

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

MÁSTER EN PRODUCCIÓN VEGETAL Y
ECOSISTEMAS AGROFORESTALES



ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL INJERTO EN PIMIENTO (*Capsicum spp.*) FRENTE A ESTRÉS SALINO.

TRABAJO FINAL DE CARRERA

ALUMNA:

MARIA LUISA DOMINGO CALAP

DIRECTOR ACADÉMICO:

ALBERTO SAN BAUTISTA PRIMO

DIRECTORA EXPERIMENTAL:

ANGELES CALATAYUD CHOVER

SEPTIEMBRE 2014

Resumen

La salinidad es uno de los mayores problemas medio ambientales al que tienen que hacer frente los cultivos. El injerto se presenta como una técnica sostenible y respetuosa con el medio ambiente. La implementación del injerto como una alternativa pasa por la selección de una buena combinación patrón/variedad que tenga una buena adaptación a los estreses, en este caso salino, con una óptima producción y calidad. En este trabajo se analizaron 6 combinaciones de genotipos de pimiento (*Capsicum* spp): la variedad comercial Adige, las accesiones A5 y A7 y el injerto de la variedad cultivada sobre si misma, así como sobre cada uno de los patrones empleados. Estos genotipos se estudiaron tanto en fase de germinación como en fase de crecimiento vegetativo bajo condiciones de estrés salino, empleando diferentes tratamientos salinos a distintas conductividades eléctricas (CE). Para evaluar la influencia de la salinidad sobre la germinación de los genotipos empleados en el estudio, en primer lugar se llevó a cabo un ensayo de germinación de los mismos. Con el objetivo de evaluar la influencia del injerto frente al estrés salino, en este trabajo se estudiaron distintos parámetros vegetativos: altura de la planta, peso seco de las hojas, peso seco del tallo, peso seco de las raíces y el ratio $((\text{peso seco hojas} + \text{peso seco tallo}) / \text{peso seco raíces})$; así como el potencial osmótico y la fotosíntesis, para poder evaluar la tolerancia a la salinidad de los distintos genotipos estudiados. De los resultados se concluye, que en todos los casos, el injerto presenta mejores resultados frente a las plantas sin injertar, siendo la combinación Adige/A5 la que mejores resultados presenta. Es por ello, por lo que se podría seleccionar la accesión A5 para su uso en mejora de pimiento frente a estrés salino, siempre y cuando se realizasen estudios más exhaustivos para conocer mejor su comportamiento a nivel fisiológico y agronómico.

Summary

Salinity is one of the biggest environmental problems in horticulture. Grafting is presented as a sustainable and respectful technique with the environment. The grafting implementation as an alternative goes through the selection of a good combination of rootstocks and varieties with a good adaptation to stress conditions, in this case salt stress, with an optimum production and quality. In this work, 6 combinations of pepper genotypes (*Capsicum* spp.) were analyzed: the commercial variety Adige, the accessions A5 and A7 and the graft of the cultivar variety onto itself, as well as onto each of the rootstocks used. These genotypes were studied both, in the germination phase and in the vegetative growth phase, under salinity conditions, using different salinity treatments with different electric conductivity (CE). In order to evaluate the salinity influence on the germination of the used genotypes, a germination essay of them was done first of all. With the objective of evaluating the graft influence over salinity stress, in this study different vegetative parameters were analyzed: plant height, leaves dry weight, stem dry weight, root dry weight and the ratio ((leaves dry weight+ stem dry weight)/ root dry weight); as well as the osmotic potential and the photosynthesis to evaluate the salinity tolerance to the different studied genotypes. As conclusion, taking into account the results, the graft presents better results compared to the ungrafted plants in every cases. The best results, are obtained with the combination Adige/A5. For this reason, the accession A5, could be select to use in breeding programs to improve the salt stress in pepper. For that, is necessary to realize more experiments to understand their physiological and agronomic behavior.

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a mis queridos tutores del trabajo final de máster: Ángeles y Alberto, gracias por brindarme la gran oportunidad de realizar este interesantísimo trabajo. Darle las gracias también a Chelo, que no ha podido constar como tutora de este trabajo, pero que para mí, lo ha sido. Sin ti la realización de este trabajo, no hubiese sido posible. Gracias por vuestra total disponibilidad. Os deseo lo mejor de todo corazón.

También me gustaría agradecer a todos los profesores que han formado parte de mi formación académica, tanto a los de la universidad, como a los del colegio e instituto, su gran esfuerzo y dedicación.

A todos mis compañeros y amigos de la universidad, por todos los buenos momentos vividos juntos durante estos importantes años de nuestras vidas.

A mis amigos del parque, a los de la falla y a los del chalet, porque siempre están ahí. Gracias por vuestros sinceros consejos.

Y por último, y más importante, a mi familia y a David, lo más grande que tengo. Gracias por estar siempre a mi lado y por vuestro apoyo y ayuda incondicional. Gracias por todo.

