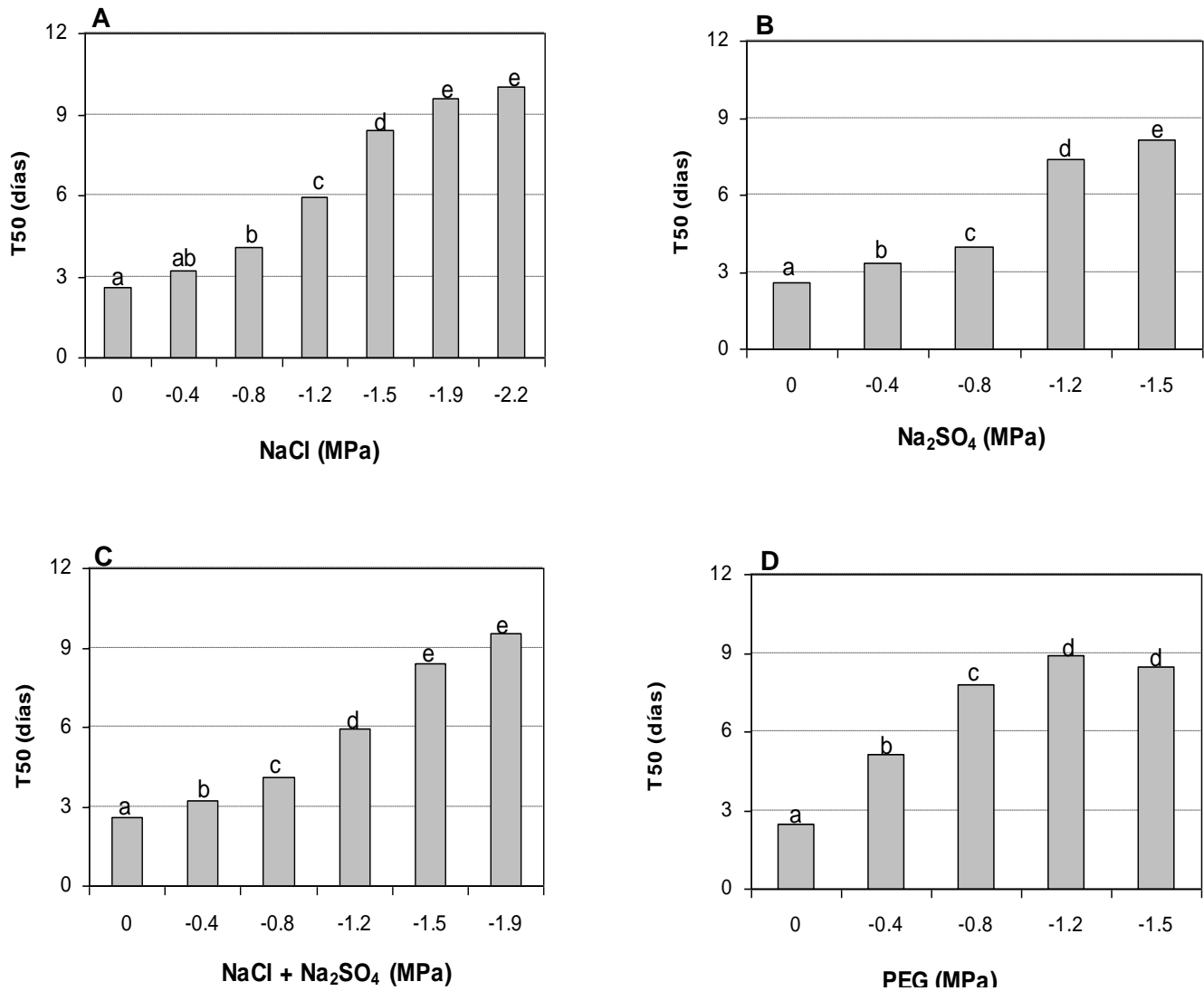


Figura 11: Efectos del NaCl (A), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (B) Mezcla (C) y PEG (D) sobre el tiempo medio de germinación (T50) de semillas de vinal. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0,05$ ).

La Figura 10 muestra que el NaCl y la mezcla fueron menos inhibitorios que el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y polietilenglicol. Mientras estas dos primeras soluciones inhibieron la germinación a partir de potenciales hídricos de -1,5 MPa, el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y el PEG lo hicieron desde -1,2 y -0,4 MPa respectivamente. A pesar que el NaCl y la mezcla afectaron la germinación a igual potencial, el porcentaje de germinación para la solución monosalina fue 16% superior. En soluciones de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y PEG no se registró germinación en potenciales hídricos de -1,9 y -2,2 MPa. y en la combinación de sales en potenciales de -2,2 MPa.

Si bien la concentración de NaCl crítica para la germinación se halla dentro de los rangos de tolerancia observados en otras especies del género *Prosopis*, que es entre  $-1,5$  y  $-1,9$  MPa (Passera, 2000), pueden establecerse algunas diferencias interespecíficas. Las semillas de vinal pudieron germinar incluso en soluciones con potenciales de  $-2,2$  MPa de NaCl, mientras que las de *P. strombulifera*, considerado muy tolerante a la salinidad, fue totalmente inhibida en dichas condiciones (Sosa *et al.*, 2005). Pese a eso, presenta menor tolerancia que otras especies del género, como es el caso del *P. flexuosa*, con valores de 90% y 40% de germinación en semillas incubadas con soluciones de NaCl de  $-1,5$  y  $-2,2$  MPa respectivamente (Catalán *et al.*, 1994) y *P. tamarugo* con medias cercanas al 100% y 85% en dichas condiciones (Arce y Balboa, 1988). Estas últimas dos especies muestran un comportamiento similar a las halófitas extremas de los géneros *Chenopodium*, *Atriplex* y *Suaeda*.

