

Efecto de la concentración salina y el régimen hídrico sobre la germinación, emergencia y establecimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Recibido 24 de enero de 2020 //
Aceptado 15 de diciembre de 2020 //
Publicado online 27 de octubre de 2021

Bertram, N.A.¹; Alfonso, C.²; Grande, S.³; Chiacchiera, S.¹; Ohanian, A.³; Bonvillani, J.³; Conde, M.B.¹; Angeletti, F.r.¹

RESUMEN

Los suelos halo-hidromórficos de la región húmeda y subhúmeda de Argentina suman aproximadamente 20 millones de hectáreas, un amplio porcentaje de estos presentan vegetación nativa de baja producción de biomasa y consumo de agua. Entender el funcionamiento de especies forrajeras perennes como alfalfa en estos sitios es de suma importancia para mejorar la producción de los sistemas allí ubicados. El objetivo de este trabajo fue comprender y cuantificar el efecto de la salinidad y el contenido hídrico edáfico sobre la germinación, emergencia y establecimiento temprano del cultivo de alfalfa. Así se realizaron tres experimentos a diferentes escalas: (E1) experimento en cámara de germinación, con el fin de determinar, bajo condiciones controladas, el efecto de diferentes condiciones de salinidad y disponibilidad hídrica sobre la germinación y emergencia de alfalfa; (E2) un experimento en invernáculo para evaluar el efecto del estrés hídrico (por exceso o por defecto) sobre plantas de alfalfa en la etapa de establecimiento temprano; y (E3) un experimento a campo, con el fin de identificar y jerarquizar indicadores ambientales determinantes de la emergencia, establecimiento y producción del cultivo de alfalfa. Se halló que en ambientes halo-hidromórficos la concentración salina fue la principal variable determinante del crecimiento y supervivencia de la especie durante las etapas tempranas con límites cercanos a 4 dS.m⁻¹. El exceso o déficit hídrico afectó al stand de plantas, reduciendo a la mitad el número de individuos. La plasticidad fenotípica de la alfalfa frente a diferentes tenores salinos, así como al estrés hídrico (por exceso o por defecto) determina que sea una especie para considerar cuando se pretende producir biomasa de alta calidad, distribuida en el tiempo, en este tipo de ambientes.

Palabras clave: establecimiento, sequía, inundación, suelos halo-hidromórficos.

ABSTRACT

The halo-hydromorphic soils of the humid and sub-humid region of Argentina cover approximately 20 million hectares. A large proportion of them have native vegetation with low biomass production and water consumption. Understanding the functioning of perennial forage species such as alfalfa in these sites is of paramount importance to improve the productivity of the grazing systems located there. The objective of this work is to understand and quantify the effect of salinity and soil water content on the germination, emergence and early establishment of alfalfa. Three experiments were carried out at different scales: (E1) germination chamber experiment, to determine, under controlled conditions, the effect of different salinity and water availability conditions on the germination and emergence of alfalfa; (E2) a greenhouse experiment to assess the effect of water stress (by insufficiency or excess) on alfalfa plants in the early establishment stage; and (E3) a field experiment, to identify and rank environmental indicators that determine the emergence, establishment and production

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Marcos Juárez, ruta n.º 12 km 2, (2580) Marcos Juárez, Córdoba, Argentina. Correo electrónico: bertram.nicolas@inta.gob.ar

²Becaria INTA-AUDEAS (Asociación Universitaria de Enseñanza Agropecuaria Superior). CONADEV (Consejo Nacional de Decanos de Facultades de Veterinaria).

³Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Facultad de Ciencias Agrarias. Córdoba.

of alfalfa. It was found that, in halo-hydromorphic environments, saline concentration was the main variable affecting alfalfa growth and survival during the early stages, where salinity levels close to $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Water stress by excess or water deficit affected plant stands, halving the number of individuals. The phenotypic plasticity of alfalfa against different salinity and water conditions, makes it a species to consider to produce high quality biomass, distributed over time, in this type of environment.

Keywords: establishment, drought, flood, halo-hydromorphic soils.

INTRODUCCIÓN

Argentina es el tercer país del mundo con mayor superficie afectada por el halo-hidromorfismo (Lavado y Taboada, 2009), sumando en la región pampeana aproximadamente 20 millones de hectáreas con esta problemática (Gorgas y Bustos, 2008). Muchos de estos ambientes se asocian a planicies y napas freáticas cercanas a la superficie (Jobbagy *et al.*, 2008), que transitan, durante periodos cortos, situaciones hídricas extremas (ej.: inundaciones y sequías). Estos ambientes, en su mayoría se destinan a usos ganaderos con producciones limitadas de forraje o permanecen improductivos (Marino y Agnusdei, 2011).