Índice general

1.-Introducción.....	1
1.1.Importancia del cultivo del pimiento.....	1
1.2. Problemática de las sales.....	4
1.3. Efecto fisiológico-agronómico de las sales en las plantas.....	7
1.3.1 Efecto agronómico de las sales en el cultivo del pimiento.....	8
1.4 El injerto.....	9
1.4.1 El injerto en pimiento.....	10
2.-Objetivos.....	12
3.-Material y métodos.....	13
3.1 Ensayo de germinación.....	13
3.2. Estudio de biomasa y potencial osmótico y fotosíntesis neta.....	16
3.3 Análisis estadístico.....	18
4.-Resultados	19
4.1 Ensayo de germinación.....	19
4.2 Análisis de parámetros vegetativos.....	26
4.3 Análisis de potencial osmótico.....	41
4.4 Análisis de fotosíntesis neta.....	45
5.-Discusión.....	51
6.-Conclusión.....	54
7.-Bibliografía	55

Índice de figuras

Figura 1.1 Gráfico porcentual por Comunidades Autónomas españolas, en referencia a superficie (ha) cultivada de pimiento (MARM, 2010).....	3
Figura 1.2. Gráfico porcentual Comunidades Autónomas españolas, en referencia a producción (toneladas) de pimiento (MARM, 2010).....	4
Figura 3.1. Detalle del comienzo del experimento, laboratorio fitotecnia, Universidad Politécnica de Valencia.....	14
Figura 3.2. Detalle de uno de los 30 días en los que se llevó a cabo el conteo de semillas, laboratorio fitotecnia, Universidad Politécnica de Valencia.....	15
Figura 3.3. Detalle de la balanza empleada en el peso de raíces tallos y hojas, laboratorio horticultura, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.....	18
Figura 4.1. Modelo logístico ajustado a la germinación de las semillas de pimiento de los genotipos A5, A7 y Adige.....	22
Figura 4.2. Modelo logístico ajustado a la germinación de las semillas de pimiento de los tratamientos NaCl 5dS·m ⁻¹ , NaCl 8dS·m ⁻¹ , KCl 5dS·m ⁻¹ , KCl 8dS·m ⁻¹ , Na ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹ , Na ₂ SO ₄ 8dS·m ⁻¹ , K ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹ , K ₂ SO ₄ 8dS·m ⁻¹ y control.....	22
Figura 4.3. Modelo logístico ajustado a la germinación de las semillas de pimiento de los tratamientos NaCl 5dS·m ⁻¹ , NaCl 8dS·m ⁻¹ , KCl 5dS·m ⁻¹ , KCl 8dS·m ⁻¹ , Na ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹ , Na ₂ SO ₄ 8dS·m ⁻¹ , K ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹ , K ₂ SO ₄ 8dS·m ⁻¹ y control, para los genotipos A5, A7 y Adige.....	23
Figura 4.4. Número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final de los genotipos A5, A7 y Adige en los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD (P≤0,05).....	24

Figura 4.5. Velocidad media relativa de la germinación acumulada de los genotipos A5, A7 y Adige en los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	25
Figura 4.6. Altura de las plantas de pimiento en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	30
Figura 4.7. Peso seco hojas de las plantas de pimiento en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	31
Figura 4.8. Peso seco tallo de las plantas de pimiento en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	32
Figura 4.9. Peso seco raíz de las plantas de pimiento en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	33
Figura 4.10. Altura de las plantas de pimiento en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	36
Figura 4.11. Peso seco hojas de las plantas de pimiento en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	37

Figura 4.12. Peso seco tallo de las plantas de pimiento en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	38
Figura 4.13. Peso seco raíz de las plantas de pimiento en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	39
Figura 4.14. Ratio H+R/T de las plantas de pimiento en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	40
Figura 4.15. Potencial osmótico de las plantas de pimiento en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	44
Figura 4.16. Fotosíntesis neta de las plantas de pimiento en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	47
Figura 4.17. Fotosíntesis neta de las plantas de pimiento en T2 de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0,05$).....	49

Índice de tablas

Tabla 1.1. Datos de producción de los mayores productores a nivel mundial, según datos de la FAO (2011).....	1
Tabla 1.2. Datos de rendimiento de los mayores productores a nivel mundial, según datos de la FAO (2011).....	2
Tablas 4.1. Influencia del genotipo y del tratamiento en la germinación acumulada (G , %), máximo porcentaje de germinación (A , %), número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final ($t_{50} = B/K$, d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d^{-1}).....	21
Tabla 4.2. Análisis estadístico de la altura, del peso seco de las hojas, del peso seco del tallo, del peso seco de las raíces y del ratio peso seco de las hojas más peso seco del tallo, dividido entre el peso seco de las raíces; de las plantas recogidas a los 15 días del comienzo del ensayo (T1).....	28
Tabla 4.3. Análisis estadístico de la altura, del peso seco de las hojas, del peso seco del tallo, del peso seco de las raíces y del ratio peso seco de las hojas más peso seco del tallo, dividido entre el peso seco de las raíces; de las plantas recogidas a los 30 días del comienzo del ensayo (T2).....	34
Tabla 4.4. Análisis estadístico del potencial osmótico de las plantas recogidas a los 15 días del comienzo del ensayo, y a los 30 días (T1 y T2, respectivamente).....	42
Tabla 4.5. Análisis estadístico de la fotosíntesis neta, antes de la recogida de las plantas a los 15 días del comienzo del ensayo, y a los 30 días (T1 y T2, respectivamente).....	46