Coincidiendo con otros autores (Pérez y Tambelini, 1995; Sosa *et al.*, 2005) el  $\text{SO}_4^{2-}$  fue considerablemente más inhibitorio que el  $\text{Cl}^-$  en concentraciones isoosmóticas. Como se advierte en la Figura 10, las semillas incubadas con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  se ajustaron osmóticamente hasta potenciales de  $-0,8$  MPa, y a partir de  $-1,2$  MPa se obtuvo una respuesta similar al PEG. Dicho ajuste pudo deberse a la absorción de iones  $\text{SO}_4^{2-}$  a bajas concentraciones salinas, proceso que se inhibe en elevadas concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$ . En concordancia con esta observación recientemente se ha demostrado la existencia de un cotrasporte de  $\text{H}^+ / \text{SO}_4^{2-}$  en las células de las raíces de varias especies, involucrado en la absorción de dicho anión (Buchner *et al.*, 2004). Se identificaron algunos genes que codifican para ese transportador, y se observó que su transcripción es regulada a través de la concentración de sulfato en el medio. De este modo una baja concentración  $\text{SO}_4^{2-}$  promueve la transcripción de dichos genes mientras que concentraciones elevadas la reprimen, disminuyendo la absorción de  $\text{SO}_4^{2-}$  en las raíces (Buchner *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2000). Por lo tanto, la inhibición de la germinación en soluciones de  $-1,2$  y  $-1,5$  MPa de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  podría explicarse mediante el incremento de la concentración de iones  $\text{SO}_4^{2-}$  en las paredes celulares de las semillas que causan un efecto osmótico que impide la imbibición.

En concordancia con Sosa *et al.*, (2005) y otros autores como Al-Jibury y Clor, (1986), esta inhibición con  $\text{SO}_4^{-2}$  fue reducida en la combinación de sales aumentando los límites de tolerancia para la germinación de las semillas. Esto sugiere que los efectos de sales monosalinas se pueden minimizar considerablemente en la naturaleza debido a las interacciones sinérgicas entre sales.

En contraposición con estos resultados, Sosa *et al.*, (2005), observaron en *P. strombulifera* una mayor inhibición en las semillas incubadas con NaCl que la observada en PEG. Este comportamiento puede explicarse a través del efecto específico de los iones sobre la germinación, ya que si la inhibición se debiera al efecto osmótico, los tratamientos salinos hubiesen respondido del mismo modo que el PEG. Los resultados también sugieren que la tolerancia de la especie a la salinidad estaría dada en parte por la absorción de iones que permitiría disminuir el potencial hídrico celular, posibilitando así el proceso de imbibición.

Frecuentemente la tolerancia a la salinidad se asocia con la tolerancia al estrés hídrico; aunque en este caso la especie se comportó como halófito, ya que la germinación fue drásticamente inhibida en todos los tratamientos con PEG. Esto demuestra que el vinal es más tolerante a la salinidad por NaCl que al estrés hídrico. Villagra y Cavagnaro (2006) han reportado un comportamiento similar en *P. alpataco*, una especie característica de la región fitogeográfica del Monte. Estos autores demostraron que *P. alpataco* presenta una alta tolerancia al estrés salino que le permite colonizar ambientes con suelos arcillosos con alto tenor salino, mientras que *P. argentina*, otra especie característica de la región, es sensible al estrés salino, pero tolerante al hídrico, desarrollándose en suelos arenosos, secos y con bajas concentraciones de NaCl.

### **3.2 - Efecto del estrés salino sobre el crecimiento.**

Como se muestra en la Figura 12, las plántulas lograron desarrollarse en soluciones de NaCl y mezcla con potenciales hídricos de hasta -1,5 MPa, y de -1,2

MPa en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y PEG. Soluciones de NaCl con potenciales hídricos de -0,8 y -1,5 MPa produjeron un ligero aumento en el peso seco de la parte aérea siendo más notable este incremento en la combinación de sales a partir de potenciales de -0,8 MPa, mientras que el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y el PEG no afectaron esta variable. Por el contrario, tanto las sales como el PEG produjeron una reducción en la biomasa radicular.

