

Agricultura biosalina para la
producción de especies forrajeras.
Biosaline agriculture for the
production of forage species.

Grado en Biología



Michel Daniel Pérez Guillén.
29/08/2016



SOLICITUD DE DEFENSA Y EVALUACIÓN TRABAJO FIN DE GRADO Curso Académico: 2015/2016	ENTRADA Fecha: Núm:
--	----------------------------------

Datos Personales

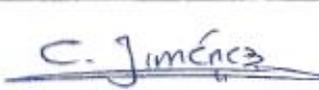
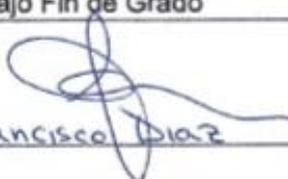
Nº DNI o pasaporte:	Nombre y Apellidos:
78584442-C	Michel Daniel Pérez Guillén
Teléfono:	Dirección de correo electrónico:
689448367	dani-mjpc@hotmail.com

SOLICITA la defensa y evaluación del Trabajo Fin de Grado

TÍTULO

AGRICULTURA BIOSALINA PARA LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES FORRAJERAS

Autorización para su depósito, defensa y evaluación

D./Dña. Carmen Concepción Jiménez Mendoza	
Profesor/a del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología	
y D./Dña. Francisco Javier Díaz Peña	
Profesor/a del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología	
autorizan al solicitante a presentar la Memoria del Trabajo Fin de Grado	
 Fdo.: <i>Carmen C. Jiménez Mendoza</i>	 Fdo.: <i>Francisco Díaz</i>

La Laguna, a 1 de Julio de 2016

Firma del interesado/a



SR/A. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE GRADO DE LA FACULTAD DE BIOLOGÍA

Documentación a adjuntar:

- Un ejemplar en formato electrónico de la Memoria conforme a las normas de presentación establecidas en el Anexo I del Reglamento para la elaboración y defensa del TFG.
- Informe-evaluación de los tutores en sobre cerrado y firmado.

Ejemplar para la Secretaría

Índice	Pág.
❖ Introducción	1
❖ Objetivos	5
❖ Materiales y métodos	6
➤ Diseño experimental	6
➤ Suelos	8
➤ Agua de riego	10
➤ Especies forrajeras	12
➤ Condiciones ambientales	13
➤ Cuantificación de biomasa	14
➤ Composición mineral	15
➤ Análisis estadísticos	15
❖ Resultados	15
➤ Producción de biomasa	15
➤ Composición mineral (micro y macronutrientes)	19
❖ Discusión	23
➤ Producción de biomasa	23
➤ Composición mineral	24
❖ Conclusiones	27
❖ Bibliografía	29

ANEXO

Índice de tablas

Tabla 1. Caracterización química del suelo inicial utilizado en la experiencia; media \pm desviación estándar; n = 5; MO, materia orgánica total; C, carbono orgánico; CE, conductividad eléctrica; es, extracto saturado; CIC, capacidad de intercambio catiónico; PSI, porcentaje de sodio intercambiable.

Tabla 2. Caracterización física del suelo inicial utilizado en la experiencia; media \pm desviación estándar; n = 5.

Tabla 3. Composición química de las diferentes calidades de agua de riego usadas en la experiencia. T1, agua de mar desalinizada; T2-T5, calidad de aguas correspondientes a los distintos tratamientos; media \pm desviación estándar; n = 5; RAS, relación de adsorción de sodio.

Tabla 4. Composición mineral (macronutrientes y sodio) de las diferentes variedades de forrajeras bajo los distintos tratamientos de agua de riego; media \pm desviación estándar; n=4.

Tabla 5. Composición mineral (micronutrientes) de las diferentes variedades de forrajeras bajo los distintos tratamientos de agua de riego; media \pm desviación estándar; n=4.

Tabla 6. Resultados estadísticos del análisis ANOVA para macronutrientes y micronutrientes; p-valores se indican con (*), los valores significativos.

Tabla 7. Valores de referencia foliares (macro y micronutrientes) para *M. sativa*.

Índice de figuras

Figura 1. Vista general de las instalaciones.

Figura 2. Esquema del diseño experimental aplicado. Los círculos mayores representan los tanques de distribución de agua con los diferentes tratamientos; los círculos menores representan los contenedores de plantación; las letras indican las especies, 'J' para tall wheatgrass (*T. ponticum*, cv. 'Jose') y 'S', 'W' y 'P', para alfalfa (*M. sativa*; var. SW8421S, WL656HQ y PGI908S respectivamente).

Figura 3. Perfil del suelo del experimento en el municipio de Yaiza, Lanzarote.

Figura 4. Detalle de la aplicación de fertilizantes al suelo.

Figura 5. Detalle de la preparación de los tratamientos en invernadero.

Figura 6. Forrajeras empleadas en el estudio. *Thinopyrum ponticum* (a), y *M. sativa* vars. WL656HQ (b), PGI908S (c) y SW8421S (d).

Figura 7. Sistema de riego por goteo empleado en la experiencia.

Figura 8. Evolución de la temperatura (rojo) y humedad relativa (azul) durante el periodo de estudio.

Figura 9. Aspecto del cultivo inmediatamente antes (a) y después del corte (b).

Figura 10. Producción acumulada de biomasa de las forrajeras bajo riego con diferentes calidades de agua.

Figura 11. Biomasa relativa de las forrajeras bajo riego con las diferentes calidades de agua; media \pm desviación estándar, $n = 4$.

Figura 12. Producción de materia seca acumulada a lo largo del periodo experimental para JTWG, sometida a los distintos tratamientos en el agua de riego; regresión lineal para los tratamientos T1 y T5.

Figura 13. Producción de materia seca acumulada a lo largo del periodo experimental para *M. sativa* var. SW 8421S, sometida a los distintos tratamientos en el agua de riego; regresión lineal para los tratamientos T1 y T5.

Figura 14. Producción de materia seca acumulada a lo largo del periodo experimental para *M. sativa* var. PGI 908S, sometida a los distintos tratamientos en el agua de riego; regresión lineal para los tratamientos T1 y T5.

Figura 15. Producción de materia seca acumulada a lo largo del periodo experimental para *M. sativa* var. WL 656HQ, sometida a los distintos tratamientos en el agua de riego; regresión lineal para los tratamientos T1 y T5.

Resumen

Este estudio trata de determinar el impacto del riego con agua salina sobre el crecimiento y la producción de especies forrajeras, evaluando la sostenibilidad de este sistema en términos de rendimiento y calidad del forraje. Se evaluaron 2 especies forrajeras (tall wheatgrass “Jose”, *Thinopyrum ponticum*; y alfalfa, *Medicago sativa*, vars. SW 8421S, PGI 908S y WL 656HQ), sembradas en suelo salino-sódico (Calcic Haplosalids) y regadas con agua de calidades diferentes (0.4, 2.5, 5, 7.5 y 10 dS m⁻¹). Se observaron tendencias diferentes entre las 2 especies; para las distintas variedades de alfalfa, el rendimiento se redujo progresivamente con el aumento de la salinidad en el agua de riego; mientras que tall wheatgrass “Jose”, aumentó su rendimiento a salinidades medias (p.ej. 5 dS m⁻¹). Alfalfa var. WL 656HQ obtuvo los valores de producción más altos con 17008 kg ha⁻¹, a 0.4 dS m⁻¹; sin embargo tall wheatgrass “Jose”, alcanzó 14173 kg ha⁻¹, a 5 dS m⁻¹. Los análisis de la composición mineral revelaron riesgo de toxicidad para B, S y K. Por tanto, el consumo a largo plazo de este forraje no es aconsejable, y debe mezclarse con otros de menor contenido mineral. El periodo relativamente corto de tiempo que dura el estudio (7 meses) no permite establecer aún, que variedades presentan un mayor potencial agrícola.

Palabras clave: agua salina; *Medicago sativa*; sostenibilidad; suelo salino-sódico; *Thinopyrum ponticum*.

Summary

This study tries to determine the impact of irrigation with saline water about the growth and forage species production, assessing the sustainability of this system in terms of yield and quality of forage. Two forage species were evaluated (tall wheatgrass “Jose”, *Thinopyrum ponticum*; and alfalfa, *Medicago sativa*, vars. SW 8421S, PGI 908S and WL 656HQ), planted in saline-sodic soil (Calcic Haplosalids) and irrigated with water of different qualities (0.4, 2.5, 5, 7.5 y 10 dS m⁻¹). Different trends were observed between the 2 species; for the different varieties of alfalfa, the yield was progressively reduced with increasing salinity in irrigation water; while that tall wheatgrass “Jose” increased his yield to middle salinities (f.ex. 5 dS m⁻¹). Alfalfa var. WL 656HQ obtained the highest production values with 17008 kg ha⁻¹, to 0.4 dS m⁻¹; however tall wheatgrass “Jose” reached 14173 kg ha⁻¹, to 5 dS m⁻¹. The analysis of mineral composition revealed risk of toxicity for B, S and K. Therefore, the long-term consumption of these forages is not advisable, and must be mixed with others of lower mineral content. The relatively short duration of the study (7 months), the relatively short duration of the study (7 months) does not allow establish even, which varieties have a higher agricultural potential.

Key words: *Medicago sativa*; saline-sodic soil; saline water; sustainability; *Thinopyrum ponticum*.

Introducción

En un contexto mundial de escasez de recursos hídricos, las actividades agrícolas son responsables de aproximadamente el 87% del consumo total de agua. Este consumo puede incluso verse incrementado en el futuro para satisfacer la creciente demanda de alimentos (Ben-Gal et al., 2009). Por lo tanto, se hace necesario, particularmente en las regiones áridas y semiáridas donde los recursos de agua de calidad son más limitados, desarrollar fuentes alternativas de agua para riego.

La agricultura biosalina, término que describe la producción de cultivos bajo un amplio rango de niveles de salinidad en el agua de riego, suelos, o una combinación de ambos, ha ganado popularidad en los últimos años en regiones áridas y semiáridas de diversas zonas del mundo, debido principalmente a la creciente disponibilidad de aguas de baja calidad para riego agrícola (p.ej. agua subterránea salina, agua de drenaje, agua residual, agua de mar) (Master et al., 2007). Esta clase de agricultura, basada en plantas que son capaces de crecer bajo condiciones salinas, puede generar un mercado económicamente viable de cultivos tolerantes a la salinidad, a la vez que se expande la producción a tierras marginales y se atenúa la alta presión existente sobre los recursos hídricos convencionales (Díaz y Grattan, 2009). Los beneficios potenciales abarcan desde la producción de alimentos para consumo humano, forraje para el ganado, energías renovables (bioetanol y biodiesel), y materiales para uso industrial (fibra y aceites de semillas), hasta una serie de aplicaciones en proyectos de revegetación y rehabilitación de suelos (Díaz et al., 2013).

Ejemplos de desarrollo de agricultura biosalina han sido documentados en diversas zonas del planeta: : i) riego con agua subterránea salina en suelos no salinos altamente permeables en el Este Mediterráneo; ii) uso de agua subterránea de elevada salinidad en suelos salinos y/o sódicos en Asia Central y Australia; iii) riego con aguas superficiales salinas en la Cuenca del Río Colorado, USA; y iv) uso de aguas de drenaje agrícola altamente salina en el Oeste del Valle de San Joaquín, California, USA (Masters et al., 2007). El éxito y sostenibilidad contrastado de estas experiencias avalan que este tipo de agricultura puede constituir una opción atractiva para la producción agrícola en territorios con limitación de recursos hídricos de calidad como ocurre en gran parte del Archipiélago Canario.