1. Introducción

1.1. Importancia del cultivo del pimiento

El pimiento es una hortaliza de extraordinaria importancia económica y social a nivel mundial, de la que se benefician muchas cooperativas, familias de agricultores e industrias de transformación. En nuestro país es una de las primeras hortalizas, tanto en consumo, como en importancia económica.

La producción mundial de pimientos, sin tener en cuenta los destinados a producto en seco, se elevó en el año 2011 a casi 30 millones de toneladas, concretamente 29.939.029 (FAO, 2011)

El mayor productor es China, con 15,54 millones de toneladas, más de la mitad de la producción mundial. A China le sigue, aunque a larga distancia, México, con 2,13 millones de toneladas. Turquía ocupa el tercer lugar con 1,97 millones de toneladas y España está en la sexta posición con 0,89 millones de toneladas. (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Datos de producción de los mayores productores a nivel mundial, según datos de la FAO (2011).

Posición	Región	Producción (t)
1	China	15.545.683
2	México	2.131.740
3	Turquía	1.975.270
4	Indonesia	1.483.080
5	USA	1.018.490
6	España	898.260
7	Egipto	670.434
8	Nigeria	449.594
9	Argelia	400.000
10	Holanda	365.000

Los países que obtienen un mayor rendimiento a este cultivo (expresado en kilos por metro cuadrado) son Bélgica, Holanda y Reino Unido (Tabla 1.2). Estos altísimos rendimientos se deben por una parte, a que un alto porcentaje del cultivo se realiza en invernaderos y por otra, que estos

invernaderos son de alta tecnología y consumo energético elevado, por lo que la producción es constante en el año.

Tabla 1.2. Datos de rendimiento de los mayores productores a nivel mundial, según datos de la FAO (2011).

Posición	Región	Rendimiento (Kg/m ²)
1	Bélgica	27,83
2	Holanda	26,89
3	Reino Unido	26,52
4	Austria	9,84
5	Chipre	7,99
6	Kuwait	7,66
7	Uruguay	5,71
8	Alemania	5,40
9	España	5,32
10	Jordania	4,88

La demanda de los mercados europeos de pimientos frescos durante todo el año, ha crecido espectacularmente y ha tenido como consecuencia el desarrollo del cultivo en invernaderos en todo el litoral mediterráneo español.

Según los últimos datos actualizados del MARM, en el año 2010 en España, un total de 17.975 hectáreas estaban destinadas al cultivo del pimiento (en todas sus variedades), de las cuales, sólo 219 hectáreas eran de secano, y el resto de regadío. De la superficie reservada al regadío, 10.586 hectáreas se cultivaron bajo ambiente protegido, y 7.170 al aire libre.

En cuanto a lo que se refiere a comercio exterior, según datos de la FAO en el año 2012 el total de exportaciones españolas de pimiento alcanzó las 503.584 toneladas, de las cuales se exportaron desde Almería un total de 342.343 toneladas, seguida de Murcia con 70.333 y de Alicante con 39.477 toneladas. En cuanto al valor económico, también Almería ocupa el primer lugar destacado con un total en 2012 de más de 426 millones de euros en la exportación de pimiento, seguida por Murcia con 59,73 millones y de Alicante con 50,28 millones de euros.

El total exportado por España alcanzó un valor de 605,69 millones de euros. De la superficie total destinada al cultivo, destacar que 10.700 hectáreas se encuentran en Andalucía (más de la mitad del total), seguida de la Región de Murcia (1.379 hectáreas), y Castilla-La Mancha (1.158 hectáreas). En la Comunidad Valenciana, se dedicaron un total de 679 hectáreas, colocándose en sexto lugar, por detrás de Galicia, con 1.401 hectáreas, y de Navarra, con 722 hectáreas (Figura 1.1).