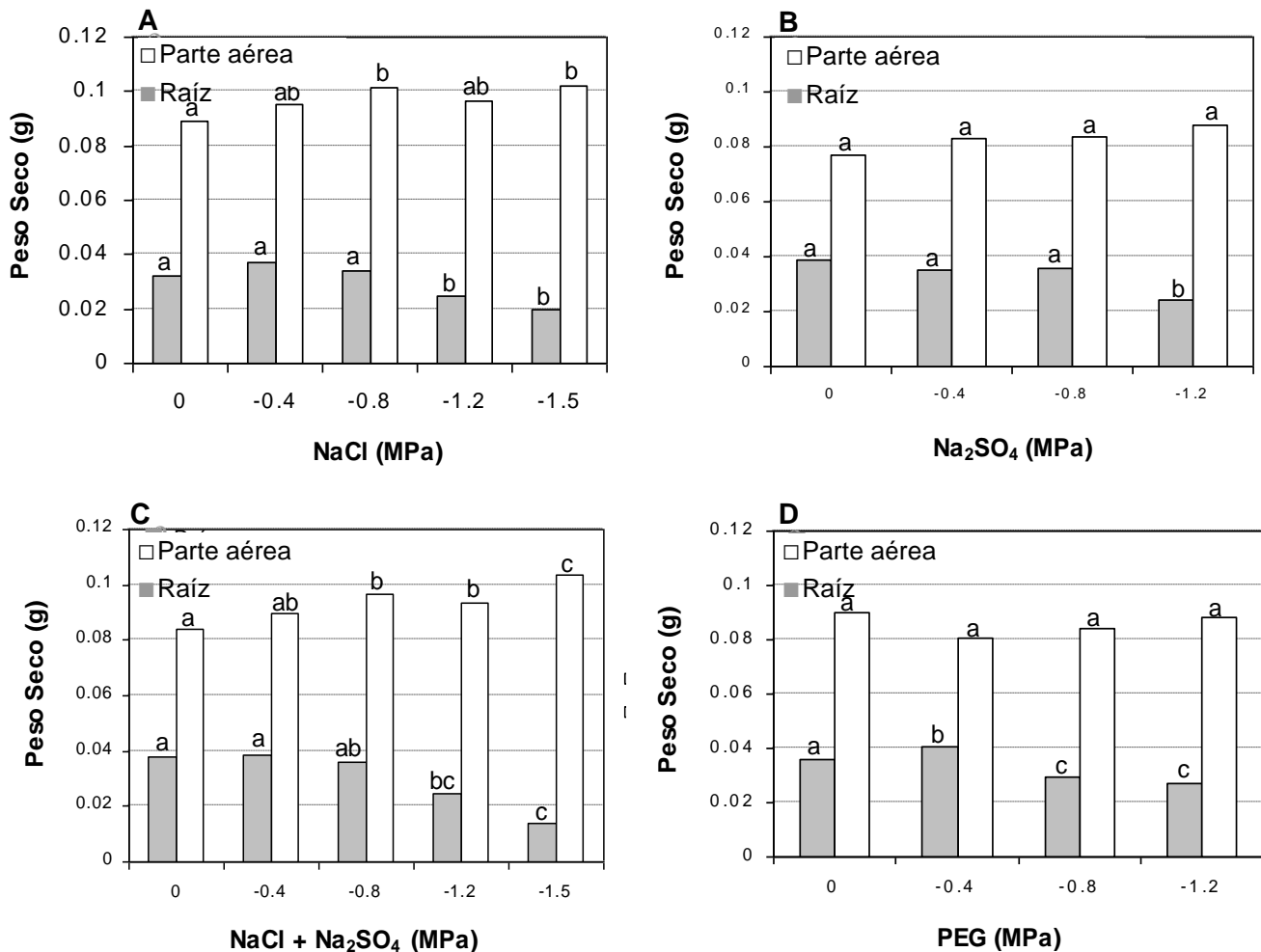


Figura 12: Efectos del NaCl (A),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (B), Mezcla (C) y PEG (D) sobre el crecimiento de plántulas de vinal. Letras diferentes en cada órgano indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0,05$ ).

Pese a estos resultados, la relación entre la longitud de la raíz y la longitud del tallo se incrementó en todos los casos (Figura 13), lo que muestra los cambios en la arquitectura de la planta, y por ende en la tendencia a explorar mayores profundidades. Esto permitiría a la especie tolerar altos niveles de salinidad

superficial, siendo dicha modificación un mecanismo de adaptación de las plántulas al estrés salino. Esta tendencia fue más acentuada en plántulas incubadas en PEG.