La progresiva reducción cuantitativa y cualitativa de los recursos hídricos convencionales en Canarias ha hecho necesaria la incorporación de nuevos recursos procedentes de la desalación de agua de mar y de aguas subterráneas salinas en el sector agrícola (Díaz et al., 2013;

Hernández Moreno y Palacios, 2013). En ambos casos, la eliminación de sales a través de métodos de electrodiálisis reversible u ósmosis inversa implica un alto coste energético y una elevada huella de CO₂. A nivel global, el coste, tanto económico como ambiental, de la desalinización hace todavía prohibitivo su uso extensivo en la agricultura de regadío, y sólo se aconseja para productos agrícolas de alto valor (p.ej. hortalizas en invernadero, flores, etc.) (Beltran y Koo-Oshima, 2006). Además, aunque debido principalmente a su bajo contenido en sales, este tipo de agua es percibida como un agua de calidad por los agricultores, las experiencias iniciales con aguas desaladas no han sido totalmente positivas (Yermiyahu et al., 2007a). En Israel, único país con criterios específicos de calidad del agua desalinizada para uso agrícola (Lahav y Birnhack, 2007), se han señalado numerosos problemas asociados al uso de estas aguas en regadío (Yermiyahu et al., 2007b). Por ejemplo, se han encontrado niveles excesivamente bajos en el agua de Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ y K⁺, que han resultado en carencias de estos elementos en diversos cultivos; se han observado niveles muy altos de boro que provocaron toxicidad de este elemento en numerosos cultivos; y se han detectado valores excesivamente altos de RAS (Relación de adsorción de sodio) que pueden afectar negativamente a las características físicas de los suelos, particularmente en suelos arcillosos (Yermiyahu et al., 2007a; Ben-Gal et al., 2009).

Como complemento al uso de aguas desalinizadas, restringida a la producción de cultivos de alto valor económico y zonas litorales, y por la necesidad de optimizar y aprovechar al máximo los recursos hídricos de las Islas Canarias, planteamos la utilización de aguas salinas para la producción de cultivos de moderada y alta tolerancia a la salinidad y de gran demanda en el archipiélago como son las especies forrajeras. Además, el riego con aguas salinas se propone como método de recuperación y puesta en producción de suelos marginales afectados por sales en las zonas áridas de las islas.

La salinización de las aguas subterráneas en Canarias puede deberse a fenómenos naturales como la actividad volcánica residual y las características salinas del agua de recarga, o a actuaciones antrópicas como la sobreexplotación y la contaminación por retornos de riego (Custodio y Cabrera, 2002). Los siguientes recursos de agua salina pueden ser potencialmente utilizables para riego en el Archipiélago:

- Aguas subterráneas de concentración salina variable con elevados valores de bicarbonatos, sodio, flúor, etc., que son en general bicarbonatadas sódicas aunque la concentración en cloruro también puede ser importante.

- Aguas de zonas costeras que tienden a ser cloruradas sódicas.

Es frecuente también en Canarias el uso para el riego de aguas resultantes de mezclas de aguas desalinizadas con aguas salobres y aguas regeneradas de baja calidad en cuanto a su contenido en sales. Este sistema permite la remineralización del agua desalinizada hasta los niveles que se estimen oportunos, obteniéndose agua de salinidad variable dependiendo de las ratios de mezcla (CIAFTE, 2013).

Con respecto a los suelos potencialmente utilizables para riego con aguas salinas, las zonas bajas de la vertiente sur de las islas de La Gomera, Tenerife y Gran Canaria, así como toda la franja costera de Lanzarote y Fuerteventura (< 400 ms.n.m.), presentan suelos con problemas asociados a la acumulación de sales que los convierten en marginales para la producción agrícola. Se trata en general de suelos de textura arcillosa, con concentraciones elevadas de sales en la solución del suelo, exceso de sodio en el complejo de cambio, alto grado de carbonatación, acumulación de carbonatos y yeso, estructura dispersa, baja capacidad de infiltración, muy bajo contenido de materia orgánica y/o elevada alcalinidad. La mayor parte de estos suelos pertenecen a los órdenes de suelos Aridisoles (Argids, Cambids, Calcids, Salids y Gypsids) y Vertisoles (Torrerts) (Tejedor et al., 2007). Las condiciones de aridez y el impacto de las actividades humanas en el pasado reciente hacen que estos suelos sean en la actualidad donde los procesos de degradación y desertificación se manifiesten de manera más intensa en nuestro Archipiélago. La puesta en producción de estas zonas degradadas mediante el desarrollo de técnicas de agricultura biosalina sostenibles contribuiría de manera relevante al control de la erosión, incremento de la fertilidad y en general a la atenuación de los procesos de desertificación.

La utilización de plantas forrajeras se justifica por dos razones principales:

i) Investigaciones previas, han identificado una serie de forrajes con alta y moderada tolerancia a la salinidad, mostrando la viabilidad de su cultivo en condiciones salinas. Por ejemplo Grattan et al. (2004), obtienen producciones de variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L. cvs. 'Salado' y 'SW 9720') de aproximadamente 30.000 kg de materia seca ha⁻¹ año⁻¹ bajo riego con agua dedrenaje agrícola con conductividades eléctricas de 15 dS m⁻¹. Díaz y Grattan (2009), obtienen producciones de tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barkworth & Dewey cv. 'Jose') de 35.000 kg de materia seca ha⁻¹ año⁻¹ bajo riego con agua dedrenaje agrícola con conductividades eléctricas de 10 dS m⁻¹. Otras especies identificadas

como posibles cultivos candidatos para agricultura biosalina han sido: narrowleaf trefoil (*Lotus glaber* Greene), broadleaf trefoil (*L. ulginosus* Schk. cv. 'Big'), kikuyugrass (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. cv. 'Whittet'), alkali sacaton (*Sporobolus airoides* Torr.), paspalum (*Paspalum vaginatum* Swartz cvs. 'Polo' y 'PI 299042'), bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. cv. 'Tifton'), y creeping wildrye (*Leymus triticoides* (Buckl.) Pilger). Algunas publicaciones relevantes en este sentido son: Robinson et al. (2004), Grieve et al. (2004), Suyama et al. (2007) y Juchem et al. (2012).

ii) El Plan Director para el Desarrollo Ganadero en las Islas Canarias (PDDG, 2006) señala que el consumo anual de alimentos, por parte del ganado, asciende en el Archipiélago Canario a aproximadamente 300.000 toneladas de concentrados y 70.000 toneladas de forrajes. De estos se importa la totalidad de la materia prima para la elaboración de concentrados y unas 50.000 toneladas de forraje. Canarias, constituye así la región española más deficitaria en producción de alimentos para su ganadería (ICIA, 2008).

Atendiendo a la información bibliográfica se han seleccionado para este trabajo dos especies forrajeras: alfalfa (*Medicago sativa* L. variedades SW8421S, PGI908S y WL656HQ) y tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum*). Estas variedades han sido identificadas como forrajes salino-tolerantes con un valor nutricional aceptable en regiones con características ecológicas similares a las encontradas en las zonas áridas y semiáridas de Canarias (Díaz y Grattan, 2009; Benes et al., 2014).

La producción de forrajes en agricultura biosalina no está exenta de problemas. La salinización progresiva y extrema de los suelos utilizados, los desequilibrios en la composición mineral de los forrajes y acumulación, hasta niveles tóxicos para el ganado, de algunos elementos traza como el boro en los tejidos vegetales, son los más relevantes (Robinson et al., 2004; Díaz y Grattan, 2009). En el primer caso se hace necesario un control y aplicación de técnicas de manejo, particularmente fracciones de lavado adecuadas, que eviten la acumulación progresiva de sales en el suelo. En el caso de los desequilibrios nutricionales y toxicidad se debe controlar la composición mineral de los forrajes, seleccionando aquellos que además de ser tolerantes a la salinidad, minimicen la acumulación de elementos tóxicos y presenten una composición más equilibrada. Además, la mayor parte de los desórdenes nutricionales que potencialmente pueden producir los forrajes procedentes de agricultura biosalina pueden evitarse usándolos sólo como parte de la dieta total y nunca como único constituyente de la misma (Suyama et al., 2007; Díaz y Grattan, 2009).

Objetivos

Los objetivos de este trabajo se enmarcan en un estudio que integra la investigación del efecto de diferentes ambientes salinos en especies forrajeras de interés potencial y su efecto en los suelos, en condiciones de riego localizado.

Objetivo general:

- determinar el impacto del riego con agua salina en el crecimiento y producción de biomasa de diferentes especies forrajeras y evaluar la sostenibilidad de este sistema en términos de rendimiento y calidad de forraje.

Objetivos específicos:

Se establecen objetivos específicos con respecto a los siguientes elementos implicados en el sistema: agua, y forrajes.

Agua:

- determinar el rango de concentraciones salinas en aguas de riego de naturaleza clorurada sódica que serían aplicables desde el punto de vista de sostenibilidad de la productividad.

Forrajes:

- determinar los efectos de altas concentraciones salinas y elementos traza en el agua de riego en la producción acumulada de biomasa de diferentes especies forrajeras, identificando cuáles de ellas presentan mayor tolerancia a la salinidad en las condiciones establecidas.
- evaluar los efectos de la salinidad y elementos traza del agua de riego en la acumulación de macro y micronutrientes en los tejidos vegetales en orden a evaluar el impacto potencial en la nutrición mineral de los rumiantes.

Material y Métodos.

Diseño experimental

Este estudio se ha llevado a cabo durante 8 meses (noviembre 2014- junio 2015), en un invernadero que forma parte de las instalaciones para investigación del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), situado en la localidad de Valle Guerra, La Laguna, Tenerife.

Se ha diseñado un experimento factorial de dos vías completamente aleatorio con cuatro réplicas por tratamiento (4 variedades de forrajeras * 1 tipo de suelo * 5 calidades de agua de riego * 4 réplicas; $n = 80$), a nivel de mesocosmos (suelos colocados en contenedores de 40 cm de diámetro y 50 cm de altura, con una densidad aparente de aproximadamente 1.2 g cm^{-3}) (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Vista general de las instalaciones.

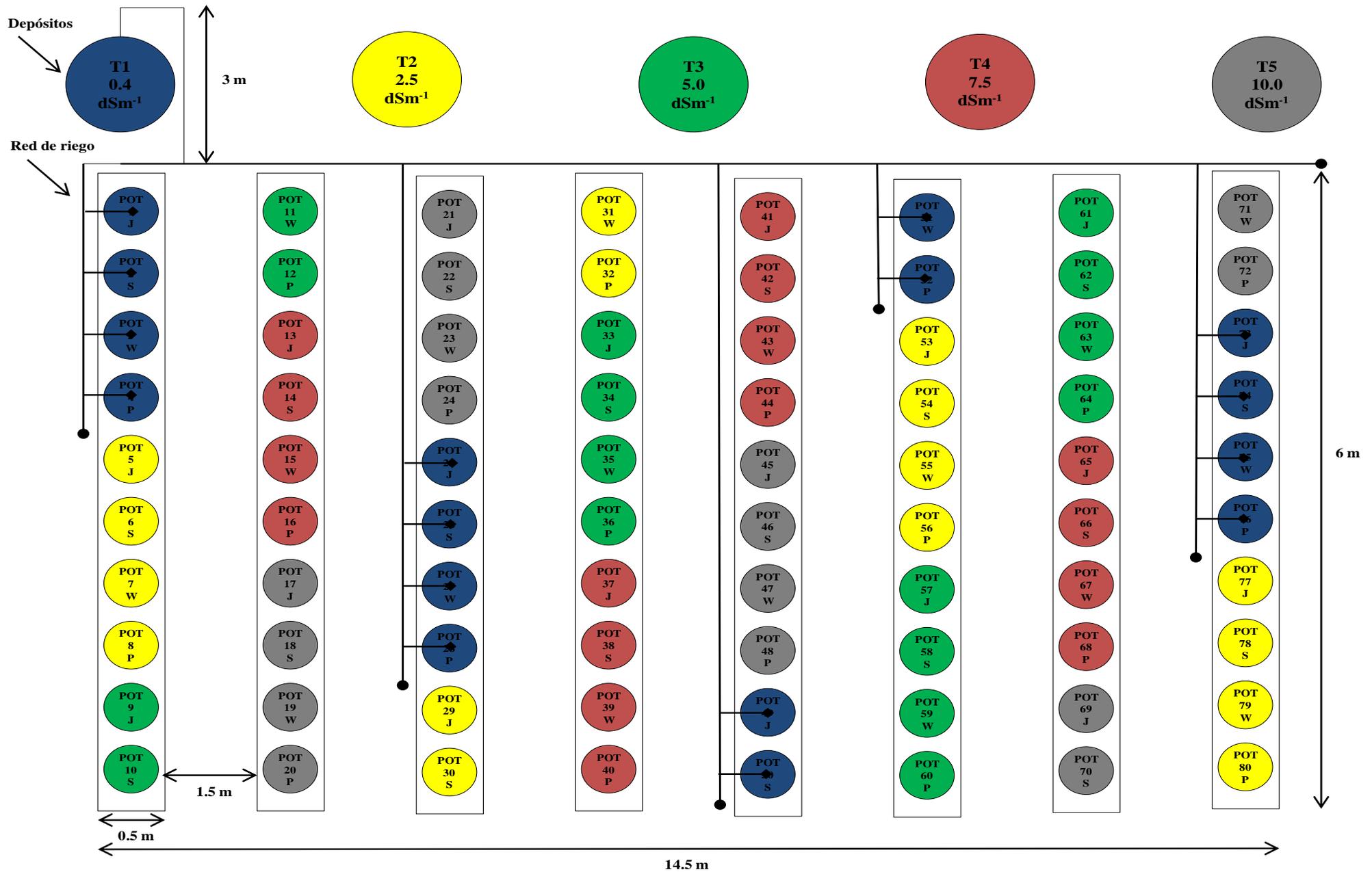


Figura 2. Esquema del diseño experimental aplicado. Los círculos mayores representan los tanques de distribución de agua con los diferentes tratamientos; los círculos menores representan los contenedores de plantación; las letras indican las especies, 'J' para tallwheatgrass (*T. ponticum*, cv. 'Jose') y 'S', 'W' y 'P', para alfalfa (*M. sativa*; var. SW8421S, WL656HQ y PGI908S respectivamente).

