

Germinación de cuatro pastos bajo condiciones de estrés salino

Germination of four grasses under salt stress

Ruiz M¹ y O Terenti²

Resumen. Las forrajeras cultivadas son en Argentina el sustento fundamental de los sistemas ganaderos tradicionales. Actualmente, la implantación de pasturas en zonas cada vez más áridas es uno de los principales desafíos para la ganadería. El objetivo de este trabajo fue evaluar la germinación de cuatro especies forrajeras: *Agropyron elongatum*, *Antephora pubescens*, *Cenchrus ciliaris* cv Texas y *Panicum coloratum* cv Klein verde bajo condiciones de estrés hídrico y salino. Se utilizaron soluciones de NaCl, KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄ y Manitol como soluto inerte, obteniéndose potenciales osmóticos (Ψ_0) de -0,5, -1, -1,5, -2,0 y -2,5 MPa. Las semillas se sembraron en cajas de Petri sobre papel de germinación, se regaron con 4 mL de solución y se incubaron a 25 °C. El diseño fue al azar con 4 repeticiones. Diariamente, durante 10 días, se contó el número de semillas germinadas y con los datos obtenidos se calculó el porcentaje, la velocidad de germinación (ERI) y el tiempo medio de germinación (MT). Los datos se analizaron con el software estadístico Infostat. A medida que se incrementó la concentración de la solución se observó que la germinación disminuyó en las cuatro especies. En general las sales de SO₄⁻² resultaron más perjudiciales para la germinación que las de Cl⁻. *Cenchrus ciliaris* cv Texas resultó la especie más tolerante al estrés hídrico inducido con manitol, registrando porcentajes de germinación cercanos al 50% aún en Ψ_0 de -2,5 MPa. En contraste, *Panicum coloratum* cv Klein verde fue la especie menos tolerante a condiciones de estrés, presentando bajos porcentajes de germinación a -1 MPa y ninguna respuesta a -1.5 MPa o potenciales hídricos menores, independientemente del soluto utilizado.

Palabras clave: Germinación; Pastos; Estrés hídrico y salino.

Abstract. In Argentina cultivated grasses are the livelihood of the traditional livestock systems. Actually, the introduction of pastures in arid zones is one of the major challenges for ranchers. The aim of this work was to assess the germination of four forage species: *Agropyron elongatum*, *Antephora pubescens*, *Cenchrus ciliaris* cv Texas and *Panicum coloratum* cv Klein verde under water stress and salinity. Were used solutions of NaCl, KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄ and Mannitol as inert solute, obtaining osmotic potentials (Ψ_0) of -0.5, -1, -1.5 -2.0, or -2.5 MPa. Seeds were cultivated in Petri dishes on germination paper, watered with 4 mL of deionized water and incubated to 25 °C. We used a completely randomized design with 4 repetitions. During 10 days, the number of sprouted seeds was counted daily, and the percentage of germination, the speed of germination (ERI) and the mean time to germination (MTG), were calculated. Data were analyzed with the statistical software Infostat. Germination declined with increasing concentration of the solution in the four species. In general, salts of SO₄⁻² proved more damaging to the germination than those of Cl⁻. *Cenchrus ciliaris* cv Texas was the most water stress tolerant species, with percentages of germination close to 50% even in Ψ_0 of -2.5 MPa. On the contrary, *Panicum coloratum* cv Klein verde was the less tolerant, with low percentages of germination at -1 MPa, and no response to Ψ_0 of -1.5 MPa or lower.

Keywords: Germination; Grass; Water and salt Stresses.

¹ EEA INTA San Juan. Calle 11 y Vidart, Villa Aberastain, San Juan, Argentina.

² EEA INTA San Luis. Rutas Nac. 7 y 8, Villa Mercedes, San Luis, Argentina.

Address Correspondence to: Mónica Ruiz, EEA San Juan, INTA, Calle 11 y Vidart, Villa Aberastain C.P. 5427, San Juan, Argentina. e-mail: moruiz@sanjuan.inta.gov.ar
Recibido / Received 16.XI.2011. Aceptado / Accepted 7.III.2012.

INTRODUCCIÓN

La germinación y el establecimiento de las plántulas son las fases del crecimiento más sensibles a cualquier situación de estrés, principalmente las que tienen que ver con una disminución en la disponibilidad de agua en el suelo (Bradford, 1996; Bewley, 2001; Ashraf y Foolad, 2005). Bajo condiciones de estrés salino hay una disminución de la disponibilidad de agua debido a la caída del potencial hídrico del suelo; como consecuencia, tanto los porcentajes como las tasas de germinación se afectan drásticamente (Marañón et al., 1989; Mohammed y Sen, 1990; Khan, 1991; Ungar, 1995; Gorai y Neffati, 2007). Aunque las plantas adultas estén bien adaptadas a condiciones de salinidad, la germinación de las semillas de la mayoría de las especies vegetales es inhibida por dicho estrés. Estas semillas germinan en mayores porcentajes en agua dulce y muestran una rápida disminución con la salinidad (Khan y Ungar, 1984; Khan y Rizvi, 1994; Gulzar et al., 2001).

Cuando las semillas llegan al suelo, el recurso clave para iniciar los cambios fisiológicos que conducen a la germinación es el agua, que resulta indispensable para activar el metabolismo y el crecimiento de las células vivas de los tejidos de las semillas (Bradford, 1995). Tanto la ocurrencia o no de la germinación como la velocidad a la que ésta se produce están determinadas principalmente por los gradientes de potenciales hídricos entre la semilla y el medio (Welbaum y Bradford, 1988; 1989; Welbaum et al., 1990; Bewley y Black, 1994).