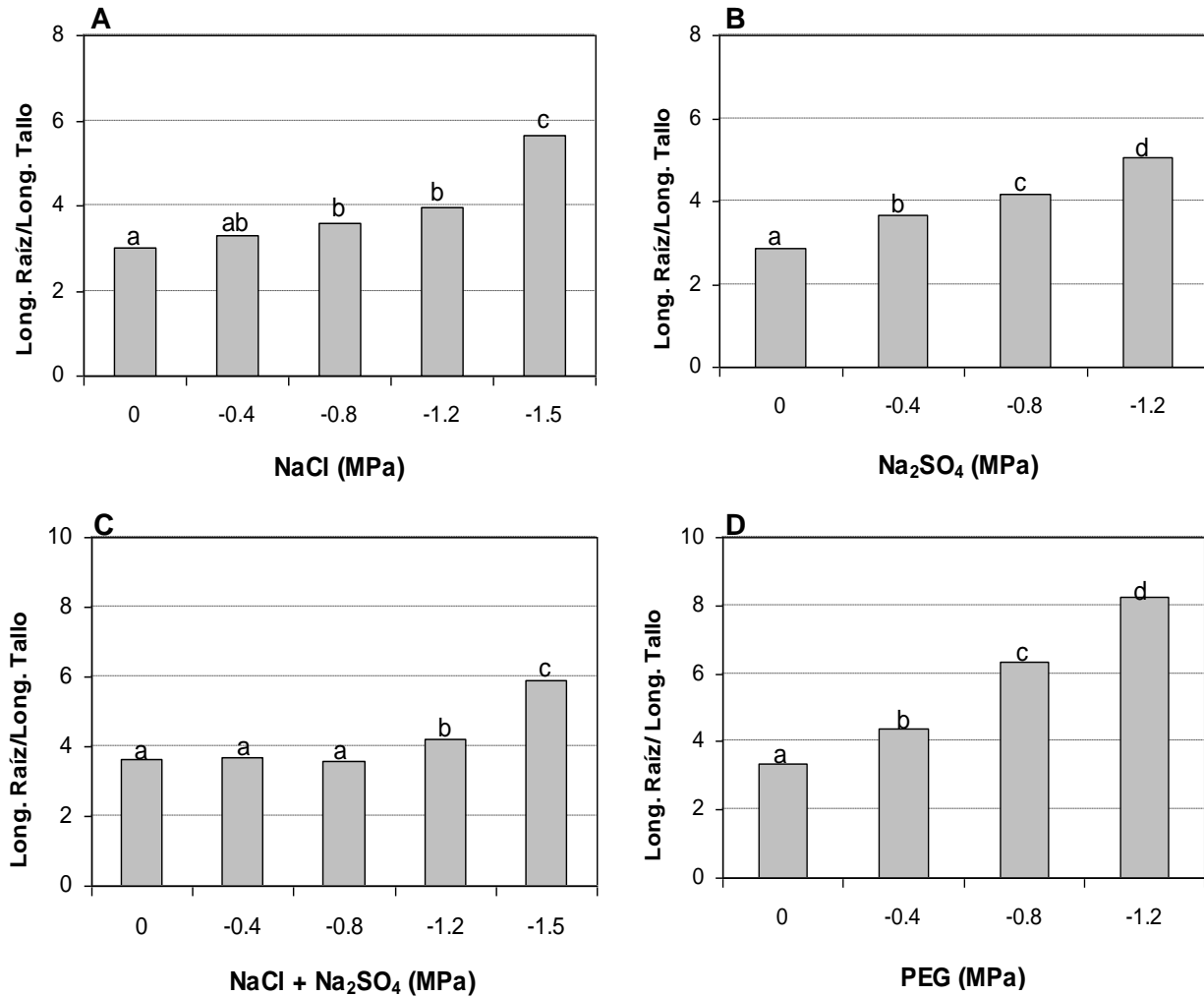


Figura 13: Efectos del NaCl (A), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (B), Mezcla (C) y PEG (D) sobre la relación longitud de raíz/longitud del tallo, en plántulas de vinal. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0,05$ ).

### 3.3 - Relaciones hídricas en plántulas de vinal crecidas en diferentes concentraciones salinas.

El estudio de las relaciones hídricas es muy importante en plantas sometidas a estrés salino, ya que la pérdida de turgencia celular puede restringir el

crecimiento. Para este fin se realizaron determinaciones de contenido relativo de agua (CRA) que determina la relación entre la cantidad de agua que posee una muestra y la máxima cantidad que fue almacenada. Esta variable es muy sensible a pequeñas variaciones en la turgencia celular (Hall *et al.*, 1999).

El NaCl y la mezcla no modificaron los valores del contenido relativo de agua (CRA), lo que demuestra que las plántulas lograron ajustarse osmóticamente (Figura 14), posibilitando la absorción de agua. Por lo tanto, en esos casos la inhibición del crecimiento no se debió a la pérdida de turgencia celular.