Suelos.- El suelo utilizado corresponde a un Calcic Haplosalids de la isla de Lanzarote (Soil Survey Staff, 2014, Figura 3).



Figura 3. Perfil del suelo del experimento en el municipio de Yaiza, Lanzarote.

Se ha realizado su caracterización físico-química previa a la aplicación de tratamientos (Soil Survey Staff, 1996) (Tablas 1 y 2). Se trata de un suelo de textura franco arcillosa, elevado grado de carbonatación ($15 \pm 3\%$), extremadamente salino (CEes-conductividad eléctrica en extracto saturado = $54 \pm 5 \text{ dS m}^{-1}$) y sódico (PSI-porcentaje de sodio intercambiable = $36 \pm 10\%$). En la solución del suelo dominan los cloruros y el sodio, lo que refleja el origen natural de la salinidad por spray marino. Los valores de boro, tanto en extracto saturado ($3,3 \pm 1,8 \text{ mg L}^{-1}$) como el extraíble en agua caliente ($7,3 \pm 3,9 \text{ mg kg}^{-1}$), representan niveles tóxicos para especies moderadamente sensibles. La isoterma de adsorción de boro muestra que se trata de un suelo con una retención moderada de este elemento (datos no mostrados). Son suelos pobres en materia orgánica y deficientes en fósforo y nitrógeno, como es habitual en zonas áridas. El bajo contenido en nutrientes obligó a la realización de una fertilización de fondo

(300 g de NPK 21:10:10, 30 g de yeso y 500 g de estiércol por contenedor), que impida el enmascaramiento de los efectos de la salinidad con la deficiencia de nutrientes (Figura 4).

Parámetro		Parámetro	
pH _{1:2.5}	8,3 ± 0,1	pHes	7,4 ± 0,1
CaCO ₃ %	15,5 ± 2,6	HCO ₃ ⁻ meq L ⁻¹	71,4 ± 5,6
MO g kg ⁻¹	11,6 ± 1,2	Cl ⁻ meq L ⁻¹	594,2 ± 64,5
C activo mg kg ⁻¹	169,3 ± 24,6	SO ₄ ²⁻ meq L ⁻¹	45,9 ± 8,1
N %	0,08 ± 0,01	NO ₃ ⁻ meq L ⁻¹	17,4 ± 1,0
P Olsen mg kg ⁻¹	11,4 ± 2,4	Bes mg L ⁻¹	3,3 ± 1,8
Fe mg kg ⁻¹	181,5 ± 6,0	Ca ²⁺ cmol _c kg ⁻¹	12,2 ± 1,3
Mn mg kg ⁻¹	120,6 ± 3,3	Mg ²⁺ cmol _c kg ⁻¹	4,0 ± 0,3
Cu mg kg ⁻¹	6,7 ± 0,1	K ⁺ cmol _c kg ⁻¹	3,6 ± 0,2
Zn mg kg ⁻¹	7,9 ± 0,1	Na ⁺ cmol _c kg ⁻¹	9,0 ± 2,7
B mg kg ⁻¹	7,3 ± 3,9	CIC cmol _c kg ⁻¹	25 ± 1,4
CEes dS m ⁻¹	54,4 ± 4,6	PSI %	36,0 ± 10,1

Tabla 1 Caracterización química del suelo inicial utilizado en la experiencia; media ± desviación estándar; n = 5; MO, materia orgánica total; C, carbono orgánico; CEes, conductividad eléctrica en extracto saturado; CIC, capacidad de intercambio catiónico; PSI, porcentaje de sodio intercambiable.

Parámetro		Parámetro	
Elementos gruesos %	11,3 ± 2,6	Arena fina %	16,9 ± 0,7
Retención de agua -33 kPa %	27,3 ± 1,9	Limo grueso %	11 ± 0,2
Retención de agua -1500 kPa %	11,6 ± 1,2	Limo fino %	27,7 ± 0,5
Agua útil %	15,7 ± 0,9	Arcilla %	38 ± 1
Agregados estables en agua 60' %	27,3 ± 1,9	Textura	Franco-arcillosa
Arena gruesa %	6,3 ± 0,7		

Tabla 2. Caracterización física del suelo inicial utilizado en la experiencia; media ± desviación estándar; n = 5.



Figura 4. Detalle de la aplicación de fertilizantes al suelo.

Aguas de riego.- Se aplicaron cinco tratamientos de calidad de aguas con los siguientes niveles de salinidad: 0.4, 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 dS m^{-1} (nombrados como tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente). El agua con salinidad de 0.4 dS m^{-1} corresponde al agua de mar desalinizada suministrada por la empresa EMMASA, representativa de la que se utiliza para riego en las Islas, y que se usa como tratamiento control. Los tratamientos restantes simulan la calidad de un agua clorurada sódica representativa de pozos costeros, ajustando la conductividad eléctrica de 2.5 a 10 dS m^{-1} (rango de salinidad frecuentemente encontrado en aguas subterráneas de zonas costeras de las Islas Canarias). La simulación de estas aguas se ha realizado a partir del agua de mar desalinizada mediante la adición de las sales correspondientes, atendiendo a la composición del agua subterránea de referencia. Las aguas de riego se han analizado con una frecuencia quincenal para asegurar que se alcanzan las concentraciones salinas requeridas (Figura 5). Los parámetros analizados fueron: conductividad eléctrica, pH, cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+), aniones (Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^-), y boro (B). El pH de las aguas obtenidas es ligeramente alcalino, variando entre 7.5 y 8.5, característica común en las aguas cloruradas sódicas de zonas costeras (Tabla 3). La concentración de boro ha sido fijada para todos los tratamientos en 2.5 mg L^{-1} . La caracterización de las aguas se ha realizado según los métodos oficiales (APHA, 1998).



Figura 5. Detalle de la preparación de los tratamientos en invernadero.

Parámetro	T1	T2	T3	T4	T5
pH	6,8 ± 0,3	8,1 ± 0,1	8,3 ± 0,3	8,4 ± 0,1	8,4 ± 0,1
CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	389 ± 25	2911 ± 157	5230 ± 361	7643 ± 149	9779 ± 301
Ca ²⁺ meq L ⁻¹	0,3 ± 0,2	0,8 ± 0,2	1,5 ± 0,8	1,8 ± 0,8	2,2 ± 0,9
Mg ²⁺ meq L ⁻¹	0,2 ± 0,1	1,8 ± 0,3	3,7 ± 0,4	5,6 ± 0,2	7,4 ± 0,3
Na ⁺ meq L ⁻¹	2,9 ± 0,2	24,7 ± 1,5	47,8 ± 3,5	72,7 ± 2,2	95,2 ± 3,6
K ⁺ meq L ⁻¹	0,1 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1
RAS meq L ^{-0,5}	6 ± 1	18 ± 2	24 ± 1	30 ± 2	34 ± 2
Cl ⁻ meq L ⁻¹	2,9 ± 0,2	19 ± 1,3	37,3 ± 3,6	57,6 ± 1,9	75,6 ± 2,8
SO ₄ ²⁻ meq L ⁻¹	0,1 ± 0,0	5,1 ± 0,4	10,4 ± 0,9	16,8 ± 1	22,7 ± 1,3
NO ₃ ⁻ meq L ⁻¹	0,0 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,5 ± 0,3	0,8 ± 0,2	1 ± 0,2
B mg L ⁻¹	2,2 ± 0,2	2,2 ± 0,2	2,2 ± 0,1	2,2 ± 0,2	2,2 ± 0,2

Tabla 3. Composición química de las diferentes calidades de agua de riego usadas en la experiencia. T1, agua de mar desalinizada; T2-T5, calidad de aguas correspondientes a los distintos tratamientos; media ± desviación estándar; n = 5; RAS, relación de adsorción de sodio.

Especies forrajeras.- Se han evaluado 4 tipos diferentes de forrajeras, tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa*; variedades WL656HQ, SW8421S, PGI908S) y tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum*, cv. ‘Jose’; JTWG) (Figura 6). Las semillas de estas variedades han sido suministradas por el grupo de investigación del Dr. Steve Grattan de la Universidad de California, Davis. Todas ellas corresponden a plantas semi-tolerantes a la salinidad que han sido previamente testadas por el mencionado grupo en experiencias con diferentes tipos de suelos y calidades de agua.

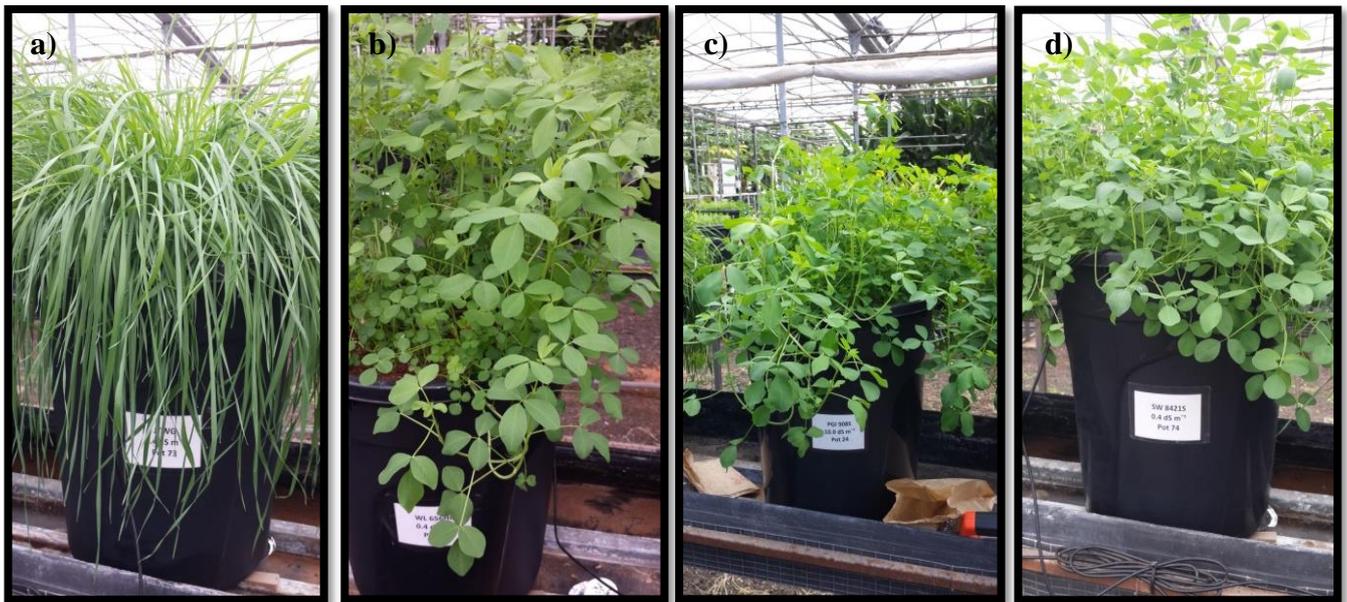


Figura 6. Forrajeras empleadas en el estudio. *Thinopyrum ponticum* (a), y *M. sativa* vars. WL656HQ (b), PGI908S (c) y SW8421S (d).