El crecimiento de las pasturas está íntimamente asociado al efecto de factores abióticos tales como la salinidad, la disponibilidad de agua, nutrientes y contenido de materia orgánica, etc., que juegan un papel primordial sobre todo en las etapas tempranas de crecimiento. En el caso específico de alfalfa, la concentración salina así como la alternancia entre sequías e inundaciones podrían tener un peso significativamente superior al resto de las variables edáfo-climáticas (Priano y Pillatti, 1989; Shannon y Grieve, 1999).

El cultivo de alfalfa por ser una especie perenne, de gran plasticidad fenotípica y con una producción de forraje distribuida durante todo el año (Brown *et al.*, 2005; Collino *et al.*, 2005), se presenta como una alternativa para incrementar la producción forrajera en algunos de estos ambientes, aportando mayor estabilidad a los sistemas ganaderos. Adicionalmente, las etapas tempranas de implantación y establecimiento de esta especie, al igual que en otras forrajeras, son consideradas las más sensibles (Scheneiter, 2007), sumado a que durante estas etapas se define el stand de plantas, lo cual está íntimamente asociado a la productividad y perennidad de la pastura.

Trabajos previos donde se evaluó el efecto de la concentración salina sobre el cultivo de alfalfa emplearon una solución salina formulada (Munns y Tester, 2008; Bennett *et al.*, 2009) que no llega a ser representativa de lo que ocurre en el suelo. Otros estudios evaluaron el efecto de la salinidad en un estado adulto de la especie observando solamente la disminución en el rendimiento (Shannon 1997; Zora Dajic, 2006). A nuestro entender, no hay trabajos que combinen el efecto de la salinidad y el estrés hídrico en estadios fenológicos tempranos de esta especie. El objetivo de este trabajo es, por lo tanto, comprender y cuantificar el efecto de la salinidad y el contenido hídrico edáfico sobre las etapas de germinación, emergencia y establecimiento temprano del cultivo de alfalfa, combinando información obtenida en cámara de crecimiento, invernáculo y campo, respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo de este trabajo se realizaron tres experimentos. El primero de ellos tuvo lugar en la Facultad de

Agronomía de la Universidad Nacional de Río Cuarto, en cámara de germinación (E1) con el fin de determinar, bajo condiciones controladas, el efecto de diferentes niveles de salinidad y disponibilidad hídrica sobre la emergencia de alfalfa. El segundo experimento se realizó en condiciones semicontroladas, en un invernáculo del INTA Marcos Juárez (E2) para evaluar el efecto del estrés hídrico (por exceso o por defecto) sobre plantas de alfalfa en la etapa de establecimiento temprano. El tercer experimento se hizo en condiciones de campo, en un lote heterogéneo de capacidad de uso VII ws, ubicado a 15 km al oeste de la localidad de Noetinger (E3), con el fin de identificar y jerarquizar indicadores ambientales determinantes de situaciones de diferente potencialidad para la emergencia, establecimiento y producción del cultivo de alfalfa.

Los experimentos se llevaron a cabo entre junio de 2014 y abril de 2015. En todos ellos, se utilizó semilla del cultivar de alfalfa WL1058 con 87% energía germinativa y 94% poder germinativo (Normas ISTA, 2007). El diseño y los procedimientos específicos de cada experimento se detallan a continuación:

E1: el experimento se realizó en cámara de germinación bajo condiciones controladas de temperatura (normas ISTA 20 °C), luz (12 horas) y humedad (100%). Constó de la combinación factorial de dos condiciones de disponibilidad hídrica (capacidad de campo -CC- y seco -SC-) y cuatro suelos extraídos de ambientes halo-hidromórficos de diferente conductividad eléctrica ($\text{CE}_{1:2,5^1}$ 0,2; 2,1; 3,9 y 8,7 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) buscando representar un gradiente de restricciones asociadas principalmente al tenor salino. Para ello se obtuvieron las constantes hídricas y se calculó el agua de riego necesaria para mantener los tratamientos a CC corrigiendo la humedad a partir de determinaciones humedad gravimétrica cada 60°Cd, los tratamientos de SC comenzaron en una situación de CC y no se los regó más durante todo el experimento. Se emplearon 8 bandejas de 64 celdas (24 cm^3 por celda), donde se colocaron 20 gramos de suelo en cada una, utilizando dos bandejas por cada tipo de suelo. Se sembraron tres semillas por celda para asegurar la germinación y, luego de la emergencia, se raleó dejando una plántula. Durante los 480°Cd del periodo experimental se efectuaron determinaciones destructivas y no destructivas cada 60°Cd (Tb: 5 °C, Fick *et al.*, 1988; Baldissera *et al.*, 2014). Las variables evaluadas en las plántulas fueron porcentaje de emergencia, altura de plántula y biomasa aérea acumulada, y en el suelo, humedad gravimétrica, conductividad eléctrica y pH en una dilución suelo-agua 1:2,5.