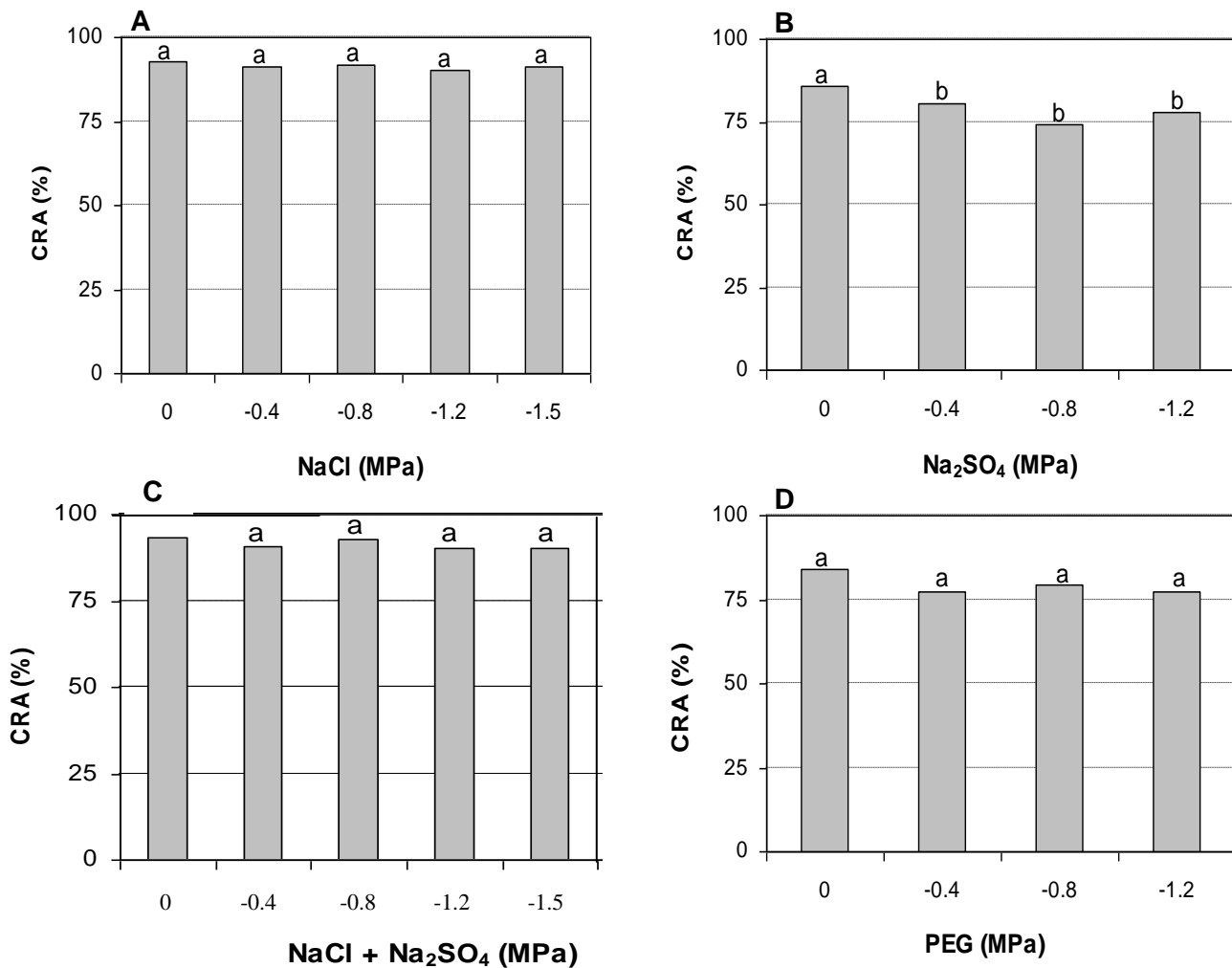


Figura 14: Efectos del NaCl (A), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (B), Mezcla (C) y PEG (D) sobre el contenido relativo de agua (CRA) de plántulas de vinal. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0,05$ ).

Coincidiendo con estos resultados, en dichas soluciones se incrementó la concentración de prolina y azúcares solubles (Figuras 15 y 16) lo que indica que estos compuestos orgánicos están involucrados en el ajuste osmótico. La prolina ha sido indicada como responsable del ajuste osmótico en muchas especies, tanto leñosas como herbáceas, sometidas a estrés hídrico y/o salino (Nanjo *et al.*, 1999; Abebe *et al.*, 2003). También se sugirieron otras funciones, como la protección de la estructura de las proteínas contra la desnaturalización, estabilización de las membranas celulares, interactuando con fosfolípidos, y sería posiblemente una fuente de energía y nitrógeno (Claussen, 2005). También se ha demostrado que los mutantes de *Citrus sinensis* x *Pocirus trifoliata*, modificados genéticamente para la sobreproducción de prolina son más tolerantes al estrés hídrico, manteniendo una alta actividad fotosintética (Correia Molinari *et al.*, 2004).

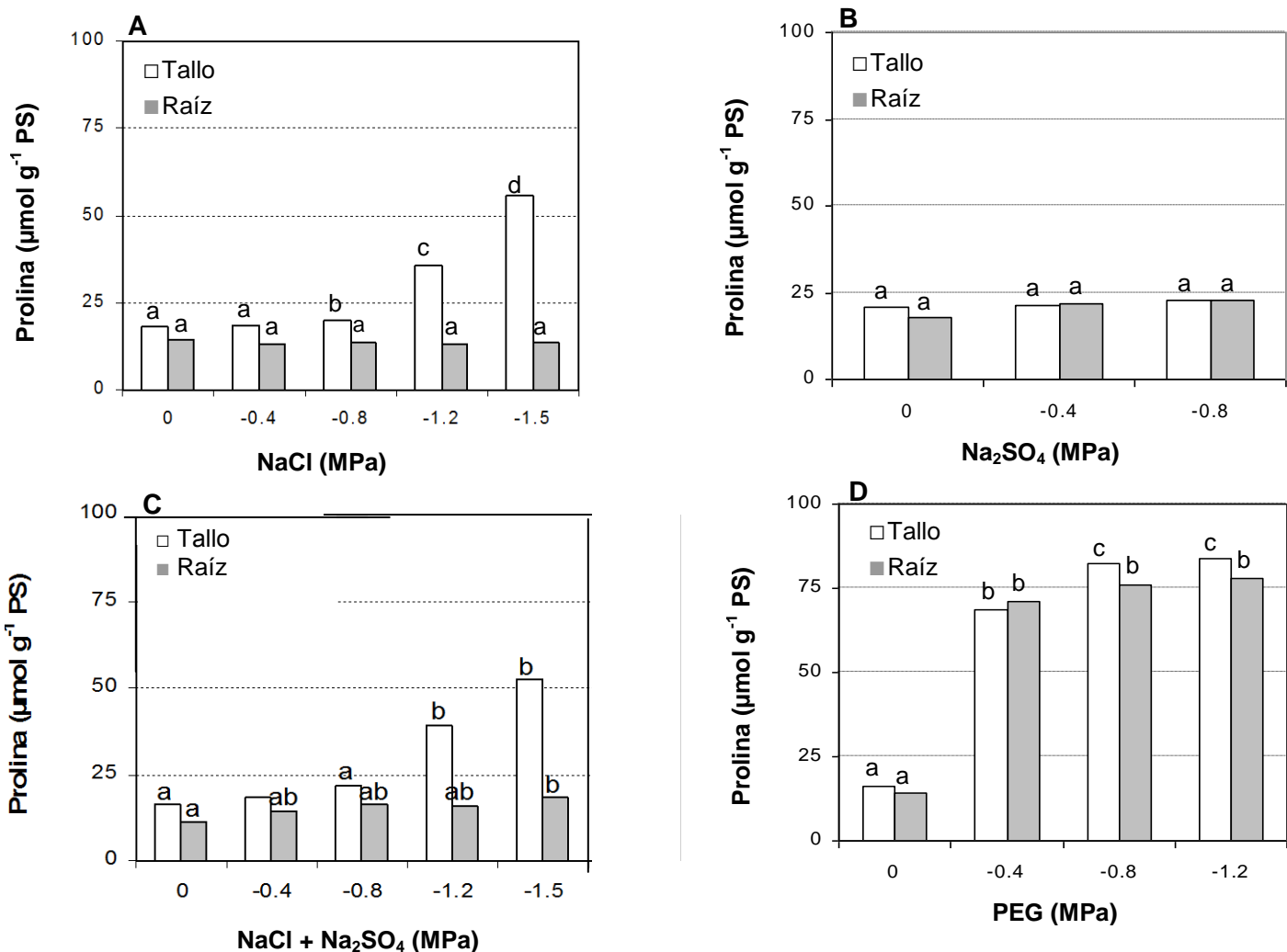


Figura 15: Efectos del NaCl (A), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (B), Mezcla (C) y PEG (D) sobre el contenido de prolina en raíces y hojas de plántulas de vinal. Letras diferentes en cada órgano indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0,05$ ).