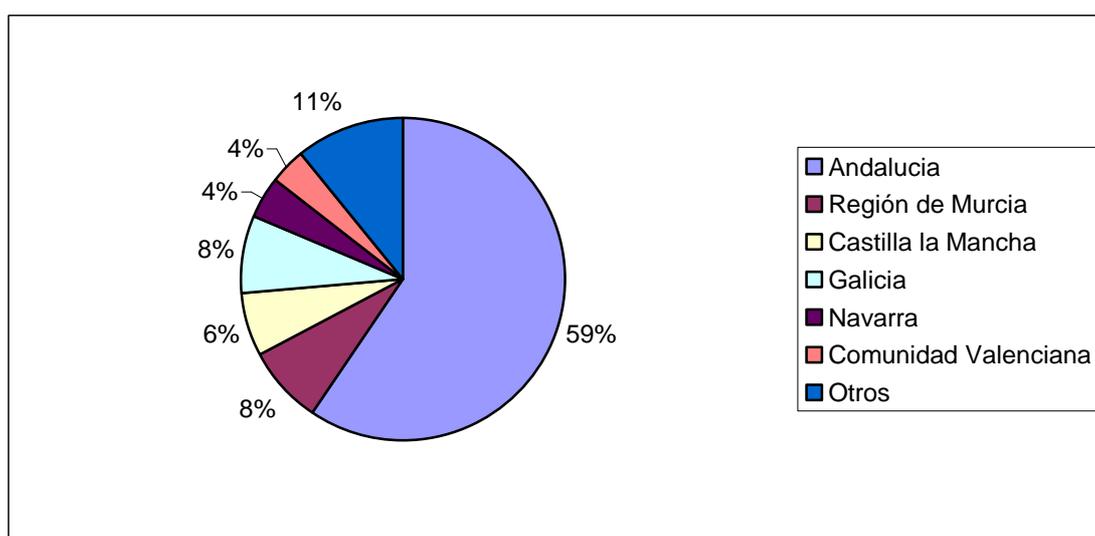


Figura 1.1. Gráfico porcentual por Comunidades Autónomas españolas, en referencia a superficie (ha) cultivada de pimiento (MARM, 2010)

En cuanto a las producciones por regiones españolas, suman un total de 873.011 toneladas de pimiento. Destaca Andalucía, como la comunidad de mayor producción, abarcando con 547.216 toneladas (>50% del total producción), seguida por la región de Murcia, con 113.990 toneladas, y Galicia, con 49.275 toneladas. La Comunidad Valenciana se sitúa como la quinta región con 46.325 toneladas, muy igualada con Galicia, que tiene una producción de 47.045 toneladas de pimiento (Figura 1.2).

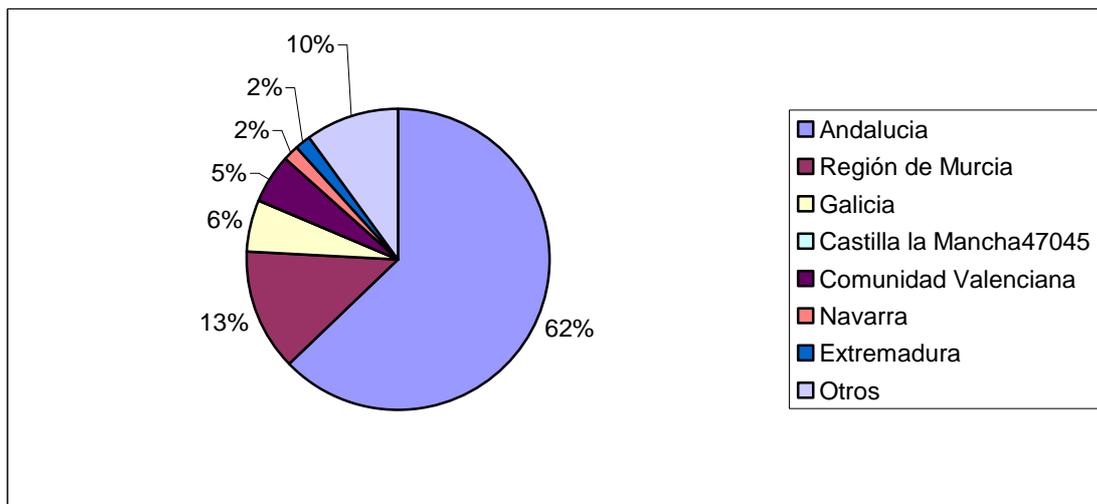


Figura 1.2. Gráfico porcentual Comunidades Autónomas españolas, en referencia a producción (toneladas) de pimiento (MARM, 2010)

1.2. Problemática de las sales.

Los problemas por salinidad en la agricultura aparecen cuando se concentran sales solubles procedentes del regadío en suelos productivos, proceso que se denomina salinización secundaria.

Este fenómeno afecta a la Humanidad desde el inicio de la Agricultura, y existen registros históricos de migraciones provocadas por la salinización del suelo cultivable (Rhoades *et al.*, 1992).

La distribución y extensión de suelos con problemas de sales se está incrementando notablemente en las últimas décadas, por un mal manejo del agua y del suelo debido a la sobre explotación de acuíferos o a la sobre-fertilización. Esto trae como consecuencia un deterioro progresivo de los suelos por salinización, lo cual repercute en una disminución de rendimiento y de la calidad de las cosechas (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002; Carter, 2002).

La proporción de suelos afectados por salinidad se cifra en un 10% del total mundial, y se estima que entre 25 y 50 % de las zonas de regadío están salinizadas (Rhoades *et al.*, 1992).

Los problemas de anegamiento y salinización secundaria son importantes en las zonas de regadío por uso de agua en exceso, ya sea por sistemas de riego poco eficientes, sistemas de distribución defectuosos o malas prácticas de riego.