La salinidad del suelo es uno de los factores que puede inducir la dormancia de las semillas: si la cantidad de sal en el entorno es muy elevada, el ingreso de agua a la semillas es restringido y el embrión no alcanza la turgencia necesaria para superar la restricción impuesta por las cubiertas seminales y la germinación no ocurre (Bewley y Black, 1994; Bradford, 1995, 1997). En experimentos comparativos donde las especies son incubadas con soluciones de NaCl y PEG (Katembe et al., 1998; Fenner y Thompson, 2005), se ha observado que las soluciones de NaCl ejercen un efecto combinado. Por un lado, se produce el efecto osmótico debido a la disminución del potencial hídrico del medio, que crea estrés en la semilla o plántula (Bradford, 1995). Por otro lado, se crea un efecto iónico por la entrada y/o acumulación de iones en la semilla que causa toxicidad (Dodd y Donovan, 1999). Así, las principales causas de la inhibición del crecimiento bajo estas condiciones son el estrés osmótico y el efecto específico de los iones que incluye la toxicidad y el desbalance de los mismos (Öztürk et al., 2006). La tendencia general de la reducción en la germinación con el aumento de la concentración de iones en la solución de riego es una respuesta frecuentemente observada en varias especies. Por ejemplo, la germinación disminuyó en dos cultivares de *Triticum aestivum* al someterlos a estrés salino (Iqbal et al., 2006). La misma respuesta observaron Sivritepe et al. (2003) en dos cultivares de *Cucumis melo*. Pompelli et al. (2006) observaron el mismo patrón en la bromeliácea *Dyckia*

encholirioide. Las forrajeras no son la excepción. Así, Ruiz et al. (2005) encontraron que la germinación fue menor a mayores concentraciones de la solución de riego en tres especies de gramíneas: *Tetrachne dregei*, *Panicum coloratum* y *Eragrostis curvula*.

En general, las forrajeras perennes tienen un lento crecimiento inicial y pocas reservas en la semilla, lo que hace que el establecimiento de la plántula sea un período crítico bastante largo (García-Espil, 1990). Esto se traduce en que el éxito del cultivo de estas especies dependa de la rapidez y uniformidad de la germinación al igual que del primer crecimiento de las plántulas. Las forrajeras cultivadas son en Argentina el sustento fundamental de los sistemas ganaderos tradicionales. El incremento de las zonas agrícolas cultivables ha impulsado a estos sistemas a moverse hacia áreas menos productivas, de tipo marginal y con problemas diversos, como la escasez de agua y la salinidad. La implantación de pasturas en zonas cada vez más áridas, afectadas no sólo por la escasez de precipitaciones, es uno de los principales desafíos para la ganadería (Cirelli y Volpedo, 2002).

Para lograr mejoras en la productividad de los sistemas mencionados es clave incrementar la información acerca del efecto de los ambientes estresantes sobre la implantación de especies forrajeras. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento germinativo de las especies seleccionadas bajo condiciones de estrés hídrico y salino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal. *Agropyron elongatum* (agropiro alargado) gramínea perenne, de ciclo otoño- invierno- primaveral, de crecimiento alto en forma de matas, rústico, resistente a la sequía y de buen valor nutritivo antes del encañe. Su máxima producción de forraje la da en primavera y otoño.

Antephora pubescens es una gramínea forrajera perenne, con excelente tolerancia a la sequía y al frío. Originaria y distribuida en África (Angola, Botswana, Etiopía, Kenya, Mali, Mozambique, Namibia, Somalia), en Sudáfrica y, en Asia, en la región sur de Irán. En América se encuentra en México y en el sudoeste de Argentina. A esta especie se la encuentra en comunidades clímax en zonas áridas y semiáridas constituyendo pastizales y sabanas.

Cenchrus ciliaris (buffel grass) es un pasto perenne nativo de África y de la mitad este de Asia. Esta gramínea presenta un rápido crecimiento con ciclos completos de alrededor de 50 días (Newman y Delgado, 1999). Esta gramínea ha sido introducida en América Central, Australia, Puerto Rico, Texas y algunas otras áreas del mundo (Butt et al., 1992), debido a su conocida tolerancia a condiciones de sequía y elevadas temperaturas. Además tiene relativamente alta productividad y conserva el valor forrajero aún en condiciones de sequía, con valores de proteína cruda superiores al 10% en períodos de crecimiento.

Panicum coloratum (mijo perenne) es una gramínea perenne, de un elevado valor forrajero, con crecimiento primavero-estival. Nativa de África, fue introducida y seleccionada en Australia y Estados Unidos, posee varias subespecies y cultivares con distintas características (Altuve et al., 2000). La importancia de su introducción radica en la cantidad de forraje producido (Petruzzi et al., 2003), siendo bien consumida por el ganado por ser muy palatable (Altuve et al., 2000), y en su calidad para la cría de animales durante todo su desarrollo (Petruzzi et al., 2003).

Germinación en condiciones de estrés. Las semillas de las especies descriptas se sembraron en cajas de Petri de 9 cm de diámetro con papel de filtro (Muntkel, 1700). Previamente se las sometió a un baño con solución fungicida: Captan: N-Triclorometilo al 0,5% (cicloex-4-ene-1, 2-dicarboximide 80%). Luego se regaron con 4 ml de soluciones de KCl, NaCl, Manitol, Na₂SO₄, o K₂SO₄ cuyos potenciales osmóticos (Ψ_0) de -0,5, -1, -1,5, -2,0 y -2,5 MPa se obtuvieron siguiendo la relación empírica de Vant Hoff (Salisbury y Ross, 1994) según la siguiente fórmula:

$$\Psi_0 = -CiRT$$

Donde:

Ψ_0 = potencial osmótico,

C = concentración de la solución, expresada como molalidad (moles de soluto por kg de agua),

i = constante para la ionización del soluto,

R = constante de los gases (0,00831 kg MPa mol K),

T = temperatura absoluta (°K) = grados °C + 273.