Con el objetivo de favorecer la germinación de las semillas y el establecimiento del cultivo se aplicaron en una primera etapa del experimento riegos frecuentes con agua desalinizada. Tras este periodo (80 días desde la siembra) el número de plantas por maceta se estableció en aproximadamente 28-32 y se inició la aplicación de tratamientos. El agua ha sido aplicada mediante un sistema de riego por goteo, con cuatro goteros por contenedor con un caudal de 2 L h⁻¹ (Figura 7). Periódicamente se han determinado los coeficientes de uniformidad de riego de Christiansen, obteniendo resultados de aproximadamente el 99%. La monitorización mediante sensores del contenido volumétrico de agua en el suelo ha permitido el cálculo de las dosis de riego necesarias para mantener los suelos a capacidad de campo durante el periodo de estudio.



Figura 7. Sistema de riego por goteo empleado en la experiencia.

Condiciones ambientales.- Las condiciones ambientales durante todo el periodo de estudio han sido monitorizadas en continuo mediante el uso de sensores de temperatura y humedad relativa (Figura 8). Las condiciones ambientales dentro del invernadero variaron a lo largo del periodo experimental. La temperatura del aire osciló entre 9,3 y 47 °C durante el día (8:00 a 20:00) y entre 9,3 y 33,9 °C, durante la noche (20:00 a 8:00). La humedad relativa osciló entre 19,30 y 91,52%, con medias de 58,88 % durante el día y 74,37 % durante la noche.

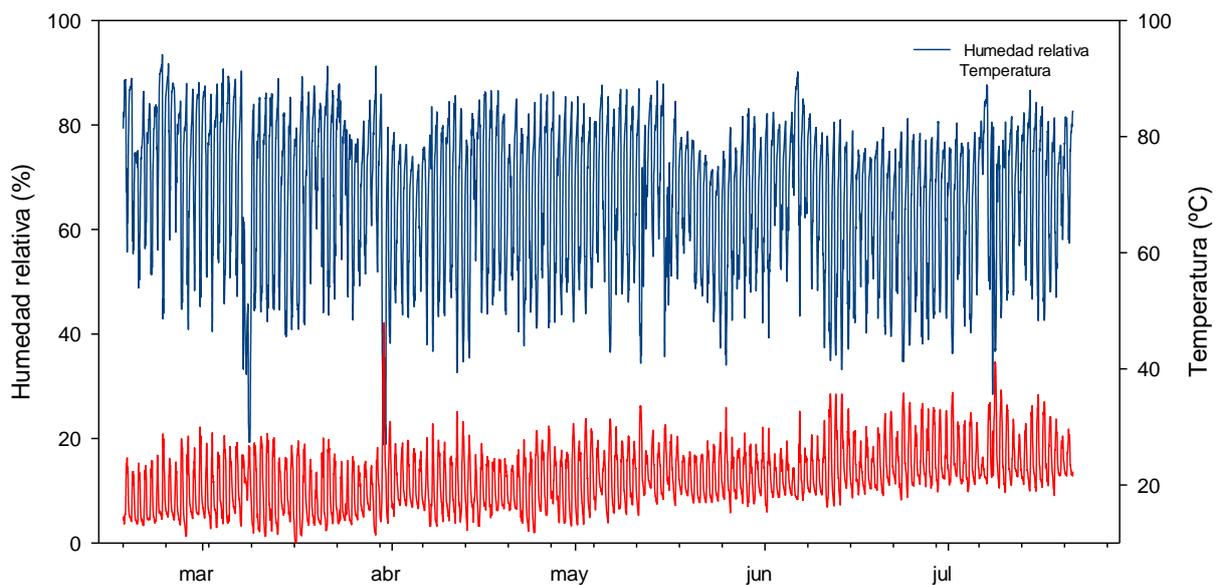


Figura 8. Evolución de la temperatura (rojo) y humedad relativa (azul) durante el periodo de estudio.

Cuantificación de biomasa.- Se han realizado un total de cinco cortes a los forrajes para la determinación de la producción total de materia seca. Los tiempos de corte se establecieron en el caso de *Medicago sativa*, cuando las plantas bajo los tratamientos control alcanzaron un grado de floración aproximado del 10%; mientras que para *Thinopyrum ponticum*, cuando las plantas bajo los tratamientos control presentaban una altura aproximada de 25-30 cm. La altura de corte se estableció a 5-6 cm sobre la superficie del suelo, teniendo en cuenta que experiencias previas han mostrado que TWG retrasa su crecimiento con cortes por debajo de los 5 cm (Figura 9).



Figura 9. Aspecto del cultivo inmediatamente antes (a) y después del corte (b).

El material vegetal recolectado fue pesado, secado en estufa a 60 °C durante 72 h, y pesado de nuevo para determinar la producción de materia seca expresada en kg de materia seca por hectárea. La producción acumulada de biomasa de cada uno de los tratamientos se calculó como la suma de materia obtenida en los diferentes cortes. El rendimiento relativo se expresó

como la relación entre la biomasa producida bajo los diferentes tratamientos de salinidad y la producida bajo el tratamiento control (menor salinidad). Estos rendimientos relativos se usaron como un indicador de tolerancia a la salinidad.

Composición mineral.- Se ha analizado la composición mineral de las muestras de forraje en muestras compuestas de materia seca obtenidas por combinación de material vegetal de cada uno de los cinco cortes realizados. Los elementos analizados fueron N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Na, B, Fe, Mn, Cu, Zn y Ni (USEPA, 1994). Las concentraciones de los diferentes elementos analizados, así como las ratios de iones, han sido evaluadas y comparadas con los niveles máximos tolerables (MTLs), definidos como el nivel máximo de un elemento en particular, presente en la dieta animal aplicada por un periodo de tiempo determinado, que no causa deterioro en la salud o disminución del rendimiento de los animales.

Análisis estadísticos.- Los métodos estadísticos fueron aplicados usando SPSS Ver. 16 (SPSS Inc., 1999). El nivel de significación para todos los test fue de $p < 0.05$. Se asumió distribución normal de los datos (test de Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de las varianzas (test de Levene) para cada análisis. El efecto de los tratamientos (salinidad en el agua de riego) y la variedad forrajera sobre la producción de materia seca acumulada y la composición mineral fue evaluado usando un test ANOVA de dos vías y pruebas post hoc (test de Tukey).

Resultados

Producción de biomasa.- Los análisis estadísticos indican que la producción de biomasa fue influenciada significativamente por la calidad del agua de riego ($p = 0.000$), pero no por las especies forrajeras ($p = 0.223$), ni por la interacción entre ambos factores ($p = 0.091$). Los valores más altos de producción se observaron en el caso de las alfalfas en el tratamiento control (p.ej. 17008 Kg ha⁻¹, var. WL 656HQ), disminuyendo progresivamente con el incremento de la salinidad en el agua de riego obteniéndose los valores mínimos con el tratamiento T5 (~ 10 dS m⁻¹) (p.ej. 11340 Kg ha⁻¹, var. WL656HQ). Sin embargo, en el caso de JTWG las producciones máximas se alcanzaron con la calidad de agua T3 (~ 5 dS m⁻¹) (14173 Kg ha⁻¹), mientras que las producciones más bajas se obtuvieron con el tratamiento control (12098 Kg ha⁻¹) (Figura 10).

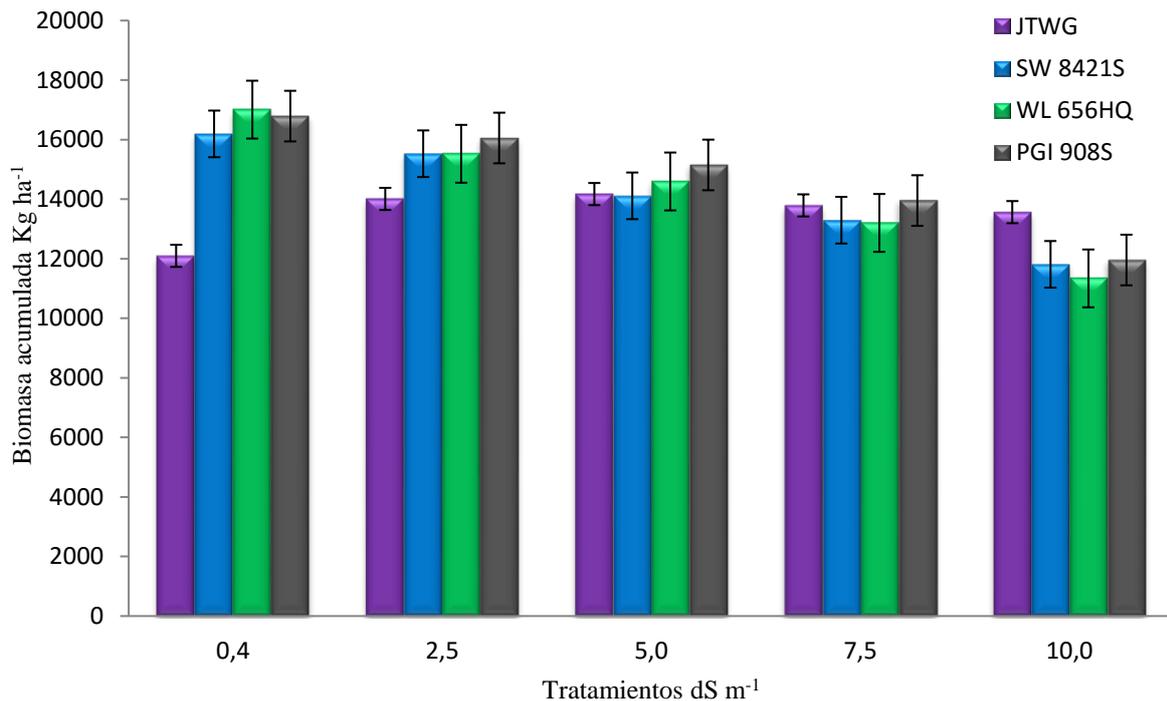


Figura 10. Producción acumulada de biomasa de las forrajeras bajo riego con diferentes calidades de agua.

El test de Tukey confirma que existen diferencias significativas de productividad, entre el tratamiento T5 (10 dS m⁻¹) con los tratamientos T1 (0,4 dS m⁻¹) (p = 0.000), T2 (2,5 dS m⁻¹) (p = 0.000) y T3 (5 dS m⁻¹) (p = 0.008), así como entre T4 (7,5 dS m⁻¹) y T1 (p = 0.037). Estas diferencias se pueden observar en alfalfas, sin embargo JTWG sigue una tendencia diferente, tal y como muestran las figuras 10, 11 y 12.

La figura 11, muestra la producción relativa de biomasa para cada forrajera calculada como:

$$\text{Biomasa relativa (\%)} = \frac{\text{Biomasa a cualquier nivel de salinidad}}{\text{Media de biomasa a } 0,4 \text{ dS m}^{-1}} * 100$$

La biomasa acumulada absoluta para las alfalfas tuvo un promedio de 16600 Kg ha⁻¹ a una CE en el agua de riego de 0,4 dS m⁻¹ y no hubo diferencias significativas en la producción con el aumento de salinidad hasta los 7,5 – 10 dS m⁻¹, momento en que descendió significativamente (Figura 11). Para el tratamiento T4 (7.5 dS m⁻¹) la biomasa descendió al 78-83 % con respecto al control, mientras que a 10 dS m⁻¹ se redujo hasta un 66-71%. Entre las variedades de alfalfa, WL656HQ muestra una menor tolerancia a la salinidad con una mayor reducción de la producción bajo los tratamientos T4 y T5. En el caso del JTWG la biomasa acumulada media bajo el tratamiento control fue de 12098 Kg ha⁻¹, incrementándose

hasta un 17% con respecto a ese valor bajo el tratamiento T3 ($\sim 5 \text{ dS m}^{-1}$), disminuyendo ligeramente este incremento en los tratamientos T4 y T5 (aproximadamente un incremento del 12% con respecto al control) (Figura 11).