Los suelos salinos presentan conductividad eléctrica de 4 o más dSm-1., un pH de 7.3 a 8.5 y menos del 15% de sodio intercambiable, que hacen que el crecimiento y desarrollo de las plantas sea limitado (Casas y Casas, 1999)

El incremento paulatino de la salinidad del suelo o la necesidad de emplear aguas de riego con una concentración de sales superior a la aconsejada limita el potencial de producción de los cultivos (Maas, 1986).

Además de la limitación en la disponibilidad de agua, la salinidad afecta las propiedades estructurales y físico-químicas del suelo, que pueden imponer un estrés adicional al crecimiento de los cultivos (Evangelou, 1994).

En las zonas afectadas por salinidad, la principal solución ha sido la sustitución de cultivos sensibles por otros más tolerantes. Las técnicas de lavado de suelos han reducido el problema en algunos países, pero los costes de esta tecnología no están siempre al alcance de otros, por lo que se ha recurrido al empleo de cultivos con mayor tolerancia, como remolacha azucarera, cebada, algodón, etc., para reemplazar cultivos tradicionales (Shannon, 1997). Sin embargo, esta opción puede no tener interés por problemas de mercado, particularidades climáticas o necesidades nutricionales de la población, por lo que resulta más importante disponer de variedades tolerantes en los principales cultivos (arroz, trigo, soja, hortícolas, etc.). Esta necesidad es aún mayor cuando la calidad del agua de riego es menor, por las prioridades establecidas (consumo humano y actividad industrial) en casos de sequía.

El interés por mejorar la tolerancia de los cultivos a la salinidad ha ido creciendo en los últimos años, empleando métodos de mejora y selección tradicionales o producción de organismos modificados genéticamente.

En la cuenca Mediterránea, 16 millones de ha están afectadas por la salinidad, incluyendo las casi 840.000 ha presentes en la península Ibérica. En España, a partir de la década de los 60, se produjo un fuerte incremento de la producción hortícola. Este incremento se basó fundamentalmente en el empleo de materiales de plástico en la agricultura, que permitieron aprovechar las excelentes condiciones climáticas de las que goza el sur de la península. Sin embargo, este aumento e intensificación de los cultivos también desencadenó una gran demanda en el consumo de agua y, consecuentemente, se tuvieron que movilizar recursos hasta entonces no utilizados, tales como aguas de pozos de salinidad moderada-alta. La sobreexplotación de todos estos recursos ha originado que en amplias zonas de Almería, Murcia y la Comunidad Valenciana, se haya producido un agotamiento de los acuíferos, proporcionando en algunos casos la intrusión de agua marina, con una creciente salinidad de las aguas de riego.

La salinidad afecta el crecimiento y producción de los cultivos al reducir el potencial hídrico de la solución del suelo, disminuyendo así la disponibilidad de agua, y al crear un desequilibrio nutritivo dada la elevada concentración de elementos (Na^+ , Cl^-) que pueden interferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular. En consecuencia, los diversos efectos observados a distinta escala, desde reducción de turgencia y crecimiento hasta la pérdida de la estructura celular por desorganización de membranas e inhibición de la actividad enzimática, son el producto combinado de estrés hídrico, toxicidad iónica y desequilibrio nutricional.

Para conseguir la adaptación a las condiciones salinas, se deben activar múltiples mecanismos: debe aumentarse la capacidad de obtener y/o retener agua, y debe restituirse la homeostasis iónica. Estos mecanismos de adaptación se reflejan macroscópicamente como un menor crecimiento, modificación de la relación parte aérea/raíz, limitación de la expansión foliar, y son consecuencia de cambios bioquímicos (síntesis de ácido abscísico y solutos osmoprotectores) y fisiológicos (alteración de la permeabilidad de las membranas a los iones y al agua, cierre estomático, disminución de transpiración y fotosíntesis, etc.). Esta respuesta adaptativa está gobernada por

señales moleculares que regulan la relación con el medio externo (por ejemplo, cambios en la actividad de canales y transportadores de membranas) y por la activación y transcripción de genes entre cuyos efectos está la modificación de rutas biosintéticas que resultan en un ajuste osmótico y la protección de las estructuras celulares.

1.3. Efecto fisiológico-agronómico de las sales en las plantas

Los daños provocados por el estrés salino en las diferentes especies cultivadas son variados y dependientes del nivel de intensidad. Según Parés et al. (2008), la salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos al afectar negativamente a la germinación y/o la capacidad de emerger las plántulas. Igualmente, retarda el crecimiento de las plantas a través de su influencia sobre varios procesos fisiológicos, tales como fotosíntesis, conductancia estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, síntesis de proteínas, síntesis de ácidos nucleicos, actividad enzimática y balance hormonal; además puede afectar el transporte de agua e iones, lo que promueve toxicidad iónica y desajuste nutricional. En consecuencia, las variables de crecimiento tales como: masa seca, altura de la planta y área foliar entre otras, son severamente afectadas por la presencia de sales.