Las soluciones se ajustaron utilizando un osmómetro (Wescor, USA). Como control se utilizó agua destilada considerando 0 MPa su potencial osmótico. Las semillas se incubaron en cámara de germinación. Diariamente durante 10 días, se contaron las semillas germinadas (protrusión radical). Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje final de germinación. El índice de velocidad de emergencia (ERI, Shmueli y Goldberg, 1971), se obtuvo según la siguiente fórmula:

$$ERI = \sum_{n=n_0}^{n=c-1} X_n(c-n) / N$$

Donde:

X_n : número de semillas germinadas contadas el día n,

c: número de días desde la siembra hasta que terminó la emergencia,

n: día en el cual se realizó el conteo, expresado en días después de la siembra,

n_0 : día que comienza la emergencia, expresada como número de días después de la siembra,

N: número total de semillas.

El tiempo medio de germinación (MTG) (Bewley y Black, 1986) se calculó según la siguiente fórmula:

$$MTG = \frac{\sum D^n}{\sum nt}$$

Donde:

D: es el número de días registrados desde el comienzo de la germinación,

n: es el número de semillas germinadas en el día D,

nt: número total de semillas sembradas.

Diseño experimental. El diseño experimental utilizado en todas las determinaciones fue al azar con cuatro repeticiones. El modelo utilizado corresponde a un diseño factorial con dos factores (solución y concentración) y la interacción de ambas variables, según se detalla a continuación:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

Los datos se analizaron mediante el análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías con los siguientes factores: cinco soluciones osmóticas (KCl, NaCl, Manitol, Na₂SO₄, K₂SO₄) y seis concentraciones (0; -0,5; -1; -1,5; -2,0 y -2,5 MPa) donde la concentración 0 correspondió al control. Previamente se corroboró que los datos cumplieran con los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianza e independencia. Los datos se analizaron con el software estadístico Infostat/Profesional versión 1.1.

RESULTADOS

Agropyron elongatum. El ANOVA para el porcentaje de germinación, ERI y MTG mostraron diferencias significativas entre el tipo de solución, la concentración y también una interacción significativa solución-concentración con valores de $p \leq 0,001$. La interacción estuvo dada principalmente por el efecto negativo de las sales de sulfato (KSO₄, Na₂SO₄) respecto de los otros solutos. En la Figura 1 se observa claramente la caída del porcentaje de germinación con el Na₂SO₄ a -1 MPa en relación a las otras soluciones empleadas. Esta caída se observó nuevamente en la siguiente concentración (-1,5 MPa) para las dos soluciones que contienen sulfato: KSO₄ y Na₂SO₄. En general esta especie disminuye los porcentajes y la velocidad de germinación (Tablas 1 y 2) con el incremento de la concentración de la solución, independientemente del tipo de soluto empleado. Sin embargo las sales que contienen sulfatos resultaron más nocivas a concentraciones intermedias que el resto de los solutos. A los menores Ψ_0 (-2 y -2,5 MPa) *Agropyron elongatum*, tuvo una cierta resistencia al estrés hídrico dada por una mayor respuesta germinativa en la solución de manitol, respecto de las soluciones salinas.

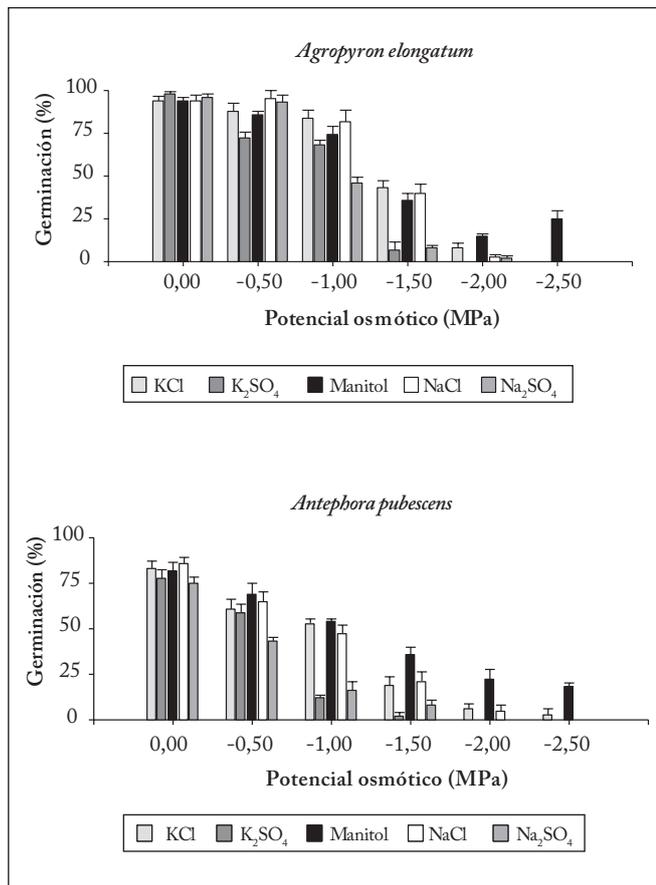


Fig. 1. Porcentajes de germinación de *Agropyron elongatum* y *Antephora pubescens* en las diferentes soluciones (Manitol, NaCl, KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄) para los seis potenciales osmóticos ensayados (0,-0,5, -1, -1,5, -2,0 y -2,5 MPa).