E2: se realizó bajo condiciones semicontroladas de invernáculo en la EEA INTA Marcos Juárez (32° 43' S, 62° 06' O). Se sembró el 10 de octubre de 2014 en macetas de 20 litros. La semilla se distribuyó en dos surcos de 23 cm de longitud espaciados a 15 cm entre sí. Se ajustó la densidad de siembra en función del PG, con el objetivo de lograr una densidad de 500 plántulas. m^{-2} . El suelo que se utilizó para rellenar las macetas fue un Argiudol típico de la serie Marcos Juárez (sin

limitantes). Todas las macetas se mantuvieron a capacidad de campo (CC), a partir de obtener las constantes hídricas y de realizar el cálculo de los mm de agua por maceta, posteriormente se fueron obteniendo muestras de humedad gravimétrica de suelo para corregir la cantidad de agua de riego. Esto se realizó desde la siembra hasta estabilizar la densidad de plántulas (450°Cd, figura 2a) posteriormente se impusieron los tratamientos de secano (SC) que no recibieron más agua, CC, e inundados (suelo saturado SAT) por periodos de 7 (I-7, hasta los 606°Cd), 14 (I-14, hasta los 762°Cd), 28 (I-28, hasta los 1086°Cd) y 42 días (I-42, hasta los 1400°Cd), que tras el periodo de inundación no volvieron a ser regados hasta el final del experimento (1400°Cd, 15 de diciembre de 2014). El ensayo contó con 4 repeticiones por tratamiento. Se registró la evolución de la densidad de individuos, la cantidad de agua aplicada en cada tratamiento y el contenido de humedad gravimétrica (HG).

E3: el experimento fue realizado en un lote de visible heterogeneidad ambiental del sudeste de Córdoba en la zona rural de Noetinger (32° 21' S y 62° 27' O). Se identificaron y delimitaron 16 sitios con diferentes tenores salinos y nutricionales buscando abarcar un amplio gradiente ambiental. El lote analizado presentaba una pastura de alfalfa implantada en marzo del 2014. Se tomaron mediciones de variables climáticas (precipitaciones y temperatura media diaria) y edáficas (conductividad eléctrica ($CE_{1,2,5}$), pH, materia orgánica, fósforo y nitrógeno) a una profundidad de 0-5 y 5-20 cm, previo a la acumulación de comienzos de otoño, y se las relacionó con la biomasa acumulada, mostrando para este trabajo solamente un crecimiento de principios de otoño (marzo-abril 2015) extrayendo 4 submuestras de 0,25 m² en cada sitio, realizando tres repeticiones por sitio.

Análisis estadísticos

Todas las variables fueron analizadas mediante modelos lineales mixtos en SAS, contemplando la correlación entre los datos por ser medidas repetidas. Para la comparación de medias se utilizó la prueba LSD Fisher ($P < 0,05$), y para el análisis de regresiones se utilizó el modelo de regresión lineal simple y múltiple (método stepwise) ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Experimento 1 (E1)

Al analizar el efecto de la salinidad y el contenido de agua sobre la emergencia de la alfalfa, se observó que concentraciones salinas de 8,7 dS.m⁻¹ ($CE_{1,2,5}$) afectaron totalmente la emergencia de las plántulas. Mientras que, en el rango de 0 a 3,9 dS.m⁻¹, el porcentaje de emergencia se redujo en un 6,4% por cada punto de incremento de la salinidad, $r^2 = 0,99$, $p < 0,05$) (tabla 1). No se halló interacción entre contenido de humedad y $CE_{1,2,5}$ para el porcentaje de emergencia.

CE (dS.m ⁻¹)	0	0,22	2,10	3,90	8,70
% Emergencia	94,5±0,7	92,7±0,7	80,5±1,1	69,3±1,5	0

Tabla 1. Efecto de la conductividad eléctrica sobre la emergencia de alfalfa.

CE= Conductividad eléctrica (dS.m⁻¹) en una dilución 1:2,5,0

En las etapas subsiguientes a la emergencia, el estrés hídrico causado por las condiciones del tratamiento SC afectó negativamente a la alfalfa, disminuyendo las tasas de crecimiento de las plántulas, reduciendo la biomasa acumulada y altura final. Así, aquellos tratamientos a CC alcanzaron valores promedio de biomasa acumulada y altura 2,85 y 2,35 veces superiores a los de SC, respectivamente (figura 1).