Entre los síntomas mas comunes en tejido foliar se presenta como necrosis en los bordes de las hojas, la cual comienza en el extremo distal de los folíolos y luego avanza hasta el extremo proximal, muchas veces sin que se presente una franja clorótica intermedia entre el área afectada y la parte sana (Casierra-Posada y García, 2005)

El exceso de salinidad causa reducción de potencial hídrico de los tejidos, provocando una restricción en el crecimiento, dado que las tasas de elongación y división celular dependen directamente del proceso de extensión de la pared celular (Ashraf y Harris, 2004). Además la salinidad afecta negativamente a los procesos de absorción y asimilación de nutrientes por las plantas, principalmente el ión nitrato (NO₃⁻), que es la principal fuente de nitrógeno en los suelos agrícolas, y es el que más frecuentemente limita el

crecimiento de las plantas (Magalhães et al., 2010; Meloni et al., 2004). De manera general, el estrés salino inhibe el crecimiento de las plantas, por reducir el potencial osmótico de la solución del suelo, pudiendo también ocasionar toxicidad iónica, desequilibrios nutricionales, o ambos, en virtud de la acumulación excesiva de ciertos iones en los tejidos vegetales (Munns, 2002; Flowers, 2004).

El calcio juega un papel crucial en muchas plantas en los procesos fisiológicos y es esencial para el crecimiento de las plantas (Rengel, 1992; Bohnert y Jensen, 1996; Zhu, 2001). La deficiencia de Ca induce varios desórdenes fisiológicos en las plantas como el Blossom End Rot (BER) (Shear, 1979; Maynard, 1979) (denominado también “podredumbre apical”, “necrosis apical” o “peseta”) y cracking o rajado.

1.3.1 Efecto agronómico de las sales en el cultivo del pimiento

La salinidad afecta de diversas maneras a las plantas de pimiento. La mayoría de los efectos son adversos, disminuye el porcentaje y la velocidad de germinación. Las raíces alcanzan una menor longitud y exploran un menor volumen de suelo, los tallos alcanzan una menor altura, las hojas se reducen en número y presentan desecación en sus bordes de modo que hay menos producción de fotoasimilados. El número y peso de los frutos también se afectan negativamente de manera que su rendimiento comercial disminuye. Se ha detectado variabilidad en la respuesta a la salinidad, tanto en las especies silvestres como en los cultivares de pimiento, siendo algunas más tolerantes que otras, de modo que aquellas pueden utilizarse como fuente de genes para el mejoramiento de estos. El pimiento es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo y se clasifican como sensible a la sal (Maas, 1986).

1.4 El injerto

El injerto en plantas leñosas fue conocido por los chinos desde 1000 años A.C. Aristóteles en su obra (384-322 A.C) trata de los injertos con bastante detalle. Durante la época del imperio romano el injerto era muy popular utilizándose distintos métodos (Camacho y Fernández- Rodríguez, 1997). El renovado interés por el injerto en el Renacimiento llevo a Inglaterra en el siglo XVI, a usarlo de forma general y se sabía que debían hacerse coincidir las capas de cambium, aunque no se conocía la función de este tejido (Camacho y Fernández- Rodríguez, 1997).

El objetivo del injerto es evitar el contacto de la variedad con el suelo, mediante la unión con otra planta que presenta un sistema radicular robusto que permita a la variedad sobrevivir en condiciones no favorables, de este modo la variedad puede expresar todo su potencial y cualidades productivas. Los motivos de aislamiento de la variedad del suelo son de naturaleza biótica (patógenos y parásitos) o abiótica, ligada a las características físicas (estructura degradada, suelos pesados de difícil regulación de la humedad, poco oxigenados ...), químicas (acumulación de sales, altos contenidos de caliza activa,...) o de ambas al mismo tiempo.

Por lo tanto, el injerto consiste en la construcción artificial de una nueva planta donde la variedad (apreciada por las características de la cosecha) es soportada, en unión íntima o prolongación, por el porta-injerto o patrón, el cual es capaz de proporcionar nutrientes a la variedad en condiciones adversas del suelo, de forma continuada y arreglado a las necesidades vegetativas y productivas de la planta.

En ocasiones se utilizan plantas injertadas aunque no se den condiciones adversas en el suelo, simplemente como forma de conseguir aumentos cuantitativos y cualitativos de la producción unitaria, debido al mayor vigor conferido por el patrón y una nutrición más equilibrada de la variedad.

1.4.1 El injerto en pimiento

Un modo de sortear los estreses ambientales bajo el punto de vista del manejo integrado ecológico del cultivo es la utilización de plantas injertadas como estrategia de adaptación (Miguel et al., 2007)

Apenas existen referencias y estudios sobre injerto en pimiento con lo cual existe un gran desconocimiento en este campo de estudio. Ha sido la prevención de la “seca” del pimiento, ocasionada por *Phytophthora capsici*, la causa de injertar esta especie. El pimiento solo es compatible con otras especies del género *Capsicum*. Presenta mala afinidad con otras solanáceas e incluso con algunos taxones de su misma especie.