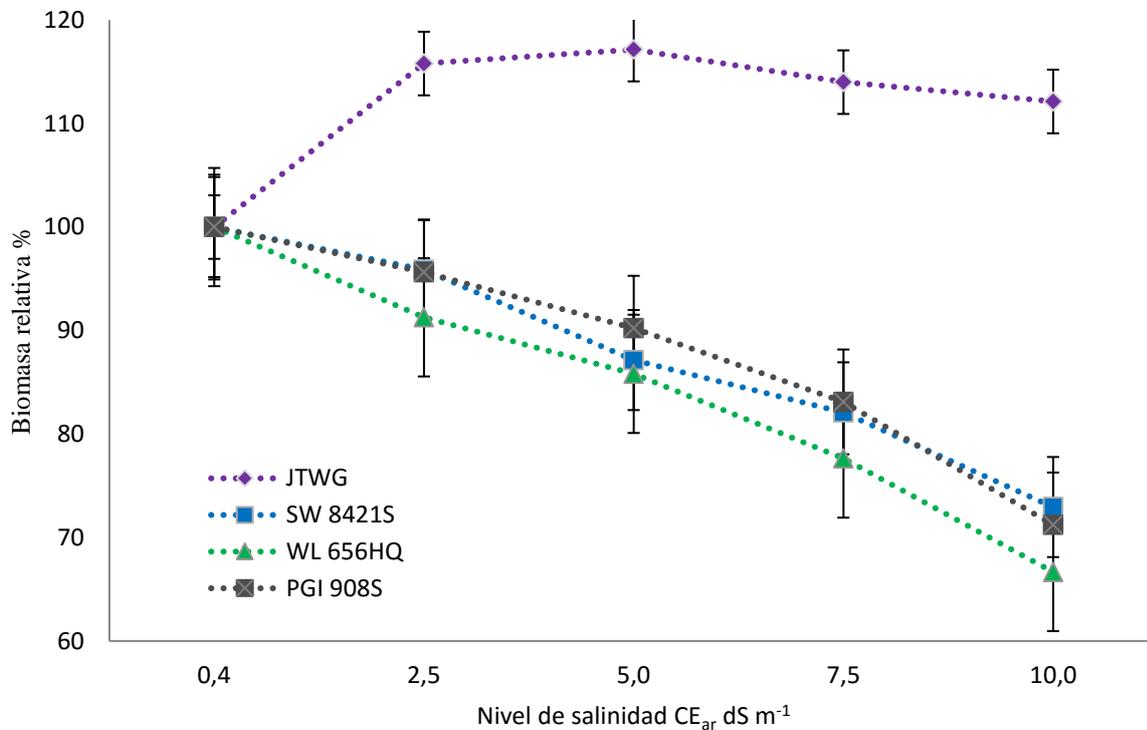


Figura 11. Biomasa relativa de las forrajeras bajo riego con las diferentes calidades de agua; media \pm desviación estándar, $n = 4$.

Las figuras 12 – 15, muestran la evolución temporal de la producción acumulada de biomasa para cada una de las variedades bajo los diferentes tratamientos.

Mientras que para las variedades de alfalfa puede observarse una clara separación entre tratamientos en los últimos cortes, para JTWG esta separación se observa sólo entre el tratamiento control y el resto.

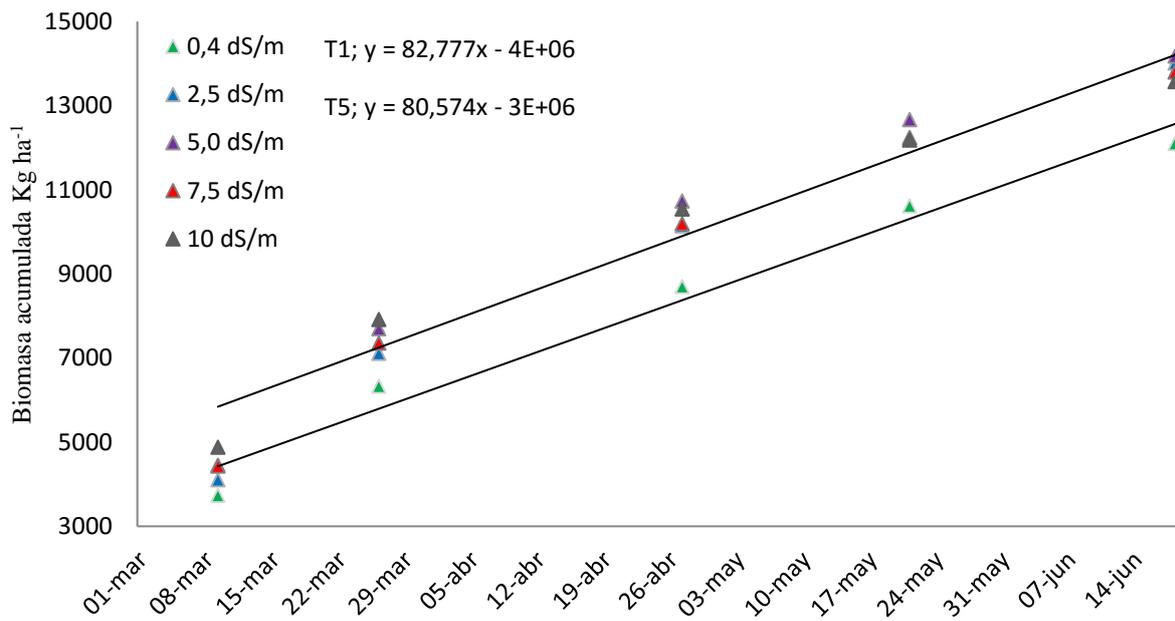


Figura 12. Producción de materia seca acumulada a lo largo del periodo experimental para JTWG, sometida a los distintos tratamientos en el agua de riego; regresión lineal para los tratamientos T1 y T5.

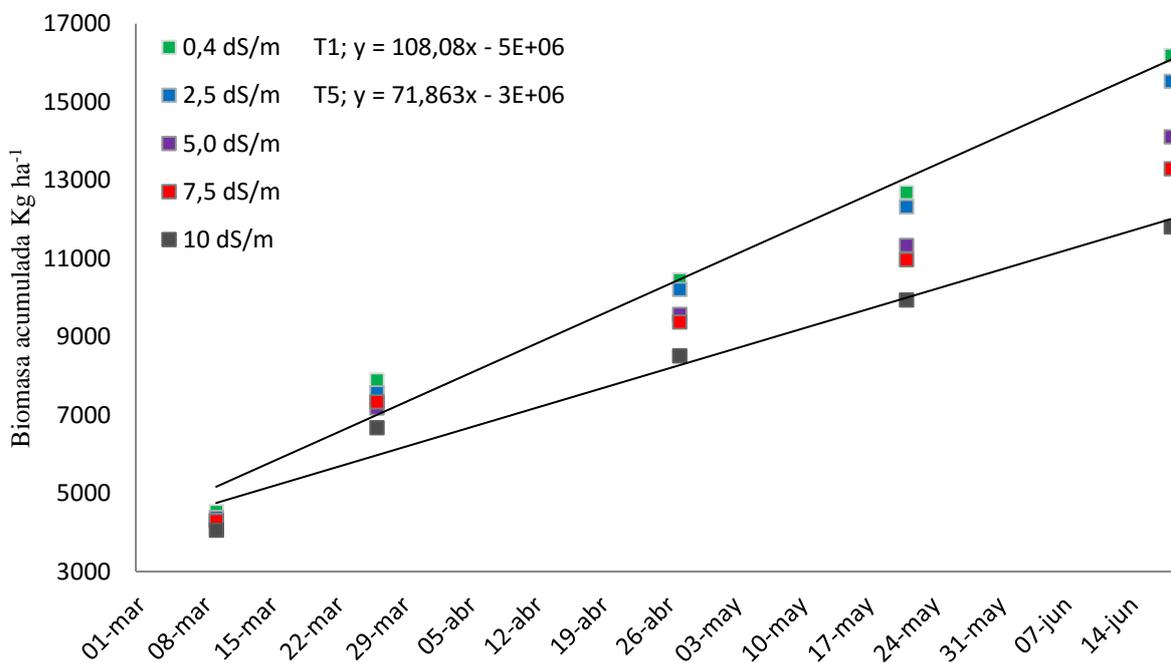


Figura 13. Producción de materia seca acumulada a lo largo del periodo experimental para *M. sativa* var. SW 8421S, sometida a los distintos tratamientos en el agua de riego; regresión lineal para los tratamientos T1 y T5.

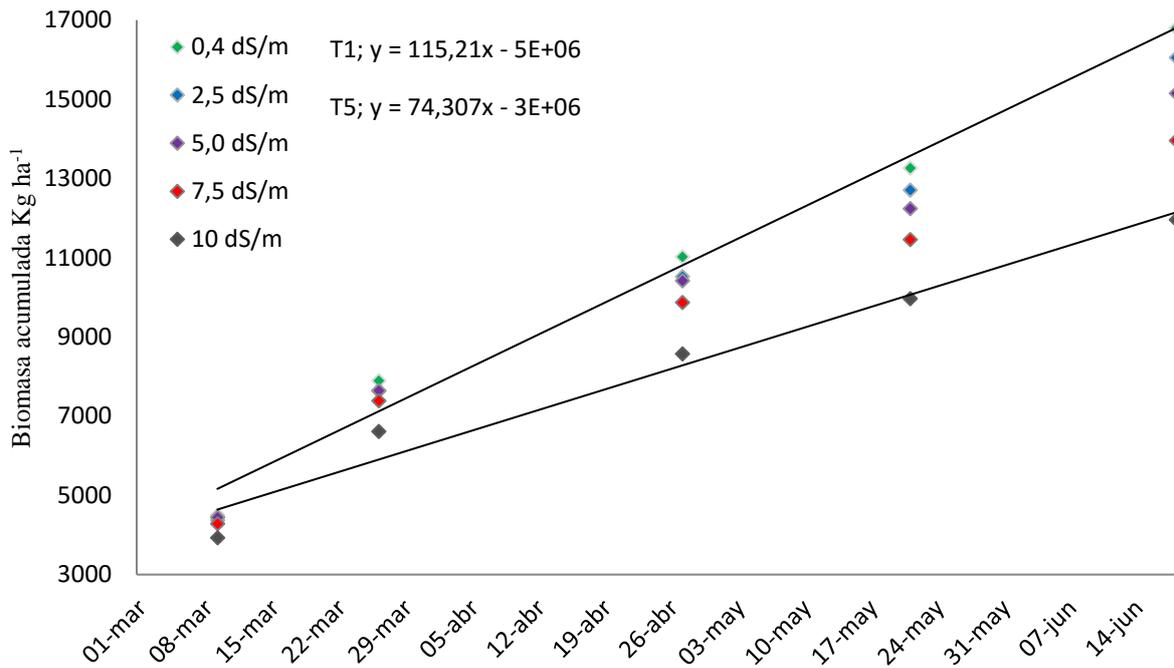


Figura 14. Producción de materia seca acumulada a lo largo del periodo experimental para *M. sativa* var. PGI 908S, sometida a los distintos tratamientos en el agua de riego; regresión lineal para los tratamientos T1 y T5.