Se detectó una clara interacción entre los tratamientos de salinidad y disponibilidad hídrica aplicados ($p < 0,001$). Cuando las plántulas no estuvieron restringidas por agua (CC), se observó una marcada disminución del peso y altura de estas ante incrementos en la salinidad: por cada punto de incremento de $CE_{1,2,5}$ hasta 4 dS.m⁻¹, la biomasa disminuyó en 1,22 mg MS.plántula⁻¹ y la altura en 1,10 cm.plántula⁻¹, o lo que es lo mismo, ambas variables disminuyeron aproximadamente un 17%. Por su parte, cuando el agua fue limitante (SC), no se evidenció un efecto sobre la altura o biomasa de las plántulas ante incrementos en la salinidad en el suelo. De este modo, las diferencias en altura y biomasa de plántulas, halladas entre los tratamientos SC y CC, fueron disminuyendo con el incremento de la salinidad hasta valores cercanos a los 4 dS.m⁻¹.

Experimento 2 (E2)

Respecto al experimento de disponibilidad hídrica y duración del anegamiento o la sequía, se observó que la densidad de plantas no se modificó respecto a la inicial en el tratamiento CC donde se mantuvo durante todo el establecimiento temprano una HG cercana a 24±1,7% (figura 2a), periodos cortos de estrés hídrico (200°Cd posteriores al momento de colocación de los tratamientos de diferentes disponibilidades hídricas figura 2a) no afectaron significativamente la densidad de plantas. Posteriormente, el tratamiento SC fue el primero en mostrar diferencias significativas respecto de los demás tratamientos, seguido del I-42 a los 300°Cd ($p < 0,05$). Después de los 500°Cd que se impusieron los regímenes hídricos, el tratamiento CC difirió significativamente de SC, I-7, I-14 e I-28 y estos respecto del I-42, manteniéndose estas diferencias hasta el final del experimento ($p < 0,05$).

El tratamiento CC alcanzó una densidad de 460±2 plantas.m⁻² sin presentar mortandad de individuos (figura 2b), mientras que el tratamiento I-42, presentó una mortandad de 243 plantas.m⁻² (figura 2b), aquellos tratamientos de SC, I-7 e I-14, mostraron caídas promedio de 201 plantas.m⁻², debido a que si bien estos tratamientos fueron de inundación "de corta duración" no presentaron mortandad de individuos durante los 7 y 14 días de anegamiento (figura 2a). Estos estuvieron sometidos a un periodo de déficit hídrico hacia el final del experimento donde el contenido de agua del suelo alcanzó valores por debajo del punto de marchitez permanente (figura 2b ④). Adicionalmente I-28 mostró una caída en la densidad de individuos de 225 plantas.m⁻², este tratamiento pareciera haber sido mayormente afectado por el exceso hídrico, mostrando que la principal merma en la densidad de individuos se observó con valores de HG superiores al 30% (figura 2b).

Experimento 3 (E3)

A partir de análisis de regresión lineal múltiple, se observó que las variables evaluadas que mejor explicaron la biomasa acumulada de alfalfa medida a campo durante la etapa de es-

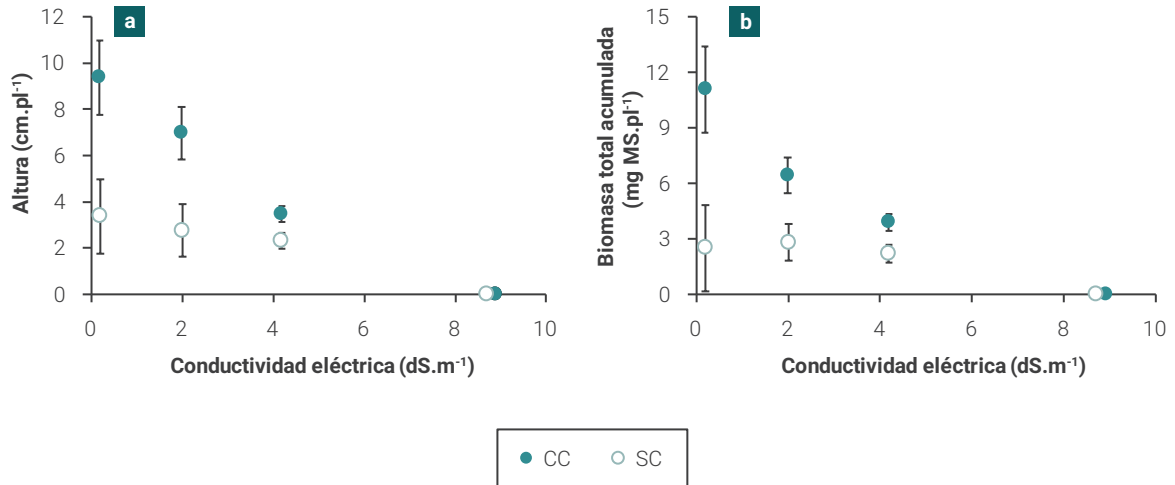


Figura 1. Efecto de la conductividad eléctrica (dS.m^{-1}) y el contenido hídrico (SC-sequía y CC-capacidad de campo) sobre a- la altura y b- la biomasa acumulada de alfalfa (*Medicago sativa*) al final del periodo experimental (duración del experimento 30 días).