Fig. 1. Germination percentages of *Agropyron elongatum* and *Antephora pubescens* in the different solutions (Mannitol, NaCl, KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄) for the tested osmotic potentials (0,-0.5, -1, -1.5, -2.0, -2.5 MPa)

Antephora pubescens. Se observaron diferencias significativas para las soluciones, concentraciones y la interacción de ambas variables ($p \leq 0,001$) en el porcentaje de germinación, ERI y MTG. A medida que los Ψ_0 de las soluciones de riego se hicieron más negativos, tanto la germinación (Fig. 1) como la velocidad de la misma disminuyeron marcadamente (Tablas 1 y 2). La interacción de las variables se manifestó a Ψ_0 de -1 y -1,5 MPa. En estos potenciales pudo observarse como las sales Na₂SO₄ y K₂SO₄ afectaron más la germinación que el resto de los solutos. Esto indica una mayor sensibilidad a las sales de sulfato que a las de cloruro. Esta especie mostró moderada tolerancia al NaCl y al KCl, con porcentajes de germinación similares a las obtenidas con manitol (50%) a -1 MPa. Al igual que en *Agropyron elongatum*, se observó una cierta tolerancia al estrés hídrico inducido con manitol en los potenciales osmóticos más negativos.

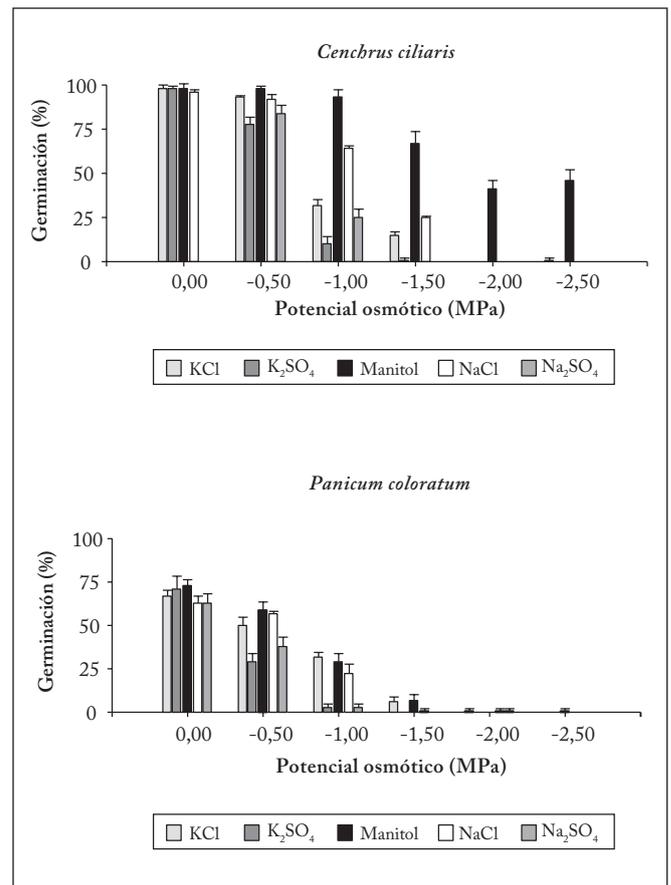


Fig. 2. Porcentajes de germinación de *Cenchrus ciliaris* y *Panicum coloratum* en las diferentes soluciones (Manitol, NaCl, KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄) para los seis potenciales osmóticos ensayados (0,-0,5, -1, -1,5, -2,0 y -2,5 MPa).

Fig. 2. Germination percentages of *Cenchrus ciliaris* and *Panicum coloratum* in the different solutions (Mannitol, NaCl, KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄) for the tested osmotic potentials (0,-0.5, -1, -1.5 -2.0 -2.5 MPa).

Cenchrus ciliaris. En esta especie, al igual que en *Agropyron elongatum* y *Antephora pubescens*, la interacción entre las variables solución y concentración resultó estadísticamente significativa con un valor de $p \leq 0,001$. Esta interacción se debió principalmente a que en las soluciones de manitol se alcanzaron porcentajes de germinación mucho más elevados que en las otras soluciones, para los Ψ_0 de -1 en adelante (Fig. 2). También se observó una moderada tolerancia de esta especie al NaCl en las soluciones de -1 y -1,5 MPa respecto del resto de las sales. La velocidad de germinación respondió de manera similar al porcentaje de germinación, mostrando diferencias marcadas entre las soluciones salinas y la solución de manitol (Tablas 1 y 2). Esta especie, a diferencia del resto, fue la que presentó mayor tolerancia a las condiciones de estrés hídrico, registrándose valores cercanos al 50% en los Ψ_0 más negativos (-2 y -2,5 MPa).

Tabla 1. Valores medios y desvíos estándar del índice de velocidad de germinación (ERI) en las cuatro especies evaluadas, para cada solución y concentración de la misma (MPa).**Table 1.** Mean values and standard deviations of the speed index of germination (ERI) in the four species evaluated, for each solution and concentration (MPa).