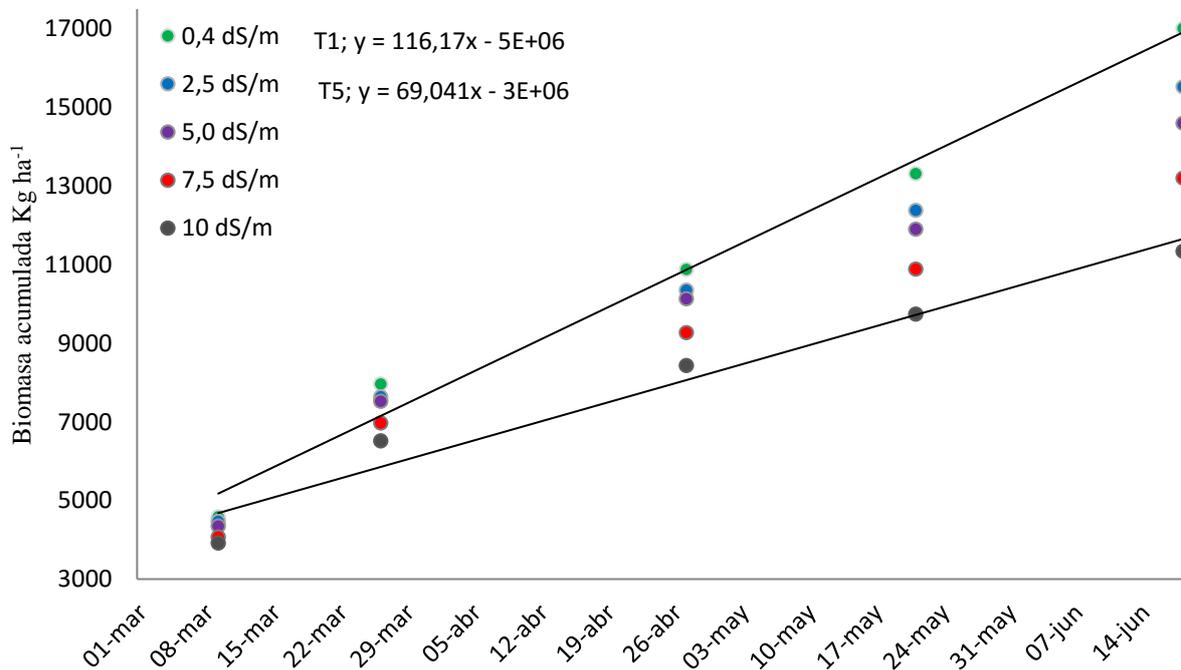


Figura 15. Producción de materia seca acumulada a lo largo del periodo experimental para *M. sativa* var. WL 656HQ, sometida a los distintos tratamientos en el agua de riego; regresión lineal para los tratamientos T1 y T5.

Composición mineral.- Las tablas 4 y 5 muestran las concentraciones de los diferentes elementos analizados, que se han dividido en macronutrientes (N, P, S, Ca, Mg y K; se incluyó en este grupo al Na sólo por presentarse en altas concentraciones en el agua de riego) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn y B).

La tabla 6 muestra los resultados (p-valores) de los análisis estadísticos realizados.

Variedad	Parámetro/tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5
JTWG	N %	2.95±0.34	3.18±0.42	3.1±0.26	3.56±0.35	3.35±0.18
	P %	0.49±0.04	0.49±0.05	0.47±0.02	0.49±0.05	0.49±0.07
	S %	0.17 ±0.05	0.19 ±0.06	0.17 ±0.05	0.18 ±0.06	0.17 ±0.04
	Ca %	0.31±0.04	0.28±0.03	0.29±0.04	0.31±0.05	0.27±0.05
	Mg %	0.19±0.01	0.20±0.03	0.18±0.02	0.19±0.03	0.18±0.02
	Na %	0.25±0.06	0.60±0.10	0.64±0.12	0.75±0.08	0.88±0.11
	K %	4.49±0.57	4.61±0.52	4.05±0.26	4.21±0.40	3.96±0.13
SW 8421S	N %	4.55±0.43	4.44±0.40	4.47± 0.35	4.36± 0.67	4.64±0.10
	P %	0.49±0.14	0.53± 0.12	0.44 ± 0.02	0.43 ± 0.05	0.43 ± 0.06
	S %	0.60±0.05	0.60±0.08	0.55± 0.23	0.59± 0.04	0.58± 0.03
	Ca %	2.16±0.24	2.10±0.21	2.14±0.14	1.98±0.13	2±0.15
	Mg %	0.43±0.06	0.42±0.03	0.45 ± 0.01	0.46± 0.03	0.46± 0.03
	Na %	0.09±0.03	0.24±0.09	0.37±0.07	0.46 ± 0.07	0.55 ± 0.07
	K %	4.36±0.33	4.34±0.30	3.81± 0.03	3.69± 0.09	3.68± 0.21
WL 656HQ	N %	4.57±0.10	4.56 ±0.30	4.50± 0.11	4.89 ± 0.17	4.85± 0.08
	P %	0.48± 0.08	0.42 ± 0.06	0.43± 0.03	0.42 ± 0.05	0.44 ± 0.05
	S %	0.58 ±0.15	0.6 ± 0.09	0.57± 0.02	0.58 ± 0.04	0.57 ± 0.08
	Ca %	2.28± 0.25	2.07 ± 0.24	1.86 ± 0.07	2.03 ± 0.26	2.01 ± 0.12
	Mg %	0.44±0.05	0.42± 0.06	0.41± 0.02	0.45± 0.05	0.45 ± 0.04
	Na %	0.10± 0.07	0.23 ± 0.03	0.41 ± 0.05	0.44 ± 0.07	0.54 ± 0.05
	K %	4.41±0.23	3.96± 0.23	3.63±0.10	3.51± 0.03	3.61± 0.28
PGI 908S	N %	4.55± 0.34	4.58± 0.26	4.64± 0.17	4.88± 0.16	4.71± 0.29
	P %	0.50±0.10	0.46±0.03	0.44±0.03	0.43±0.04	0.46±0.03
	S %	0.66 ± 0.06	0.59 ±0.15	0.62 ± 0.07	0.60± 0.03	0.61 ±0.06
	Ca %	2.29±0.21	2.28±0.12	2.02±0.24	2.02±0.10	1.93±0.16
	Mg %	0.45 ± 0.05	0.46± 0.03	0.41± 0.03	0.45 ± 0.02	0.44 ± 0.03
	Na %	0.12±0.04	0.25±0.07	0.39 ± 0.09	0.47± 0.05	0.61 ± 0.05
	K %	4.27 ± 0.29	3.98 ± 0.29	3.58 ± 0.38	3.53 ± 0.10	3.50 ± 0.14

Tabla 4. Composición mineral (macronutrientes y sodio) de las diferentes variedades de forrajeras bajo los distintos tratamientos de agua de riego; media ± desviación estándar; n=4.

Entre los macronutrientes el N, Ca, K y Na se vieron afectados significativamente por la variedad de forrajera ($p = 0,000$, para cada elemento), y por la calidad del agua de riego ($p = 0,037$; $p = 0,003$; $p = 0,000$ y $p = 0,000$, respectivamente), pero no por la interacción de ambos factores ($p = 0,710$; $p = 0,235$; $p = 0,801$ y $p = 0,148$). Los elementos S y Mg se vieron afectados sólo por la variedad de forrajera ($p = 0,000$, para ambos elementos), mientras que el P no fue significativamente afectado por ninguno de los factores ($p = 0,143$, para la variedad; $p = 0,181$, para los tratamientos y $p = 0,871$, para la interacción).

Las concentraciones de N, Ca, S y Mg fueron siempre mayores en las variedades de alfalfa que en el JTWG. Por el contrario los niveles de Na fueron significativamente mayores en el JTWG que en las variedades de alfalfa (0,64 % vs. 0,35 %), y se observa un incremento en todas las variedades conforme aumenta la salinidad del agua de riego. Para el N hay generalmente un incremento de la concentración al incrementarse la salinidad, mientras que con el K y el Ca ocurre lo contrario, disminuyendo su concentración a medida que se incrementa la salinidad (esto no se cumple para el JTWG donde no hay cambios apreciables en las concentraciones de Ca entre los tratamientos).

Variedad	Parámetro/ tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5
JTWG	Fe ppm	60.77 ± 12.85	63.21 ± 9.05	59.83 ± 7.24	70.51 ± 8.67	61.90 ± 2.39
	Mn ppm	101.88 ± 17.50	122.40 ± 18.74	102.49 ± 23.06	104.95 ± 22.67	98.22 ± 20.53
	Cu ppm	3.95 ± 1.36	4.05 ± 1.13	3.74 ± 0.95	5.08 ± 1.59	4.40 ± 0.65
	Zn ppm	14.18 ± 0.81	14.37 ± 1.06	13.22 ± 0.99	15.07 ± 0.91	14.01 ± 0.73
	B ppm	93.24 ± 14.13	54.60 ± 21.82	55.83 ± 1.59	63.99 ± 12.80	43.73 ± 7.23
SW 8421S	Fe ppm	114.11 ± 9.21	109.23 ± 12.31	112.80 ± 10.40	105.62 ± 7.62	99.87 ± 1.97
	Mn ppm	94.91 ± 20.25	101.68 ± 9.97	105.47 ± 24.27	111.75 ± 10.59	105.88 ± 24.29
	Cu ppm	5.88 ± 1.79	5.68 ± 1.71	6.74 ± 0.67	6.44 ± 0.36	6.58 ± 0.50
	Zn ppm	27.03 ± 12.46	26.88 ± 10.05	27.13 ± 10.57	24.85 ± 4.53	25.65 ± 4.66
	B ppm	121.95 ± 35.17	92.63 ± 31.33	89.89 ± 8.74	93.74 ± 5.90	98.76 ± 8.29

WL 656HQ	Fe ppm	116.55 ± 12.02	104.92 ± 7.78	108.99 ± 7.95	109.29 ± 5.66	103.81 ± 1.25
	Mn ppm	92.75 ± 11.25	96.57 ± 9.66	107.35 ± 18.76	117.09 ± 19.34	117.22 ± 40.71
	Cu ppm	6.33 ± 1.38	5.41 ± 1.76	6.12 ± 0.65	6.80 ± 1.37	6.39 ± 0.61
	Zn ppm	25.60 ± 8.43	26 ± 11.05	25.94 ± 7.07	27.14 ± 6.10	26.78 ± 3.77
	B ppm	97.32 ± 24.53	86.07 ± 19.73	90.90 ± 15.28	98.34 ± 19.20	89.66 ± 12.26
PGI 908S	Fe ppm	111.05 ± 7.84	111.34 ± 4.01	109.01 ± 7.90	107.37 ± 7.66	100.07 ± 4.56
	Mn ppm	106.68 ± 28.82	107.03 ± 17.32	98.59 ± 10.65	121.70 ± 14.58	107.15 ± 18.55
	Cu ppm	6.27 ± 1.96	6.30 ± 1.57	6.06 ± 1.34	6.85 ± 0.70	6.43 ± 0.69
	Zn ppm	28.38 ± 13.76	26.99 ± 15.71	25.66 ± 8.49	26.26 ± 5.51	25.60 ± 7
	B ppm	112.09 ± 31.69	100.40 ± 15.82	94.88 ± 21.59	92.26 ± 7.03	91.53 ± 13.76

Tabla 5. Composición mineral (micronutrientes) de las diferentes variedades de forrajeras bajo los distintos tratamientos de agua de riego; media ± desviación estándar; n=4.

Entre los micronutrientes las concentraciones de Fe y B se han visto afectadas significativamente por la variedad de forrajera ($p = 0.000$ y $p = 0.000$), y por la calidad del agua de riego ($p = 0.032$ y $p = 0,002$), pero no por la interacción entre ambos factores ($p = 0,420$ y $p = 0,712$). El Cu y Zn se vieron influenciados significativamente sólo por la variedad de forrajera ($p = 0.000$ y $p = 0.000$), mientras el Mn por ninguno de los factores ($p = 0,931$ para variedad; $p = 0.347$ para tratamiento). Con la excepción del Mn el resto de micronutrientes presentaron niveles más elevados en las variedades de alfalfa que en el JTWG (p.ej. B 96,68 ppm vs. 62,28 ppm). Las concentraciones de B y en menor medida las de Fe, decrecieron significativamente con el aumento de la salinidad del agua de riego (p.ej. B T1= 93,2 ppm ; B T5= 43,7 ppm).

Elemento	Variedad	Tratamiento	Interacción
N	0,000*	0,037*	0,710
P	0,143	0,181	0,871
S	0,000*	0,939	0,999
Ca	0,000*	0,003*	0,235
Mg	0,000*	0,420	0,736
Na	0,000*	0,000*	0,148
K	0,000*	0,000*	0,801

Fe	0,000*	0,032*	0,420
Mn	0,931	0,347	0,775
Cu	0,000*	0,269	0,990
Zn	0,000*	0,998	1,000
B	0,000*	0,002*	0,712

Tabla 6. Resultados estadísticos del análisis ANOVA para macronutrientes y micronutrientes; p-valores se indican con (*), los valores significativos.