Los resultados obtenidos contrastan con los observados en Algarrobo blanco (*P. alba*), donde según Meloni *et al.*, (2004) la prolina no contribuyó al ajuste osmótico, estando limitada esta función a los azúcares solubles y a la glicinabetaína. Las plántulas también consiguieron ajustarse osmóticamente en presencia de PEG como puede observarse en la Figura 14, detectándose mayores incrementos en las concentraciones de prolina y azúcares solubles que aquellos observados en NaCl y mezcla (Figuras 15 y 16). Este resultado puede deberse a que en el caso de las soluciones anteriormente mencionadas, las plántulas disminuyeron su potencial hídrico mediante la absorción de sal, mientras que en el caso de PEG al no disponer de iones, se logró el mismo efecto mediante la síntesis de solutos orgánicos.

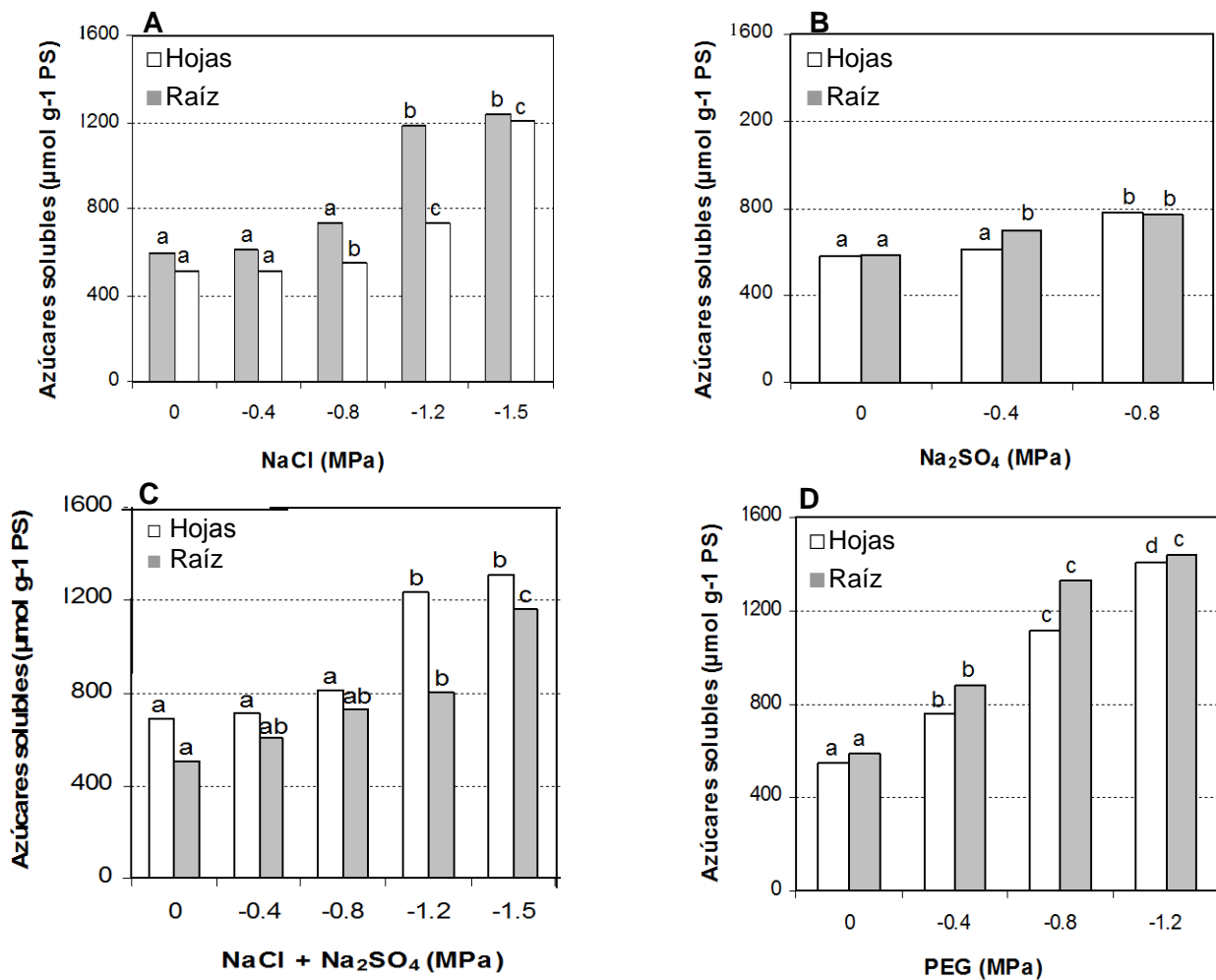


Figura 16: Efectos del NaCl (A), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (B), Mezcla (C) y PEG (D) sobre el contenido de azúcares solubles en raíces y hojas de plántulas de vinal. Letras diferentes en cada órgano indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0,05$ ).