	Concentración (MPa)	Solución				
		KCl	K ₂ SO ₄	Manitol	NaCl	Na ₂ SO ₄
<i>Agropyron elongatum</i>	0,00	7,26 ^a ±0,09	7,28 ^a ±0,30	7,18 ^a ±0,10	7,26 ^a ±0,23	7,04 ^a ±0,35
	-0,50	6,96 ^{ab} ±0,20	6,37 ^a ±0,33	6,46 ^a ±0,24	6,42 ^a ±0,13	6,04 ^b ±0,22
	-1,00	5,45 ^{bc} ±0,23	4,30 ^b ±0,43	5,30 ^b ±0,46	5,63 ^{ab} ±0,40	3,49 ^c ±0,53
	-1,50	4,10 ^c ±0,80	1,70 ^c ±1,70	2,89 ^c ±0,38	3,84 ^{bc} ±0,63	1,17 ^d ±0,34
	-2,00	2,13 ^d ±1,44	0,00 ^d ±0,00	2,33 ^c ±0,62	3,25 ^c ±2,22	0,50 ^{de} ±0,58
	-2,50	0,00 ^e ±0,00	0,00 ^d ±0,00	2,82 ^c ±0,62	0,00 ^d ±0,00	0,00 ^e ±0,00
<i>Antephora pubescens</i>	0,00	6,47 ^a ±0,76	6,19 ^a ±0,75	6,44 ^a ±0,81	6,83 ^a ±0,54	5,84 ^a ±0,32
	-0,50	4,25 ^b ±1,11	3,78 ^b ±0,24	5,08 ^a ±0,85	4,63 ^b ±0,66	2,38 ^b ±0,27
	-1,00	3,22 ^b ±0,51	0,41 ^c ±0,08	3,11 ^b ±0,20	2,63 ^c ±0,71	0,47 ^c ±0,26
	-1,50	0,42 ^c ±0,22	0,12 ^c ±0,24	1,59 ^c ±0,45	1,06 ^d ±0,79	0,18 ^c ±0,21
	-2,00	0,11 ^c ±0,10	0,00 ^c ±0,00	1,21 ^c ±0,63	0,19 ^d ±0,22	0,00 ^c ±0,00
	-2,50	0,03 ^c ±0,06	0,00 ^c ±0,00	0,96 ^c ±0,22	0,00 ^d ±0,00	0,00 ^c ±0,00
<i>Cenchrus ciliaris</i>	0,00	6,64 ^a ±0,29	6,71 ^a ±0,20	6,58 ^a ±0,33	6,49 ^a ±0,09	7,03 ^a ±0,54
	-0,50	5,81 ^b ±0,14	4,49 ^b ±0,43	6,34 ^a ±0,36	5,57 ^b ±0,57	4,89 ^b ±0,62
	-1,00	1,67 ^c ±0,25	0,44 ^c ±0,34	5,75 ^a ±0,51	3,43 ^c ±0,40	1,21 ^c ±0,37
	-1,50	0,68 ^d ±0,22	0,05 ^c ±0,10	4,02 ^b ±0,71	0,98 ^d ±0,21	0,00 ^d ±0,00
	-2,00	0,00 ^e ±0,00	0,00 ^c ±0,00	2,39 ^c ±0,54	0,00 ^e ±0,00	0,00 ^d ±0,00
	-2,50	0,05 ^e ±0,10	0,00 ^c ±0,00	2,36 ^c ±0,61	0,00 ^e ±0,00	0,00 ^d ±0,00
<i>Panicum coloratum</i>	0,00	5,40 ^a ±0,34	5,75 ^a ±1,19	5,84 ^a ±0,49	5,07 ^a ±0,72	4,91 ^a ±0,42
	-0,50	3,75 ^b ±0,66	2,00 ^b ±0,56	4,31 ^b ±0,99	4,07 ^b ±0,44	2,64 ^b ±0,80
	-1,00	1,99 ^c ±0,26	0,14 ^c ±0,19	1,74 ^c ±0,84	1,36 ^c ±0,69	0,11 ^c ±0,13
	-1,50	0,24 ^d ±0,26	0,00 ^c ±0,00	0,37 ^d ±0,37	0,03 ^d ±0,06	0,00 ^c ±0,00
	-2,00	0,05 ^d ±0,10	0,00 ^c ±0,00	0,01 ^d ±0,02	0,01 ^d ±0,02	0,03 ^c ±0,06
	-2,50	0,00 ^d ±0,00	0,00 ^c ±0,00	0,01 ^d ±0,02	0,00 ^d ±0,00	0,00 ^c ±0,00

Letras distintas dentro de cada especie (en columna) indican diferencias significativas entre las distintas concentraciones ($p \leq 0,05$) según test de Tukey.

Different letters within each species (in column) indicate significant differences ($p \leq 0,05$) among concentrations following Tukey's test.

Panicum coloratum. De todas las especies estudiadas *Panicum coloratum* fue la que presentó menor tolerancia a condiciones de estrés. Nuevamente la interacción entre el tipo de solución y la concentración resultó significativa ($p \leq 0,001$) y se debió también al efecto tóxico de las sales de sulfato aun en bajas concentraciones (Fig. 2). A diferencia de las otras especies, cuando el Ψ_0 de la solución llegó a -1,5 MPa la germinación se inhibió casi por completo. La velocidad de germinación representada con el ERI y el MTG reflejó los mismos cambios que la germinación en función de la concentración y del tipo de solución (Tablas 1 y 2).

DISCUSIÓN

El efecto de la salinidad en la germinación de las cuatro especies estudiadas resultó en una disminución de los porcentajes y la velocidad de germinación. Estos resultados concuerdan con varios estudios tanto en halófitas como en glicófitas (Khan y Rizvi, 1994; Ungar, 1995; Katembe et al., 1998; Gulzar et al., 2001; Khan et al., 2006; Gorai y Neffati, 2007). El riego con soluciones salinas de potenciales hídricos menores de -1,5 MPa resultó en escasa o nula germinación, coincidiendo también con lo observado para la mayoría de las especies

Tabla 2. Valores medios y desvíos estándar del tiempo medio de germinación (MTG) en las cuatro especies evaluadas, para cada solución y concentración de la misma (MPa). (-) semillas que no germinaron durante el experimento).

Table 2. Mean values and standard deviations of the mean time to germination (MTG) in the four species evaluated, for each solution and concentration (MPa). (-) seeds not germinated during the experiment).