Discusión

Producción de biomasa.-Los resultados preliminares demuestran que a medida que aumenta la salinidad en el agua de riego las variedades de alfalfa reducen de media su rendimiento un 5.7 %, 12.3 %, 19.1% y 29,7%, para salinidades de 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 dS m⁻¹ respectivamente. Atendiendo a los análisis estadísticos esta reducción es significativa a niveles de 7.5 dS m⁻¹. Cornacchione y Suárez (2015), en estudios similares con variedades de alfalfas salino-tolerantes (p.ej. SW 8421S) no observaron un efecto significativo de la salinidad en la reducción de la producción de biomasa hasta valores de CE en el agua de riego de 12 dS m⁻¹ (~ 25 %). Estas diferencias pueden deberse a los distintos tipos de suelos empleados en cada caso. Cornacchione y Suárez (2015) utilizan un sustrato arenoso con alta capacidad de drenaje, lo cual facilita el lavado de sales. En nuestro caso, el suelo de textura fina utilizado presenta una alta capacidad de retención de agua y facilita la acumulación de sales incluso con la aplicación de altas fracciones de lavado. Esto hace que se alcancen mucho antes niveles de salinidad limitantes para el desarrollo del cultivo.

Tall Wheatgrass muestra una respuesta totalmente diferente a los tratamientos salinos, observándose un efecto positivo de la salinidad sobre el rendimiento de la producción en comparación con el tratamiento control. Así se produce de media un incremento de 15,8%, 17,2%, 14,0% y 12,1% para salinidades de 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 dS m⁻¹, respectivamente. Estos resultados confirman la elevada tolerancia a la salinidad de esta forrajera reportada por otros autores (Grattan et al., 2004; Suyama et al., 2007; Díaz y Grattan, 2009). Sin embargo, los bajos niveles productivos obtenidos en los tratamientos control podrían estar relacionadas con problemas físicos del suelo asociados a la alta sodicidad del suelo original y a la baja CE del agua control. La combinación de estos dos factores en suelos de textura pesada puede provocar problemas de dispersión de arcillas, reducción de las tasas de infiltración, reducción de la conductividad hidráulica, reducción de las concentraciones de oxígeno etc (Díaz et al.,

2013), a los que JTWG parece ser más sensible que las variedades de alfalfa. En experiencias con JTWG en suelos no sódicos de textura equilibrada no se observan estas disminuciones de productividad con los tratamientos control (Díaz y Grattan, 2009).

La mayor tasa de producción de biomasa para alfalfas en nuestro experimento, expresada como kilogramos de materia seca por hectárea por día ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$), fue de 172 (tratamiento T1 $\sim 0,4 \text{ dS m}^{-1}$; var. WL656HQ), mientras que la más baja fue de 115 (tratamiento T5 $\sim 10 \text{ dS m}^{-1}$; var. WL656HQ). Cornacchione y Suárez (2015) obtienen para la variedad SW8421S, 81 y 60 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ con CE en el agua de riego de 3 y 12 dS m^{-1} respectivamente, valores inferiores a los obtenidos en este estudio. Otros autores registran tasas de producción de 74 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ para la var. Saladoyde 86 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ para la var. SW9720, con CE en el agua de riego de 15 dS m^{-1} (Grattan et al., 2004).

Para JTWG, la mayor tasa de producción se obtuvo bajo el tratamiento T3 (5 dS m^{-1}) con 143 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$, mientras que la menor fue con el tratamiento T1 (0,4 dS m^{-1}) con 122 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$. Díaz y Grattan (2009) observaron una tasa de producción de 98 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ a una CE en el agua de riego de 10 dS m^{-1} , en nuestra experiencia se obtienen 137 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$, para la misma calidad de agua. Para especies similares al TWG como *Agropyron elongatum*, se han reportado tasas de producción de 54 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ (Robinson et al., 2004) para CE en el agua de riego de 15 dS m^{-1} (Robinson et al., 2004). Estas diferencias en productividad pueden deberse a diferencias en las condiciones ambientales (temperatura, humedad), y a diferentes condiciones edáficas (características físicas, disponibilidad de nutrientes y agua, etc.).

Composición mineral.- La composición mineral de los cultivos puede verse afectada por la salinidad, que genera desbalances nutritivos al afectar a la disponibilidad de nutrientes, absorción competitiva, transporte y compartimentación dentro de los tejidos (Grattan y Grieve, 1999). Así, la composición mineral de los tejidos vegetales de la parte aérea de las plantas forrajeras obtenidas bajo condiciones salinas requiere un seguimiento de su evolución temporal, en orden a evaluar el impacto potencial en la nutrición mineral de los rumiantes.

La Tabla 7 muestra los valores de referencia de composición mineral para alfalfas (Mills y Benton, 1996). Para JTWG no ha sido posible encontrar en la literatura valores de referencia. Las tres variedades de alfalfa en este estudio presentan niveles dentro de los rangos adecuados para todos los nutrientes excepto para K, S y B, que presentan concentraciones superiores a los valores guía.

Medicago sativa

Macronutrientes (%)		Micronutrientes (ppm)	
N	4.50-5.00	Fe	30-250
P	0.26-0.70	Mn	31-100
K	2.00-3.50	B	30-80
Ca	1.80-3.00	Cu	7-30
Mg	0.30-1.00	Zn	21-70
S	0.26-0.50	Mo	1.00-5.00

Tabla 7. Valores de referencia foliares (macro y micronutrientes) para *M. sativa*.

La hipomagnesemia (grass tetany) es un grave desorden metabólico en rumiantes que afecta a la biodisponibilidad de magnesio en el rumen (McDowell y Valle, 2000). Concentraciones elevadas de K en el forraje disminuyen la absorción de Mg y pueden originar esta enfermedad (McDowell, 1985; Spears, 1994). La relación K/ (Ca + Mg) en las gramíneas y la relación K/Mg en las leguminosas, calculadas como milimol carga por kilo de materia seca, han sido sugeridas como indicadores de vulnerabilidad a la hipomagnesemia, estableciéndose como valor límite para ambas $2.2 \text{ mmolc kg}^{-1} \text{ DM}$ (Grunes et al., 1970; Gross y Jung, 1978; Baligar et al., 2001). Igualmente el nivel máximo tolerable (MTL; definido como la cantidad máxima de un elemento incluida en la dieta durante un periodo de tiempo determinado que no afecta al rendimiento y salud del animal), para el K ha sido establecido en $20000 \text{ mg K kg}^{-1} \text{ DM}$ (NRC, 2005).

Todas las variedades de alfalfa y el JTWG en este estudio superan ampliamente el valor de MTL para el K, moviéndose de media entre 35.000 y $44.000 \text{ mg K kg}^{-1} \text{ DM}$ y entre $39.600 - 46.100 \text{ mg K kg}^{-1} \text{ DM}$, respectivamente. Por otro lado, el valor de la relación K/ Mg varió de media para las alfalfas entre 2.6 y 2.9, mientras que para el JTWG la relación K/ (Ca + Mg) varió entre 3.5 y 3.7. Por lo tanto los niveles elevados de K constituyen un factor muy importante que podría limitar la utilización de estos forrajes como alimento para el ganado. No obstante existen tratamientos paliativos fácilmente aplicables para corregir la hipomagnesemia, como son la suplementación en la dieta con óxidos de magnesio (MgO) o sulfato de magnesio (MgSO₄) (Odette, 2005; Scandolo, 2005).

Una alta concentración de S en los forrajes puede resultar tóxica en rumiantes, manifestándose como fallos en el sistema nervioso central y lesiones cerebrales, enfermedad denominada polioencefalomalacia (Gould et al., 1991). Para evitar estos problemas el MTL

ha sido establecido como 0.30 y 0.50 % S de peso seco para dietas con un 85 y 40% de forraje respectivamente (NCR, 2005). Otro problema asociado a las altas concentraciones de S es la deficiencia de Cu (Suttle, 1991; Spears, 2003). La disponibilidad de este último desciende conforme las concentraciones de S y Mo aumentan en el rumen por la formación de complejos no asimilables como los tiomolibdatos (Spears, 2003). Un incremento en la dieta del 0.2 al 0.4% de S puede causar una reducción del 50% en el Cu absorbido. Así, para evitar estas interacciones, los niveles de S deberían limitarse al requerimiento del animal (p.ej. 0.2% para ganado para producción de leche; 0.15% para ganado para producción de carne). En nuestro estudio JTWG no alcanzó niveles de S superiores al MTL (0.17 – 0.19 %), sin embargo las alfalfas si acumularon este elemento a concentraciones superiores al MTL (0.55–0.66). Por lo tanto las concentraciones de S constituyen un problema potencial si este forraje es usado para alimentar rumiantes. Los animales alimentados con este tipo de forraje deberían ser analizados para detectar deficiencias de Cu, que pueden ser fácilmente tratadas con suplementos de Cu, y toxicidad por S.

El B se considera un elemento relativamente no tóxico y la mayoría de animales lo toleran bien (Underwood y Suttle, 1999; NRC, 2005). Sin embargo algunas evidencias sugieren que puede producirse toxicidad en animales que consuman elevadas cantidades de B. El consumo por parte del ganado de aguas que contienen 150 - 300 mg B L⁻¹, lo cual equivale a >800 mg B Kg⁻¹ en peso seco en la dieta, provoca letargo, pérdida de apetito y peso, inflamación, y descenso de las concentraciones de hemoglobina en sangre (Green y Weeth, 1997). También se ha observado toxicidad por B en aves de corral y roedores (Puls, 1994; IPCS, 1998). Estos hallazgos han llevado al establecimiento de un MTL de 135 mg B Kg⁻¹ en peso seco para el ganado (NRC, 2005). Las concentraciones de B observadas en este estudio, aunque cercanas al MTL no llegan a superarlo, en el caso de las alfalfas los valores máximos fueron 110,45 mg B kg⁻¹, mientras que en JTWG fue de 93,24 mg B kg⁻¹. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se están analizando plantas jóvenes (~ 7 meses), y que posiblemente la acumulación de B, así como de otros elementos, puede verse incrementada en el futuro conforme las plantas maduran y se extiende el periodo de aplicación de los tratamientos.

Además las concentraciones de B disminuyeron con el aumento de la salinidad en el agua de riego (Tabla 5), efecto ya observado por diversos autores en distintos cultivos (Ben-Gal and Shani, 2002; Yermiyahu et al., 2008; Díaz y Grattan, 2009). Estos resultados sugieren la existencia de interacciones que incrementan la tolerancia al B bajo condiciones salinas. Una

posible razón podría ser la reducción de la absorción de agua por parte de las plantas bajo los niveles más altos de salinidad, disminuyendo así la tasa de acumulación de B en los tejidos (Yermiyahu et al., 2008). Otros autores señalan que son las interacciones con el ión SO_4^{2-} y Cl^- las responsables de esta reducción de B (El-Motaium et al., 1994; Grattan et al., 2004c).

Conclusiones

Este estudio pone de manifiesto el potencial que presentan los recursos de suelos y aguas afectados por sales en las Islas Canarias para la producción agrícola de cultivos con alta demanda. Todas las variedades forrajeras evaluadas han mostrado una alta tolerancia a la salinidad en suelos y aguas de riego, obteniéndose producciones de biomasa relativamente elevadas atendiendo a la calidad de los recursos utilizados. Sin embargo la selección de variedades en agricultura biosalina requiere no sólo que sean tolerantes a la salinidad, sino también que minimicen la acumulación de elementos tóxicos y presenten una composición mineral equilibrada.

La calidad del forraje obtenido presenta, desde la perspectiva de la nutrición mineral para rumiantes, algunos aspectos preocupantes que deben ser controlados. Las concentraciones de K, S y B superiores o cercanas a los MTLs establecidos desaconsejan el consumo a largo plazo de estos forrajes como único o principal ingrediente de la dieta, debiéndose utilizar como una porción de la dieta total mezclándose con otros forrajes de menor contenido mineral. En cualquier caso, el ganado que consuma forraje de esta calidad debe ser monitoreado para detectar signos de toxicidad de S y B, así como deficiencias de Mg y Cu.