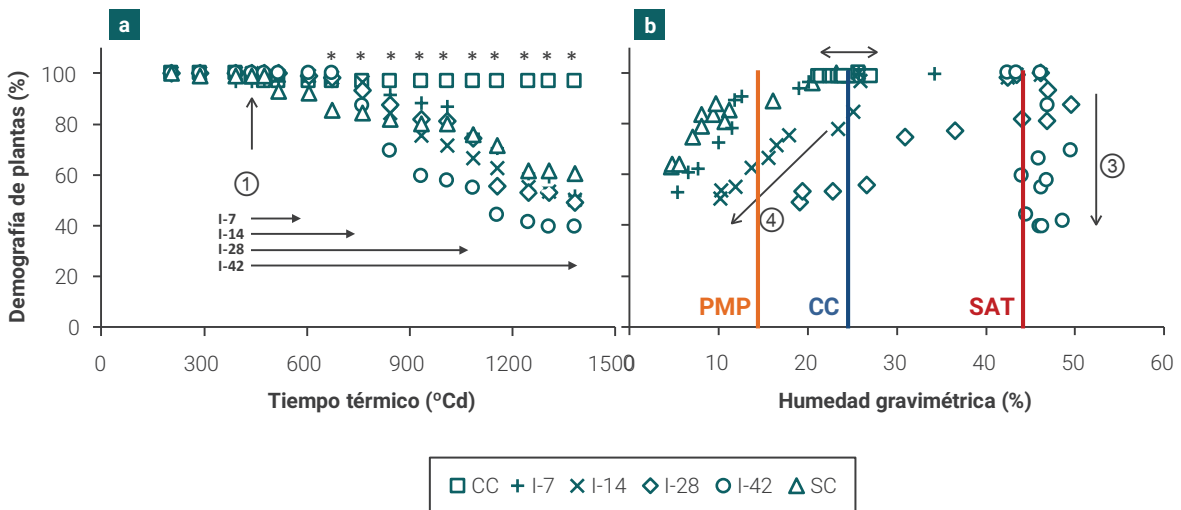


Figura 2. Demografía de plantas de alfalfa (%) en función a- del tiempo térmico y b- de la humedad gravimétrica para diferentes situaciones hídricas. El número j simboliza el momento en que se impusieron los tratamientos hídricos y los números k, l y m muestran la dinámica de plantas en relación a la humedad gravimétrica. Los asteriscos representan los momentos donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), las flechas punteadas representan la duración de las inundaciones, y las líneas de punto representan el porcentaje de humedad para PMP, CC y SAT.

tablecimiento fueron la $\text{CE}_{1,2,5}$ y el pH (tabla 2). Adicionalmente, mediante un análisis de regresión lineal para ambas variables por separado, la $\text{CE}_{1,2,5}$ explicó la mayor parte de la acumulación de biomasa del cultivo de alfalfa ($R^2=0,71$), hallando una relación negativa, al igual que para pH (figura 3a y b).

Así, por cada punto de incremento en el contenido de sales en los primeros 5 cm del perfil de suelo, se produjo una reducción de aproximadamente $400 \text{ kg MS.ha}^{-1}$ para la acumulación de biomasa del crecimiento de otoño analizado (figura 3a), no registrándose producción de biomasa con $\text{CE}_{1,2,5}$ superiores a 4 dS.m^{-1} .

Adicionalmente, con valores de salinidad de 0 a 1 dS.m^{-1} , se halló una gran dispersión en los puntos (figura 3a), habiendo sitios que acumularon $1000\text{-}1500 \text{ kg MS.ha}^{-1}$, mientras que otros alcanzaron los $2000\text{-}2500 \text{ kg MS.ha}^{-1}$. Una explicación a esta divergencia sería la disponibilidad de fósforo, la cual en los puntos correspondientes a las mayores producciones superó las 60 ppm, mientras que en el resto de los puntos evaluados rondó las 15 ppm (datos no mostrados). Otro factor que pudo condicionar la disponibilidad de P y otros nutrientes para la planta fue la elevada alcalinidad de algunos ambientes.