En las plantas incubadas con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  se registró una disminución en el CRA a partir de potenciales hídricos de  $-0,4$  MPa (Figura 14), pese a que se observó un incremento en el contenido de azúcares solubles de hojas y raíces a partir de potenciales de  $-0,8$  y  $-0,4$  MPa, respectivamente (Figuras 16). Probablemente dicha disminución del contenido de agua se deba al hecho de que el contenido de prolina no se modificó y a que el aumento en los valores de la concentración de azúcares eran bajos, comparados con los casos anteriores.

#### 4 - CONCLUSIONES

Al observar los resultados anteriores se puede arribar a las siguientes afirmaciones:

- Si bien la germinación se produce en muy elevadas concentraciones de sales, con valores que alcanzan -2.2 MPa. en NaCl, -1.9 MPa. en la mezcla y -1.5 MPa. en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y PEG, el crecimiento solo es posible hasta potenciales de -1.5 MPa. en NaCl y mezcla y de -1.2 MPa. en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y PEG. Por lo que si el suelo sobrepasa estos niveles, las plántulas que germinen no podrán prosperar.
- La velocidad del proceso de germinación es inhibida en mayor magnitud que el poder germinativo.
- El sulfato fue más inhibitorio que las demás sales tanto en la germinación como en el crecimiento.
- El vinal se ajusta osmóticamente al estrés, mediante la síntesis de prolina y azúcares solubles.
- La prolina es la sustancia más importante y eficiente para dicho ajuste.
- La combinación de sales produce un efecto intermedio entre aquellas de Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, lo que puede resultar beneficioso debido a que es más frecuente encontrar este tipo de situaciones en condiciones de campo que una única sal.

---

## 5 – BIBLIOGRAFÍA

Abebe, T.; Guenzi, A.; Martin, B.; Cushman, J.C. 2003. Tolerance of mannitol-accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. *Plant Physiology*, 131: 1748-1755.

Al-Jibury, L.K.; Clor, M.A. 1986. Interaction between sodium, calcium and magnesium chlorides affecting germination and seedlings growth of *Securigera securidaca*. *Annals of Arid Zones*, 25: 105-111.

Arce, P.; Balboa, O. 1988. Some aspects of the biology of *Prosopis* growing in Chile. In: Habit, M.A., ed. *The current state of knowledge on Prosopis juliflora*. Roma, FAO, 313-322.

Bates, L.S, Waldren, R.P.; I.D. Tear. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.

Boletta, P. E.; Acuña, L. R.; Juárez de Moya, M. L. 1989. Análisis de las características climáticas de la provincia de Santiago del Estero y comportamiento del tiempo durante la sequía de la campaña agrícola 1988 / 1989. Convenio INTA – UNSE. Santiago del Estero. Argentina. P. 23 y anexo.

Brassiolo, M. 2005. Los bosques del Chaco Semiárido. *Revista IDIA Forestal XXI* N° 8. INTA. Santiago del Estero. Argentina. P. 28.

Buchner, P.; Takahashi, H.; Hawkesford, M. 2004. Plant sulphate transporters: co-ordination of uptake, intracellular and long-distance transport. *Journal of Experimental Botany*, 404: 1765-1773.

Brugnoli, E.; Lauteri, M. 1991. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C<sub>3</sub> non-halophytes. *Plant Physiology*, 95: 628-635.

Cabrera, A.L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, ACME, Buenos Aires. Argentina. P. 85.

Catalán, L.; Balzarini, M.; Talesnik, E.; Sereno, R.; Karlin, U. 1994. Effects of salinity on germination and seedling growth of *Prosopis flexuosa* (D.C.). *Forest Ecology and Management*, 63: 347-357.

Claussen, W. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science*, 168: 241-248.

Correia Molinari, H.; Marur, C.; Bessalho Filho, J.; Kobayashi, A.; Pileggi, M.; Pereira Leite Júnior, R.; Protasio pereira, L.; Gonzaga Estevez Vieira, I. 2004. Osmotic adjustment in transgenic Citrus rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. X *Poncirus trifoliata* L. Raf.) overproducing proline. *Plant Science*, 167: 1375-1381.

Cramer, G. R., Läuchli, A.; Polito, V. S. 1985. Displacement of Ca<sup>2+</sup> by Na<sup>+</sup> from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? *Plant Physiology*, 79: 207-211.

Dubois, M.; Gilles, K. A.; Hamilton, J. K.; Rebers, P. A., Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.

El-Keblawy, A. 2004. Salinity effects on seed germination of the common desert range grass, *Panicum turgidum*. *Seed Science and Technology*, 32: 943 –948.

Evert, G.; Eberle, J.; Ali-Dinar, H.; Ludders, P. 2002. Ameliorating effects of  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl- stressed guava seedlings (*Psidium guajava* L). *Scientia Horticulturae*, 93: 125-135.

Fan, Z.; Chang, Q.; Tian, C.; Yabaki, S.; Okada, A.; Liu, C. 1993. Genesis and characteristics of salt-affected soils in tarim Basin. In: Ichikuni M, ed. Proceedings of the Japan-China International Symposium on the study of the Mechanism of Desertification. Tokyo: Science and technology Agency, 219-226.

Girija, C.; Smith, B. N.; Swamy, P. M. 2002. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis hypogaea* L). *Environmental and Experimental Botany*, 41: 1-10.

Gimenez, A. M.; Moglia, J. G. 2003. Árboles Del Chaco Argentino. Guía para el Reconocimiento Dendrológico. Editorial EL LIBERAL S.R.L. Santiago del Estero. Argentina. P. 163.