	Concentración (MPa)	Solución									
		KCl		K ₂ SO ₄		Manitol		NaCl		Na ₂ SO ₄	
<i>Agropyron elongatum</i>	0,00	1,75a	±0,09	1,72a	±0,30	1,82a	±0,10	1,75a	±0,23	1,97a	±0,35
	-0,50	2,05a	±0,20	2,63a	±0,33	2,55a	±0,24	2,58ab	±0,13	2,96a	±0,22
	-1,00	3,55ab	±0,23	4,70b	±0,43	3,70b	±0,46	3,37abc	±0,40	5,51b	±0,53
	-1,50	4,90b	±0,80	5,05c	±3,60	6,11c	±0,38	5,16bc	±0,63	7,83c	±0,34
	-2,00	4,63c	±3,09	-	-	6,67c	±0,62	3,50c	±2,38	4,00d	±4,62
	-2,50	-	-	-	-	6,19c	±0,62	-	-	-	-
<i>Antephora pubescens</i>	0,00	1,21a	±0,17	1,17a	±0,23	1,16a	±0,13	1,06a	±0,07	1,20a	±0,32
	-0,50	2,12a	±0,73	2,53ab	±0,70	1,64ab	±0,14	2,04ab	±0,39	3,40ab	±1,00
	-1,00	2,94a	±0,51	5,40bc	±1,04	3,24bc	±0,29	3,42ab	±0,62	5,42bc	±1,71
	-1,50	6,61b	±1,01	8,25cd	±3,50	4,51c	±1,47	4,34bc	±1,06	7,25c	±2,99
	-2,00	7,25bc	±2,99	-	-	3,43c	±0,85	7,46c	±3,15	-	-
	-2,50	9,50c	±1,00	-	-	3,60c	±0,85	-	-	-	-
<i>Cenchrus ciliaris</i>	0,00	1,23a	±0,03	1,16a	±0,04	1,28a	±0,11	1,24a	±0,19	1,17a	±0,11
	-0,50	1,75a	±0,27	2,24a	±0,29	1,53ab	±0,22	1,96ab	±0,32	2,19b	±0,35
	-1,00	2,76a	±0,26	5,08ab	±3,30	1,82ab	±0,17	2,66b	±0,34	3,05c	±0,71
	-1,50	3,53a	±0,38	8,25b	±3,50	1,97ab	±0,36	4,09c	±0,74	-	-
	-2,00	-	-	-	-	2,15bc	±0,22	-	-	-	-
	-2,50	-	-	-	-	2,84c	±0,63	-	-	-	-
<i>Panicum coloratum</i>	0,00	3,72a	±0,70	3,89a	±0,25	3,84a	±0,36	3,97a	±0,24	3,81a	±0,25
	-0,50	4,44a	±0,77	4,65ab	±0,62	4,29ab	±0,42	4,44a	±0,53	5,09a	±0,60
	-1,00	5,43a	±0,74	8,00b	±4,00	6,15bc	±1,05	5,75b	±0,20	9,00b	±1,41
	-1,50	8,83b	±2,19	-	-	7,69c	±1,75	9,75c	±0,50	-	-
	-2,00	9,25b	±1,50	-	-	-	-	10,25c	±0,50	9,75b	±0,50
	-2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Letras distintas dentro de cada especie (en columna) indican diferencias significativas entre las distintas concentraciones ($p \leq 0,05$) según test de Tukey.

Different letters within each species (in column) indicate significant differences ($p \leq 0,05$) among concentrations following Tukey's test.

vegetales estudiadas hasta el momento (Khan y Rizvi, 1994; Katembe et al., 1998; Gulzar et al., 2001; Khan et al., 2006; Gorai y Neffati, 2007; Bilquees y Khan, 2008). Excepcionalmente algunas halófitas muy tolerantes a la salinidad como *Zostera marina* pueden germinar a niveles similares al agua de mar (3,3%) (Harrison, 1991; Probert y Brenchley, 1999). *Salicornia pacifica* var. *utahensis* presentó algo de germinación a niveles del 5% de salinidad (Khan y Weber, 1986), pero para la mayoría de las especies vegetales la etapa más crítica y sensible de todo el ciclo de vida es la germinación.

También se observó en este trabajo un efecto tóxico de las sales respecto del manitol en las cuatro especies estudiadas. Estas mostraron porcentajes de germinación mayores en manitol

que en cualquiera de las sales ensayadas, principalmente en los potenciales hídricos críticos (-1 y -1,5 MPa). El caso de *Cenchrus ciliaris* fue el más notorio donde los porcentajes de germinación alcanzaron al 50% en manitol respecto de 0% en las sales, aún en los potenciales hídricos más negativos. La mayoría de los autores coinciden en que el efecto inhibitorio de las sales sobre la germinación es tanto iónico como osmótico (Ungar, 1978; Ungar, 1991; Katembe et al., 1998; Khan et al., 2006) y en la naturaleza actuaría induciendo la dormancia para sincronizar los eventos germinativos con las condiciones ambientales (Redbo-Torstensson, 1994). Estudios realizados por Katembe y colaboradores (1998) mostraron que la imbibición en NaCl fue menor que la que se produjo en soluciones isosmóticas de PEG)

en semillas de *A. prostrata* (syn *A. triangularis*) y *A. patula*. Estos autores sugieren que la influencia del NaCl es una combinación de un efecto osmótico y un efecto de ión específico.

Se demostró que las sales de sulfato resultaron notoriamente más perjudiciales que las sales de cloruro en las cuatro especies estudiadas, disminuyendo la germinación (respecto de las otras sales) a partir de -1 MPa. Algunas sales inhiben la germinación más que otras al mismo nivel de estrés osmótico, debido a un efecto de toxicidad propio de cada ión (Ungar, 1978). Los porcentajes de germinación observados en semillas de *A. prostrata*, luego de haber sido regadas con soluciones de NaCl, KCl, Na₂SO₄ y K₂SO₄, indicaron un efecto iónico específico: las semillas regadas con sales de Na⁺ germinaron menos que aquellas regadas con sales de K⁺ (Egan et al., 1997).