Modelo	Función	R2
Regresión Lineal Múltiple	$B = -301,8 \text{ CE} - 271,7 \text{ pH} + 3793,5$	0,76
Regresión Lineal Simple	$B = -402,4 \text{ CE} + 1710,9$	0,71
	$B = -650 \text{ pH} + 6450,9$	0,55

Tabla 2. Modelos de regresión lineal y múltiple.

B = Biomasa acumulada (kg MS.Ha⁻¹), CE= Conductividad eléctrica (dS.m⁻¹) en una dilución 1:2,5.

DISCUSIÓN

La producción de forraje está básicamente determinada por la radiación interceptada y el agua transpirada (Monteith, 1977). La salinidad y la sequía constituyen las mayores causas de estrés osmótico, reduciendo la absorción de agua y la transpiración, disminuyendo la producción de forraje (Sanden y Sheesley, 2007). Adicionalmente, las elevadas concentraciones salinas pueden generar efectos tóxicos y afectar el establecimiento de las diferentes especies (Priano y Pillatti, 1989; Munns, 2002). Para alfalfa, los límites de CE_{1:2,5} para su supervivencia en un estrato superficial de suelo (5 cm) en etapas de establecimiento temprano rondaron entre los 4 y 8 dS.m⁻¹, independientemente del contenido hídrico del suelo, (tabla 1 y figura 1), valores similares a los hallados en otros experimentos (Ungar, 1978; Shannon, 1997; Dajic, 2006), sin embargo los resultados de este trabajo no mostraron una mayor sensibilidad a la salinidad durante etapas tempranas de desarrollo respecto a etapas más avanzadas del cultivo (Ungar, 1978; Priano y Pillatti, 1989; Chinnusamy et al., 2006), sino todo lo contrario (figura 1 y 3).

En suelos halo-hidromórficos, la producción de forraje, tanto en términos de la densidad de individuos como de la biomasa acumulada, está condicionada directamente por la concentración de sales y la disponibilidad hídrica (Shannon y Grieve, 1999; Munns, 2002; Bazzigalupi et al., 2008). Incrementos en la conductividad eléctrica de hasta 2 dS.m⁻¹ no redujeron significativamente la densidad poblacional de alfalfa, pero disminuyeron el tamaño de los individuos (figura 1) y la biomasa acumulada (figura 3a). Esta reducción en el crecimiento puede estar asociada a procesos como la respiración, fotosíntesis, división y crecimiento celular, disponibilidad real de agua y

su eficiencia de utilización (Munns y Termaat, 1986; Munns, 1993; Netodo et al., 2004; Koyro, 2006; Bertram et al., 2014).

Aunque las plántulas presenten a nivel de suelo una condición hídrica adecuada, cercana a capacidad de campo, la salinidad puede mermar la disponibilidad de agua útil. Esto explicaría que con valores de conductividad eléctrica cercanos a 4 dS.m⁻¹ no se encuentren diferencias en parámetros de crecimiento (biomasa o altura de planta) entre diferentes niveles de disponibilidad hídrica. En ambientes halo-hidromórficos, además de la utilización de conceptos como el contenido hídrico a capacidad de campo o en punto de marchitez permanente, se debería contemplar el efecto de la salinidad y/o la capacidad de las diferentes especies de extraer agua del perfil. De esta manera el agua en el perfil, o lo que denominamos "agua útil", en ambientes halo-hidromórficos, no es el agua realmente disponible o útil para las plantas.

También se pudo observar que tanto excesos como déficits hídricos ocasionaron estrés en el cultivo de alfalfa y el efecto dependió del momento y duración de este. Un anegamiento o sequía temporaria (de menos de 500°Cd) en etapas tempranas de crecimiento no redujo de forma significativa el stand de plantas. Sin embargo, cuando el estrés se prolongó por aproximadamente 800-1000°Cd, la densidad de plantas disminuyó a menos de la mitad, lo cual repercutiría directamente sobre la producción de biomasa y la perennidad de la pastura.

Entendiendo, que tanto en los procesos de déficit hídrico como de anegamiento intervienen respuestas fisiológicas similares por parte de la planta, como el cierre estomático, la disminución de la respiración, reducción del crecimiento celular, etc. (Hsiao 1973; Munns 2002), el efecto relativo de la sequía y del anegamiento en ambientes sin presencia de sales, sobre variables como la densidad de individuos de alfalfa, fue similar ya que los tratamientos estresados por inundación o sequía disminuyeron la densidad de individuos aproximadamente un 50% al finalizar el ensayo (figura 2a). Cabría preguntarse si luego de haber transcurrido este tipo de estreses, la capacidad de compensación y la plasticidad fenotípica del cultivo de alfalfa (Brown et al., 2005; Collino et al., 2005) puede asegurar la misma producción con la mitad de sus individuos por un periodo de tres o cuatro años en ambientes con limitantes.