Gimenez, A. M.; Moglia, J. G., Ríos, N. A.; Hernández, P.; Gerez, R. 2006. Potencialidad de especies del genero *Prosopis* en la Provincia de Santiago del Estero. II Jornadas Forestales en Santiago del Estero. *Prosopis. Forestación y aprovechamiento integral del Algarrobo*. ISSN N°:1669-5070. Versión digital. P. 1-10.

Hall, D. O.; Scurlock, J. M. O.; Bolhâr-Nordenkampf, H. R.; Leegood, R. C.; Long, S. P. 1999. Photosynthesis and production in a changing environment. Chapman and Hall. London. England. P. 113-127.

Heimler, D.; Tattini, M.; Ticci, S.; Coradeschi, M. A.; Traversi, M. L. 1995. Growth, ion accumulation, and lipid composition of two olive genotypes under salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 18: 1723-1734.

Kurth, E.; Cramer, G. R.; Läuchli, A.; Epstein, E. 1986. Effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub> on cell enlargement and cell production in cotton roots. *Plant Physiology*, 82: 1102-1106.

Kuznetsov VV, Shevyakova NI. 1997. Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. *Physiologia Plantarum*, 100: 320-326.

Lakshmi, A.; Ramanjulu, S.; Veeranjanyulu, K.; Sudhakar, C. 1996. Effect of NaCl on photosynthesis parameters in two cultivars of mulberry. *Photosynthetica*, 32: 285-289.

Ledesma, N. R.; Medina, J. 1969. Fenología de la comunidad forestal Chaco santiagueña. *Actas del Primer Congreso Forestal Argentino*. Buenos Aires. Argentina. P. 801-806.

Ledesma, N. R.; Boletta, P. E. 1972. Clima de las Regiones Forestales Argentinas. *Actas del VII° Congreso Forestal Mundial, Tomo II. VII° Congreso Forestal Mundial, 4 al 18 de octubre de 1972*. Centro cultural San Martín. Buenos Aires. Argentina.

Ledesma, N. R. 1973. Característica Climática del Chaco Seco. *Ciencia e Investigación*, Tomo 29: 68 -81. Buenos Aires. Argentina.

Leidi, E. O.; Pardo, J. M. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino: que hay de nuevo. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 2: 69-90

Lynch, J.; Läuchli I, A. 1985. Salt stress disturbs in the calcium nutrition of barley (*Hordeum vulgare* L.). *New Phytology*, 99: 345-354.

Meloni, D. A.; Oliva, M. A.; Ruiz, H. A., Martínez, C. A. 2001. Contribution of proline and inorganic solutes osmotic to adjustment in cotton under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 24: 599-612.

Meloni, D. A.; Gulotta, M. R.; Martínez, C. A.; Oliva, M. A. 2004. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16: 39-46.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250.

Nanjo, T.; Kobayashi, Y.; Yoshiba, Y.; Sanada, K.; Wada, H.; Kakubari, Y.; Shamaguchi-Shinozaki, K.; Shinozaki, K. 1999. Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic arabidopsis thaliana. *Plant*, 18: 185-193.

Nichols, M. A.; Heidecker, W. 1996. Two approaches to the study of germination data. *Proceeding of International Seed Testing Association*, 33: 351-340.

Passera, C. B. 2000. Fisiología de *Prosopis* spp. In: *Actas de la III Reunión Nacional de la Asociación Argentina de Prosopis*. Mendoza. Argentina.

Perez, A.; Tambelini, C. 1995. Effect of saline and water stress and early aging on the “algarroba” seed germination. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30: 1289-1295.

Rathcke, B.; Lacey, E. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review Ecology & Systematics*, 16: 179–214.



Red Agroforestal Chaco. 1999. Estudio Integral de la Región del Parque Chaqueño. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas Préstamo BIRF N° 4085–AR Informe General Ambiental. Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. P. 170.

Ryan, J.; Miyamoto, S.; Stroehlein, J. L. 1975. Salt and specific ion effects on germination of four grasses. *Journal of Range Management*, 28: 61-64.

Saavedra, S. 2004. Determinación con base ecológica de la productividad potencial forestal en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. UPM. Madrid.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable 2005. Primer inventario nacional de bosques nativos. Proyecto de bosques y Áreas Protegidas, Préstamo BIRF 4085-AR. Informe Regional parque Chaqueño.

Smith, F. W.; Rase, A. L.; Hawkesford, J. M. 2000. Molecular mechanisms of phosphate and sulphate transport in plants. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1465: 236-245.

Solbrig, O. T.; Cantino, P. D. 1975. Reproductive adaptations in *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 56: 185–210.

Sosebee, R. E.; Wan, C. 1987. Plant ecophysiology: a case study of honey mesquite. Contribution N° T-9-502. Lubbock: College of Agricultural Sciences, Texas Tech University. P. 103–117.

Sosa, L.; Llanes, A.; Reinoso, H.; Reginato, M.; Luna, V. 2005. Osmotic and specific effects on the germination of *Prosopis strombulifera*. *Annals of Botany*, 96: 261-267.

Vargas Gil, J. R. 1990. Suelos de la Provincia de Santiago del Estero, escala 1:500.000 En: CIRN–INTA (Editor). Atlas de Suelo de la República Argentina. Tomo II SAGyP, Proyecto PNUD Argentina 85/019. Buenos Aires, Argentina. P. 677.

Villagra, P. E.; Cavagnaro, J. B. 2006. Water stress effects on seedling growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco*. Journal of Arid Environments, 64: 390-400.

Yeo, A. R. 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. Journal of Experimental Botany, 49: 915-929.