La salinidad, como hemos visto anteriormente, es uno de los problemas medioambientales al que tienen que hacer frente los cultivos. El injerto, se presenta como una técnica sostenible y respetuosa con el medioambiente. La implementación del injerto como una alternativa pasa por la selección de una buena combinación patrón/variedad que tenga una buena adaptación a los estreses, en este caso salino, con una óptima producción y calidad.

Con el paso del tiempo los productores de la zona del mediterráneo han ido adoptando nuevas técnicas para incrementar el rendimiento en la mayoría de los cultivos que se producen en la zona, usando sistemas de fertirriego, entutorado, control integrado de plagas e injertos. No obstante el uso de plantas injertadas de pimiento aun no está bien implementado y prácticamente no hay incidencia en el uso de esta técnica (Céspedes, et al., 2009). Sin embargo, el cultivo de plantas injertadas está muy expandido en otras hortalizas, como el tomate y la sandía (King et al., 2010). La técnica del injerto tenía como propósito inicial, evitar o reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por el suelo, sin embargo las razones para producir con plantas injertadas se han incrementado de forma drástica (Lee, 1994), ya que el uso de injertos puede incrementar la tolerancia de las variedades a inundaciones y condiciones salinas, también da más resistencia a toxicidades por metales pesados e incrementa la eficiencia en el uso de algunos nutrientes, como el

nitrógeno (Liao and Lin, 1996; Ruiz and Romero, 1999; Yetisir, et al., 2006; Roupael, et al., 2008; He, et al., 2009).

A pesar de todas las ventajas señaladas sobre el uso de plantas injertadas, también existen inconvenientes que pueden causar serios problemas a los productores y semilleros. Los cuatro problemas principales son los siguientes: la labor de injertar las plantas, el manejo post-injerto y la selección de las variedades del patrón y el injerto (Lee, 1994) y el sobrecoste ocasionado por el injerto.

La selección del patrón y el injerto es fundamental. Se debe elegir un patrón que cuente con las características que se desean (vigor, tolerancia a encharcamientos, salinidad, enfermedades de suelo, etc.) y éste no debe tener problemas de compatibilidad con el injerto. Este problema está muy estudiado en cultivos hortícolas como sandía y tomate, sin embargo en el cultivo del pimiento no se cuenta con mucha información al respecto, por lo que hasta el momento no se tienen patrones comerciales que sean del todo satisfactorios (Erard and Odet, 2009).

2 Objetivos

El objetivo general de este trabajo es el estudio de la influencia del injerto en pimiento (*Capsicum* spp.) frente a condiciones de estrés salino. Para ello los objetivos que se pretenden estudiar en este trabajo de investigación son los siguientes.

- Estudiar la influencia las accesiones del banco de germoplasma del COMAV-UPV A5 y A7 como portainjertos de pimiento, frente a condiciones de salinidad.
- Evaluar la influencia de las sales NaCl, KCl, Na₂SO₄, K₂SO₄ a diferentes concentraciones salinas 5 y 8 dS·m⁻¹ en las fases de germinación y de plántula en diferentes combinaciones de genotipos de pimiento: la variedad comercial Adige, las accesiones A5 y A7 y la variedad comercial Adige injertada sobre sí misma y sobre cada una de las accesiones.

Para determinar la influencia de estos factores (genotipo y tratamiento de salinidad) se determinaran los siguientes parámetros: porcentaje de germinación, tiempo de germinación, velocidad de germinación, parámetros vegetativos (altura de la planta, peso seco de las hojas, tallo y raíces) y parámetros fisiológicos (potencial osmótico y fotosíntesis neta).

3. Material y métodos

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Horticultura del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, y en el laboratorio de Fitotecnia General del departamento de Producción Vegetal, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural.

Para lograr el principal objetivo de este trabajo, la búsqueda de un patrón tolerante al estrés salino, se ha estudiado el comportamiento de patrones, correspondientes a dos accesiones de *Capsicum annuum* L. tipo Serrano (A5), y tipo de Bola (A7), provenientes del banco de germoplasma del COMAV, comparándose con el comportamiento del cultivar comercial Adige (F1) (Sakata), pimiento tipo Lamuyo, susceptible al estrés salino.

Para llevar a cabo el estudio del comportamiento de estos dos patrones frente al estrés salino, en comparación con la variedad comercial, se han empleado distintas sales de Sodio y Potasio, a distintas concentraciones, ya que las principales sales que afectan a los vegetales y que se encuentran en los suelos corresponden a cloruros y sulfatos de sodio, calcio, magnesio y potasio (Munns *et al.*, 2005), siendo para las plantas los principales iones citotóxicos Na^+ , Cl^- y SO_4^- (Chinnusamy *et al.*, 2005).