Respecto de todas las variables químicas edáficas analizadas, se observó que determinaciones como la de CE pueden ser muy predictivas de la supervivencia y la producción de la especie en ambientes con presencia de sales (figura 3a), siendo este el factor más importante para considerar para de-

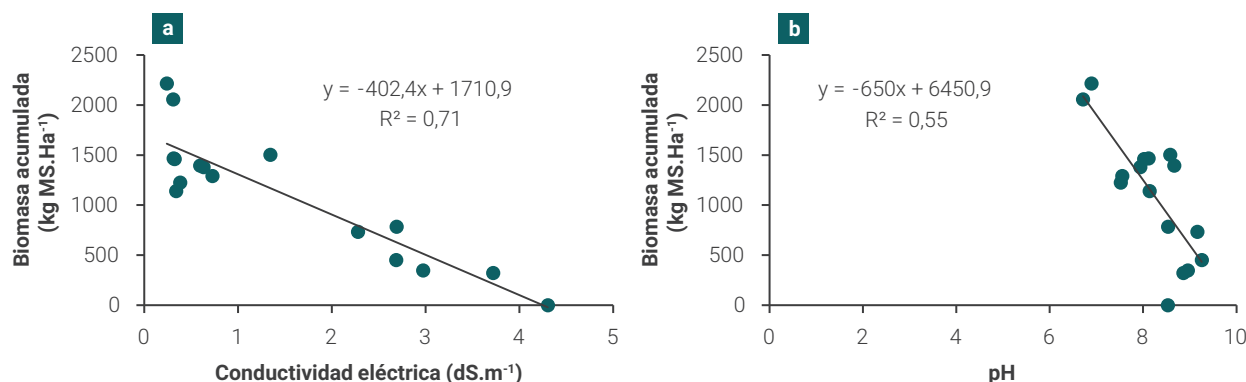


Figura 3. Efecto de la a- conductividad eléctrica _{1:2,5} (dS.m⁻¹) y b- del pH sobre la biomasa acumulada de alfalfa (*Medicago sativa*) en ambientes halo-hidromórficos durante una acumulación de otoño.

terminar la especie para emplear en cada ambiente (Priano y Pillatti, 1989; Taleisnik *et al.*, 1997; Shannon y Grieve, 1999), sin dejar de lado la condición hídrica acompañante, ya que como se pudo observar en el Experimento 1, cuando la disponibilidad de agua se acercó al PMP, esta actúa como el principal factor determinante del crecimiento (figura 1), por lo que es necesario destacar que existen factores principales y secundarios en lo que respecta a la definición los parámetros de crecimiento, así en ambientes donde los niveles de salinidad son muy bajos, quizás el orden de prioridad de los factores que determinen la supervivencia y la producción de la especie se modifiquen.

Por último sería importante mencionar que independientemente de que los experimentos se hayan realizado a campo, en invernáculo o en cámara de crecimiento, los resultados fueron muy consistentes entre sí, la implantación de una pastura de alfalfa es afectada por factores abióticos como las sales y el estado hídrico del suelo; la salinidad del suelo es el principal factor limitante, al reducir la emergencia y el posterior crecimiento de alfalfa (tabla 2).

CONCLUSIONES

El cultivo de alfalfa disminuyó la emergencia de plántulas en aproximadamente un 6% por cada unidad incremental de $CE_{1,2,5}$, hasta valores de $3,9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Las condiciones hídricas deficitarias redujeron el crecimiento, afectando la biomasa acumulada y la altura de las plántulas. Adicionalmente parámetros como peso de plántulas y altura disminuyeron en mayor medida con el incremento de la CE creciendo con contenidos de humedad cercanos a capacidad de campo respecto a las condiciones de sequía.

Situaciones hídricas cercanas a capacidad de campo permitieron lograr y mantener las mayores densidades de individuos de alfalfa en etapas tempranas del desarrollo de la pastura. Periodos cortos de inundación o sequía (de 200°Cd o 15 días aproximadamente) no modificaron la densidad de individuos, cuando este estrés se prolongó más allá de este tiempo la densidad de plantas se comenzó a ver afectada. Adicionalmente, tanto inundaciones como sequías prolongadas ($800\text{-}1000^\circ\text{Cd}$) tuvieron un efecto negativo de similar magnitud sobre la densidad de plantas de alfalfa, reduciendo entre un 50 y un 65% la densidad de individuos.

La $CE_{1,2,5}$ y pH fueron los parámetros edáficos que mejor explicaron la acumulación de biomasa en alfalfa en ambientes halo-hidromórficos, hallándose una relación negativa entre estas variables y la biomasa acumulada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en gran parte gracias a los fondos y recursos humanos aportados por el Convenio INTA AUDEAS CONADEV.