El efecto tóxico de los iones es dependiente también de la especie vegetal. Por ejemplo, la germinación de *Sporobolus airoides* se redujo más en soluciones de MgCl₂ y KCl que en soluciones isosmóticas de NaCl y CaCl₂ (Hyder y Yasmin, 1972). Por otra parte, la germinación de *Salsola baryosmaque* fue reducida más por soluciones de CaCl₂ y KCl que de NaCl (Mohammed y Sen, 1990). Los iones sulfato redujeron más la germinación de *Diplachne fisco* (Myers y Morgan, 1989) y *Sarcobatus vermiculatus* (Romo y Eddleman, 1985) que los cloruros.

La germinación de semillas de *Ceratoides lanata* fue inhibida en mayor medida por las sales de cloro que por las de sulfato. La germinación de *Haloxylon salicornicum* fue mayor en NaCl y CaCl₂ que en MgSO₄ y NaHCO₃ (Kaul y Shankar, 1988). Semillas de *Suaeda japonica* germinaron en menores porcentajes en NaCl y KCl que en gluconato de sodio y de potasio, indicando sensibilidad a los iones cloro (Yokoishi y Tanimoto, 1994). Sin embargo, en este trabajo no se observaron diferencias entre especies en cuanto al efecto de las sales: en todos los casos las sales de sulfato resultaron más perjudiciales que las de cloruro, y éstas más que el manitol.

CONCLUSIONES

Se observó un patrón común entre las especies relacionado con la interacción entre el tipo de soluto utilizado y la concentración de la solución de riego. Esta interacción fue resultado del efecto tóxico de las sales de sulfato sobre la germinación. Esto hizo que tanto los porcentajes como la velocidad de este proceso se vieran disminuidos marcadamente más allá del efecto osmótico. *Cenchrus ciliaris* fue la especie más tolerante al estrés hídrico inducido con manitol, registrando porcentajes de germinación cercanos al 50% aún en Ψ_0 de -2,5 MPa. Bajo condiciones de estrés salino su comportamiento no fue tan bueno, tolerando bajas concentraciones de las sales KCl, Na₂SO₄ y K₂SO₄, y moderadas de NaCl. *Panicum coloratum* fue la especie menos tolerante a condiciones de estrés presentando bajos porcentajes de germinación a -1 MPa, y ninguna respuesta a Ψ_0 iguales o menores a -1,5 MPa, independientemente del soluto utilizado.

REFERENCIAS

- Altuve, S., J. Fernández y E. Ocampo (2000). Experiencias con forrajeras del genero *Panicum* en el medio-este de corrientes. E.E.A. Mercedes, Corrientes, Argentina. *Noticias y Comentarios* N° 334.
- Ashraf, M. y M.R. Foolad (2005). Pre-sowing seed treatment: a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advance in Agronomy* 88: 223-271.
- Bewley, J.D y M. Black (1986). Seeds: Physiology of development and germination. Plenum Press, New York.
- Bewley, J.D y M. Black (1994). Seeds: Physiology of development and germination. 2nd ed. New York: Plenum.
- Bewley, J.D. (2001). Seed Germination and Reserve Mobilization. En: Encyclopedia of Life Sciences Nature Publishing Group. www.els.net
- Bilquees, G. y M.A. Khan (2008). Effect of compatible osmotica and plant growth regulators in alleviating salinity stress on the seed germination of *Allenrolfea occidentalis*. *Pakistan Journal of Botany* 40: 1957-1964.
- Bradford, K.J. (1995). Water relations in seed germination. En: Jaime Kigel y Gad Galili (ed.). Seed Development and Germination. Editorial Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp 351-396.
- Bradford, K.J. (1996). Population-based models describing seed dormancy behaviour implications for experimental design and interpretation. En: G.A. Lang (ed.). Plant Dormancy: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. CAB International. pp. 313-340.
- Bradford, K.J. (1997). The hidrotime concept in seed germination and dormancy. En: R.H. Ellis, M. Black, A.J. Murdoch y T.D. Hong (eds.). Basic and Applied Aspects of Seed Biology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Gran Bretaña. pp. 349-360.
- Butt, M.N., G.B Donart, M.G. Southward, R. Pieper y D.N. Mohammed (1992). Effects of defoliation on plant growth of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*). *Annals of Arid Zones* 31: 19-24.
- Cirelli, A.F. y A.V. Volpedo (2002). Las tierras secas de Iberoamerica .El agua en Iberoamérica; De la escasez a la desertificación. CYTED XVII, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Aprovechamiento y gestión de recursos hídricos. http://www.produccion-animal.com.ar/agua_cono_sur_de_america/31-tierras_secas_iberamerica.htm
- Dodd, G.L. y L.A. Donovan (1999). Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of cold desert shrubs. *American Journal of Botany* 86: 1146-1153.
- Egan, T.P., I.A. Ungar y J.F. Meekins (1997). The effect of different salts of sodium and potassium on the germination of *Atriplex prostrata* (Chenopodiaceae). *Journal of plant Nutrition* 20: 1723-1730.
- Fenner, M. y K. Thompson (2005). The Ecology of Seeds. Cambridge University Press. pp 1-29, 241 p.
- García Espil, A. (1990). Pasturas, implantación y cuidados culturales. Cuaderno de actualización técnica N° 49. Departamento de estudios y de prensa y difusión de AACREA, capítulos 1 y 3.
- Gorai, M. y M. Neffati (2007). Germination responses of *Reaumuria vermiculata* to salinity and temperature. *Annals of Applied Biology* 151: 53-59.
- Gulzar, S., M.A. Khan y I.A. Ungar (2001). Effect of salinity and temperature on the germination of *Urochondra setulosa* (Trin) C.E. Hubbard. *Seed Science and Technology* 29: 21-29.