El relativamente corto periodo de estudio, en este trabajo se presentan los resultados de los 7 primeros meses de cultivo, no permite aún establecer cuáles de las variedades evaluadas presentan un mayor potencial agrícola bajo estas condiciones. Probablemente la continuidad en la aplicación de los tratamientos producirá cambios significativos tanto en la producción de biomasa como en la composición mineral que nos permitirán valorar de forma global, para todo el ciclo de cultivo, el rendimiento y calidad de estas variedades.

Conclusions

This study show the potential that the soils and water resources affected by salt has in Canary Island for agricultural production of crops whit high demand. All evaluated forage varieties have shown a high tolerance to salinity in soils and irrigation water, resulting in relatively

high biomass yields based on the quality of the resources used. However the selection of varieties in biosaline agriculture not only requires being tolerant to salinity, but also minimize the accumulation of toxic elements and present a balanced mineral composition.

Forage quality obtained has, from the perspective of mineral nutrition for ruminants, some worrying aspects to be controlled. The concentrations of K, S and B above or near the MTLs established, advice against the long-term consumption of these forage as main or unique ingredient in diet, must be used as a portion of the total diet mixing it with other forages of lower mineral content. In any case, livestock eating forage this quality should be monitored for signs of toxicity of S and B and deficiencies Mg and Cu.

The relatively short period of study in this paper the results of the first 7 months of culture are presented, not ready yet to establish which of the tested varieties have higher agricultural potential under these conditions. Probably the continued application of the treatments will produce significant changes in both biomass production and mineral composition that will allow us to assess globally for the entire growing season, the yield and quality of these varieties.

Agradecimientos

Este TFG ha sido financiado por los proyectos: Agricultura biosalina para la producción de especies forrajeras en Canarias (Fundación CajaCanarias) y Agricultura biosalina para el aprovechamiento de recursos marginales de suelos y aguas en un medio insular (AGL2013-46054-R Ministerio de Economía y Competitividad).

Bibliografía

APHA, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. APHA Publication Office, Washington, DC.

Baligar, V.C., Grunes, D.L., Belesky, D.P. y Clark, R.B., 2001. Mineral composition of forage legumes as influenced by aluminum. *J. Plant Nutr.* 24, 215–227.

Beltran, J. y Koo-Oshima, S., 2006. FAO expert consultation on water desalination for agricultural applications, Rome (Italy).. FAO Land and Water Discussion Paper 5, p. 60.

Benes, S., Putnam, D., Chahal, I., Grattan, S. y Bushoven, J., 2014. What is the ability of alfalfa to sustain saline conditions?.. In: Proceedings, 2014 California Alfalfa, Forage, and Grain Symposium, Long Beach, CA, 10-12 December, 2014.

Ben-Gal, A. y Shani, U., 2002. Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. *Plant Soil* 247, 211–221.

Ben-Gal, A., Yermiyahu, U. y Cohen, S., 2009. Fertilization and blending alternatives for irrigation with desalinated water. *Journal of Environmental Quality*, 38, 529–536..

CIATFE 2013. Consejo Insular de Aguas de Tenerife, Comunicación Personal.

Cornacchione M. V., y Suárez D. L., 2015. Emergence, forage production and ion relations of alfalfa in response to saline water. *Crop Science* 55, 444-457.

Custodio, E. & Cabrera, M., 2002. ¿Cómo convivir con la escasez de agua? el caso de las Islas Canarias. *Boletín geológico y minero* 113, 243-258.

Delgado Enguita, I., Muñoz Pérez, F. y Andueza Urra, D., 2005. El cultivo de la alfalfa en Aragón: recientes ensayos sobre variedades. Dirección General de Desarrollo Rural. Talleres Editoriales Cometa S.A. Núm. 157

Díaz, F., Benes, S. & Grattan, S., 2013. Field performance of halophytic species under irrigation with saline drainage water in the San Joaquin Valley of California.. *Agricultural Water Management* 118: 59-69.

Díaz, F. J. y Grattan, S., 2009. Performance of tall wheatgrass (*Thinopyrum ponticum*, cv. 'Jose') irrigated with saline-high boron drainage water: Implications on ruminant mineral nutrition. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131, 128–136.

Díaz, F., Tejedor, M., Jiménez, C., Grattan, S.R., Dorta, M. y Hernández, J.M., 2013. The imprint of desalinated seawater on recycled wastewater: Consequences for irrigation in Lanzarote Island, Spain. *Agricultural Water Management* 116, 62-72.

- El-Motaium, R., Hu, H. y Brown, P.H., 1994. The relative tolerance of six *Prunus* rootstocks to boron and salinity. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 119, 1169–1175. UC Salinity-Drainage Task Force Annual Report. Div. Agric. And Nat. Resources. University of California.
- Gould, D.H., McAllister, M.M., Savage, J.C. y Hamar, D.W., 1991. High sulfide concentrations in rumen fluid associated with nutritionally induced polioencephalomalacia. *Am. J. Vet. Res.* 52, 1164–1169.
- Grattan, S.R. y Grieve, C.M., 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hort.* 78, 127–157.
- Grattan, S.R., Grieve, C.M., Poss, J.A., Robinson, P.H., Suárez, D.L. y Bene, S., 2004. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems. I. Biomass production. *Agric. Water Manage.* 70, 109–120.
- Green, G.H. y Weeth, H.J., 1977. Responses of heifers ingesting boron in water. *J. Anim. Sci.* 45, 812–818.
- Grieve, C.M., Poss, J.A., Grattan, S.R., Suárez, D.L., Benes, S.E. y Robinson, P.H., 2004. Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuse systems. II. Plant-ion relations. *Agricultural Water Management*, Volumen 70, pp. 121-135.
- Gross, C.F. y Jung, G.A., 1978. Magnesium, Ca, and K concentration in temperate-origin forage species as affected by temperature and Mg fertilization. *Agron. J.* 70, 397–403.
- Grunes, D.L., Stout, P.R. y Brownell, J.R., 1970. Grass tetany of ruminants. *Adv. Agron.* 22, 331–374.
- Grunes, D.L., Welch, R.M., 1989. Plant contents of magnesium, calcium and potassium in relation to ruminant nutrition. *J. Animal Sci.* 67, 3485–3494.
- Hernández Moreno, J. y Palacios, M., 2013. Calidad de las aguas de riego en zonas volcánicas para un manejo integrado de los recursos hídricos. En: J. e. a. Santamarta Cerezal, ed. *Avances en la investigación de los recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos..* Tenerife, p. 272.
- Holloway, R.E. y Alston, A.M., 1992. The effects of salt and boron on growth of wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 43, 987–1001.
- Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, 2008. Plan forrajero para Canarias: propuesta inicial (borrador). Unidad de producción animal, pastos y forrajes. [En prensa]
- International Programme on Chemical Safety (IPCS), 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization, Geneva.
- Juchem, S.O., Benes, S.E., Robinson, P.H., Grattan, S.R., Vasquez, P., Chilbroste, P. y Brito, M., 2012. Grazing as an alternative for utilization of saline-sodic soils in the San Joaquín Valley: Selenium accretion and performance of beef heifers.. *Science of the Total Environment* 419, 44-53.

- Lahav, O. y Birnhack, L., 2007. Quality criteria for desalinated water following posttreatment.. *Desalination* 207, 286-303.
- Masters, D., Benes, S. y Norman, H., 2007. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 234-248.
- McBride, M.B., Richards, B.K., Steenhuis, T. y Spiers, G., 2000. Molybdenum uptake by forage crops grown on sewage sludge-amended soils in the field and greenhouse. *J. Environ. Qual.* 29, 848–854.
- McDowell, L.R., 1985. *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, New York.
- McDowell, L.R. y Valle, G., 2000. Major minerals in forages. In: Givens, D.I., Owens, E., Axford, R.F.E., Omed, H.M. (Eds.), *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, CABI Publishing, Oxon, UK, pp. 373–397.
- Mills, H., y Benton, J., 1996. *Plant analysis handbook II. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. MicroMacro Publishingm Inc. pp. 247-248.
- Mónica V. Cornacchione y Donald L. Suárez, 2015. Emergence, forage production and ion relations of alfalfa in response to saline water. *Crop Science* 55, 444-457.
- National Research Council (NRC), 2005. *Mineral Tolerance of Animals*. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Odette, O. 2005. Grass tetany in a herd of beef cows. *Can Vet J*, 46: 732-734.
- Ogle, D., L. St. John, M. Stannard, L. y Holzworth. 2008. Grass, Grass-like, Forb, Legume, and Woody Species for the Intermountain West. *Plant Materials Tech Note No. 24*. USDA NRCS, Boise, Idaho. http://www.id.nrcs.usda.gov/programs/tech_ref.html# TechNotes
- Plan director de actuaciones para el desarrollo de un plan ganadero integral, 2006. Consejería de Agricultura Ganadería, Pesca y Aguas. Gobierno de Canarias.
- Poss, J.A., Grattan, S.R., Grieve, C.M. y Shannon, M.C., 1998. Characterization of leaf boron injury in salt-stressed Eucalyptus by image analysis. *Plant Soil* 206, 237–245.
- Puls, R., 1994. *Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data*. Sherpa International, Clearbrook, Canada, 356 pp.
- Robinson, P.H., Grattan, S.R., Getachew, G., Grieve, C.M., Poss, J.A., Suárez, D.L. y Benes, S.E., 2004. Biomass accumulation and potencial nutritive value of some forages irrigated with saline-sodic drainage water.. *Animal Feed Science and Technology* 111, 175-189.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J. y Hill, M., 2004. *Propiedades físicas del suelo*. Universidad de la República, Facultad de Agronomía; Dpto. Suelos y aguas.

- Scandolo, D. 2005. Evaluación física, química y biológica de productos de magnesio para la suplementación de vacas lecheras a pastoreo. Tesis de Magister. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Austral de Chile.
- Soil Survey Staff, 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Invest. Rep. 42. USDA-NRCS, Natl. Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Spears, J.W. 1994. Minerals in forages. In: Fahey, G.C.Jr., (Ed.), Forage Quality, Evaluation, and Utilization, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, pp. 281–317 (Chapter 7).
- Spears, J.W., 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J. Nutr.* 133 (Supplement), 1506–1509.
- Suttle, N.F., 1991. The interactions between copper, molybdenum and sulphur in ruminant nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 11, 121–140.
- Suyama, H., Benes, S.E., Robinson, P.H., Getachew, G., Grattan, S.R. y Grieve, C.M., 2007. Biomass yield and nutritional quality of forage species under long-term irrigation with saline-sodic drainage water: field evaluation.. *Animal Feed Science and Technology* 135, 329-345.
- Tejedor, M., Hernández-Moreno, J. y Jiménez, C., 2007. Soils of volcanic system in Spain. En: O. Arnalds, ed. *Soils of volcanic regions in Europe*. Berlín: Springer, pp. 101-112.
- Underwood, E.J. y Suttle, N.F., 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*, 3rd ed. CABIPublishing, Oxon, UK.
- USEPA, 1994. Method 3015-microwave assisted acid digestion of aqueous samples. In: *Test Methods for Evaluating Solid Waste*, 3rd ed. USEPA, p. 26.
- Yadav, H.D., Yadav, O.P., Dhankar, O.P.y Oswal, M.C., 1989. Effect of chloride salinity and boron on germination, growth and mineral-composition of chickpea (*Cicerarietinum L.*). *Ann. Arid. Zone* 28, 63–67.
- Yermiyahu, U., Ben Gal, A., Cohen, S., Shemer, D., Golan, D.R. y Bar Tal, A., 2007b. Irrigation of crops with desalinated water. Report Submitted to Chief Scientist, Israel Ministry of Agriculture and Rural Development. Project # 301-00527-05, 15 pp.
- Yermiyahu, U., Tal, A., Bar-Tal, A., Tarchitsky, J. y Lavah, O., 2007a. Rethinking desalinated water quality and agriculture.. *Science*, Volumen 318, p. 920–921.
- Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Keren, R. y Reid, R.J., 2008. Combined effect of salinity and excess boron on plant growth and yield. *Plant Soil* 304, 73–87.