BIBLIOGRAFÍA

BALDISSERA, T.C.; FRAK, E.; FACCIO CARVALHO, P.; LOUARN, G. 2014. Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. *Annals of Botany* 113: 145-157.

BAZZIGALUPI, O.; PISTORALE, S.M.; ANDRÉS, A.N. 2008. Tolerancia a la salinidad durante la germinación de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Ciencia e investigación agraria*, 35(3), 277-285.

BERTRAM, N.A.; ARRIETA, S.; CHIACCIERA, S. 2014. Estres hídrico en agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol. 34, Supl. 1. 51 p.

BERTRAM, N. 2016. Implantación de grama Rhodes. En: TOLL VERA, J.; BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; TEXEIRA, E.I. (ed.). *Grama Rhodes: Centenario de su liberación en Argentina 1916-2016*. Publicación conmemorativa UNT 2005. The components of lucerne (*Medicago sativa*) leaf area index respond to temperature and photoperiod in a temperate environment. *European journal of agronomy*, 23(4), 348-358. 206-222 pp.

CHINNUSAMY, V.; ZHU, J.; ZHU, J.K. 2006. Salt stress signaling and mechanisms of plant salt tolerance. *Genetic engineering*. Springer US. 141-177 pp.

COLLINO, D.J.; DARDANELLI, J.L.; De LUCA, M.J.; RACCA, R.W. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Animal Production Science*, 45(4), 383-390.

DAJIC, Z. 2006. Salt stress. *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Springer Netherlands. 41-99 pp.

FICK, G.W.; HOLT, D.A.; LUGG, D.G. 1988. Environmental physiology and crop growth. En: HANSON, A.A.; BARNES, D.K.; HILL, R.R. (eds.). *Alfalfa and alfalfa improvement*. Madison, WI: ASA/CSSA/SSSA, 163-194.

GORGAS, J.; BUSTOS, M. 2008. Dinámica y evaluación de los suelos de Córdoba con problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad. En: TALEISNIK, E.; GRUNBERG, K.; SANTA MARÍA, G. (eds.). *La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*. EDUCC (Editorial Universidad Católica de Córdoba), Córdoba. 47-62 pp.

HSIAO, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual review of plant physiology*, 24(1), 519-570.

JOBBÁGY, E.G.; NOSETTO, M.D.; SANTONI, C.S.; BALDI, G. 2008. El desafío ecológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral*, 18(3), 305-322.

KOYRO, H.W. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environmental and Experimental Botany*, 56(2), 136-146.

LAVADO, R.S.; TABOADA, M.A. 2009. Los procesos de salinización globales y específicos de la pampa húmeda. *Resúmenes Primer Congreso de la Red Argentina de Salinidad*. Córdoba, Argentina. 11 p.

MARINO, A.; AGNUSDEI, M. 2011. Los ambientes no agrícolas de la región centro y la potencialidad forrajera. *Producción de Forrajes en Ambientes No Agrícolas*. Informe de actualización técnica N.º 22. INTA

MONTEITH, J.L.; MOSS, C.J. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(980), 277-294.

MUNNS, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell & Environment*, 16(1), 15-24.

MUNNS, R.; TERMAAT, A. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Functional Plant Biology*, 13(1), 143-160.

MUNNS, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239-250.

NETONDO, G.; ONYANGO, J.; BECK, E. 2004. Sorghum and salinity. II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Sci.* 44:806-811.

PRIANO, L.J.; PILATTI, M.A. 1989. Tolerancia a la salinidad de forrajeras cultivadas. *Ciencia del suelo*, 7(1-2), 113-116.

SANDEN, B.; SHEESLEY, B. 2007. Salinity tolerance and management for alfalfa. 38th California Alfalfa & Forage Symposium, December 2-4, 2007, San Diego, CA. Published by: UC Cooperative Extension, Agronomy Research and Extension Center, Plant Sciences Department, University of California, Davis, CA 95616.

SCHENEITER, O. 2007. Implantación de pasturas en suelos ganaderos. En Curso "Como optimizar la producción y utilización forrajera en suelos ganaderos". Pergamino. 54-62 pp.

SHANNON, M.C. 1997. Adaptation of plants to salinity. *Advances in agronomy*, 60 (1).

SHANNON, M.C.; GRIEVE, C.M. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia horticulturae*, 78(1), 5-38.

TALEISNIK, E.; PEYRANO, G.; ARIAS, C. 1997. Response of *Chloris gayana* cultivars to salinity. 1. Germination and early vegetative growth. *Tropical Grasslands*, 31, 232-240.

UNGAR, I.A. 1978. Halophyte seed germination. *The Botanical Review*, 44(2), 233-264.