- Harrison, P.G. (1991). Mechanisms of seed dormancy in annual populations of *Zostera marina* (eelgrass) from The Netherlands. *Canadian Journal of Botany* 69: 1972-1076.
- Hyder, S.Z. y S. Yasmin (1972). Salt tolerance and cation interaction in alkali sacaton at germination. *Journal of Range Management* 25: 390-392.
- Iqbal, M., M. Ashraf, A. Jamil y S. Rehman (2006). Does seed priming induce changes in the levels of some endogenous plant hormones in hexaploid wheat plants under salt stress? *Journal of Integrative Plant Biology* 48: 181-189.
- Katembe, W.J., I.A. Ungar y J.P. Mitchel (1998). Effect of salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species (Chenopodiaceae). *Annals of Botany* 82: 167-175.
- Kaul, A. y V. Shankar (1988). Ecology of seed germination of the chenopod shrub *Haloxylon salicornicimi*. *Tropical Ecology* 29: 110-115.
- Khan, M.A. (1991). Studies on germination of *Cesca cretica*. *Pakistan Journal of Weed Science Research* 4: 89-98.
- Khan, M.A. y Y. Rizvi (1994). Effect of salinity, temperature and growth regulators on the germination and early seedling growth of *Atriplex griffithii* var. stocksii. *Canadian Journal of Botany* 72: 475-479.
- Khan, M.A., M. Zaheer Ahmed y A. Hameed (2006). Effect of sea salt and L-ascorbic acid on the seed germination of halophytes. *Journal of Arid Environments* 67: 535-540.
- Khan, M.A. y I.A. Ungar (1984). The effect of salinity and temperature on the germination of polymorphic seed and growth of *Atriplex triangularis*. *Willdlife Botanical Gazeta* 145: 487-494.
- Khan, M.A. y D.J. Weber (1986). Factors influencing seed germination in *Salicornia pacifica* var. utahensis. *American Journal of Botany* 73: 1163-1167.
- Marañón, T., L.V. García y A. Troncoso (1989). Salinity and germination of annual *Melilotus* from the Gaddalquivir delta (SW). *Plant Soil* 119: 223-228.
- Mohammed, S. y D.N. Sen (1990). Germination behaviour of some halophytes in Indian desert. *Indian Journal of Experimental Biology* 28: 545-549.
- Myers, B.A. y W. C Morgan (1989). Germination of the salttolerant grass *Diplachne fusca*. II. Salinity responses. *Australian Journal of Botany* 37: 239-251.
- Newman, Y. y H. Delgado (1999). Crecimiento del pasto buffel 1. Arquitectura de la planta. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 16: 319-326
- Öztürk, M., S. Baslar, Y. Dogan y M. Sakcali (2006). Alleviation of Salinity Stress in the Seeds of some *Brassica* Species. En: Ajmal Khan and D. Weber (eds.). *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*. Chapter 10. M.
- Petruzzi, H., N. Stritzler, E. Adema, C. Ferri y J. Pagella (2003). Mijo Perenne - *Panicum coloratum*. Talleres gráficos de la E.E.A. Anguil INTA "Ing. Agr. Guillermo Covas".
- Pompelli, M., D. Fernandes y M. Guerra (2006). Germination of *Dyckia encholirioides* (Gaudichaud) Mez var. encholirioides under saline conditions. *Seed Science and Technology* 34: 759-763.
- Probert, R.J. y J.L. Brenchley (1999). The effect of environmental factors on field and laboratory germination in a population of *Zostera marina* L. from southern England. *Seed Science Research* 9: 331-339.
- Redbo-Torstensson, P. (1994). Variation in plastic response to salinity gradient within a population of the halophytic plant. *Spergularia marina*. *Oikos* 70: 349-358.
- Romo, J.T. y L.E. Eddleman (1985). Germination response of greasewood (*Sarcobatus vermiculatus*) to temperature, water potential and specific ions. *Journal of Range Management* 38: 117-120.
- Ruiz, M.A., O. Martínez y A. Golberg (2005). Osmorregulación y germinación de *Tetrachne dregei*, *Panicum coloratum* y *Eragrostis curvula*. Investigación en producción animal 2005. Región subhúmeda y semiárida pampeana. *Boletín de Divulgación Técnica* N° 88: 39-41.
- Shmueli, M. & D. Goldberg (1971). Emergence, early growth and salinity of five vegetable crops germinated by sprinkle and trickle irrigation in arid zones. *Hort Science* 6: 176-177.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross (1994). *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica S. A de C. V. México. 2.
- Sivritepe, N., H. Sivritepe y A. Eris. (2003). The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae* 97: 229-237.
- Ungar, I.A. (1978). Halophyte seed germination. *Botanical Review* 44: 233-264.
- Ungar, I.A. (1991). *Ecophysiology of vascular halophytes*. CRC Press. Boca Ratón. Florida. USA.
- Ungar, I.A. (1995). Seed germination and seed bank ecology in halophytes. En: J. Kigel and G. Galili (eds.) *Seed Development and Germination*. pp. 599-628.
- Welbaum, G.E. y K.J. Bradford (1988). Water Relations of Seed Development and Germination in Muskmelon (*Cucumis melo* L.). I. Water relations of seed and fruit development. *Plant Physiology* 86: 406-411.
- Welbaum, G.E. y K.J. Bradford (1989). Water relations of seed development and germination in muskmelon (*Cucumis melo* L.). II. Development of germinability, vigour, and desiccation tolerance. *Journal of Experimental Botany* 40: 1355-1362.
- Welbaum, G.E., T. Tissaoui y K.J. Bradford (1990). Water Relations of Seed Development and Germination in Muskmelon (*Cucumis melo* L.). III. Sensitivity of Germination to Water Potential and Abscisic Acid during Development. *Plant Physiology* 92: 1029-1037.
- Yokoishi, T. y S. Tanimoto (1994). Seed germination of the halophyte *Suaeda japonica* under salt stress. *Journal of Plant Research* 107: 385-388.