Puesto que el injerto se presenta como una técnica sostenible y respetuosa con el medioambiente frente al estrés salino, como se ha comentado anteriormente, en este estudio también se ha evaluado el comportamiento del injerto de la variedad comercial sobre los patrones en estudio, en comparación con el injerto de la variedad sobre ella misma.

3.1. Ensayo de germinación

Para la realización del estudio de germinación, se utilizaron las accesiones de *Capsicum annuum* L. tipo Serrano (A5), y tipo de Bola (A7), provenientes del banco de germoplasma del COMAV y el cultivar comercial Adige (F1) (Sakata), pimiento tipo Lamuyo.

El ensayo de germinación se inició el 19 Noviembre 2012, y tuvo una duración de 30 días (Figura 3). Se realizó sobre placas Petri, utilizando como sustrato de germinación papel de filtro de grosor medio (73 g/m²) previamente esterilizado en autoclave, empleándose el método BP (*Between Paper*) (ISTA,2007).



Figura 3.1. Detalle del comienzo del experimento, laboratorio fitotecnia, Universidad Politécnica de Valencia.

Se prepararon un total de 9 disoluciones en el laboratorio: con sales de sodio, con sales de potasio a dos niveles de conductividad eléctrica, y el control con agua destilada.

Sales	Concentraciones	
	5dS·m ⁻¹	8dS·m ⁻¹
NaCl	2.08 (g·L ⁻¹)	3.80 (g·L ⁻¹)
KCl	2.19 (g·L ⁻¹)	3.97 (g·L ⁻¹)
Na ₂ SO ₄	3.05 (g·L ⁻¹)	5.68 (g·L ⁻¹)
K ₂ SO ₄	3.02 (g·L ⁻¹)	5.56 (g·L ⁻¹)

Por cada tratamiento se realizaron 3 repeticiones para cada genotipo de pimiento, utilizando un total de 81 placas Petri (3 genotipos*9 tratamientos*3 repeticiones).

En cada placa Petri se colocaron 25 semillas, distribuidas uniformemente por el papel, evitando el contacto entre ellas. El papel de cada placa se humedeció con su respectivo tratamiento, y se colocaron las placas en el interior de la cámara de germinación Climatronic, con control de temperatura, humedad y fotoperiodo. Se fijó la temperatura de la cámara en 30 °C durante el día y 20 °C durante la noche. Se estableció una humedad relativa del 85% y un fotoperiodo de 12 horas, siendo el periodo de oscuridad desde las 19 horas hasta las 7 horas. La iluminación, de 15000 luxes, la proporcionaban tubos fluorescentes blancos fríos.

Se realizó el seguimiento de la germinación para cada tratamiento una vez al día, durante los 30 días de duración del ensayo, humedeciendo cada vez el papel de filtro con su respectivo tratamiento. Las semillas germinadas se iban eliminando de las placas, considerándose por germinadas cuando presentaban una longitud de radícula de 2-3mm (Figura 4).



Figura 3.2. Detalle de uno de los 30 días en los que se llevó a cabo el conteo de semillas, laboratorio fitotecnia, Universidad Politécnica de Valencia.

Las curvas de germinación dan información acerca de la germinación final y de la velocidad de germinación ($k/2$). Con los datos obtenidos de los dos experimentos se determinan las curvas de germinación para todos los tratamientos y repeticiones.

Siguiendo la función logística:

$$G = A[1 \pm e^{(\beta - kt)}]^{-1}$$

Donde:

G= Germinación acumulada (%).

A= Máximo porcentaje de germinación (asíntota cuando $t \rightarrow \infty$).

t = Periodo de germinación (días).

β = Parámetro referente a la posición de la curva en relación con el eje del tiempo.

k= Parámetro de velocidad.

A partir de los resultados obtenidos, se calcularon los parámetros con significado biológico, como el número de días necesarios para alcanzar el 50% del porcentaje de germinación final ($\beta/k = t_{50}$, d), que coincide con el punto de inflexión de la curva sigmoidea, y la velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d⁻¹).

Los ensayos se consideraron satisfactorios cuando la diferencia entre los porcentajes de germinación máximo y mínimo de las repeticiones no sobrepasaba la tolerancia establecida por las Reglas Internacionales para ensayos de semillas (ISTA, 2007).

3.2. Estudio de biomasa y potencial osmótico.

Para la realización del estudio de biomasa, se evaluaron los parámetros: altura de la planta, peso seco hojas, peso seco tallo, peso seco raíces, y el ratio peso de hojas/peso raíces, en dos tiempos diferentes después del trasplante de las plantas injertadas en invernadero (a los 15 y a los 30 días). Para la realización de este estudio, se utilizaron las mismas accesiones empleadas en el ensayo de germinación, A5 y A7, y el cultivar Adige, además de las plantas injertadas del cultivar sobre los patrones A5 y A7, y sobre la misma variedad, estudiando un total de 6 combinaciones de plantas:

- 1- Adige
- 2- A7
- 3- A5
- 4- Adige/Adige
- 5- Adige/A7
- 6- Adige/A5

Utilizando las mismas sales de sodio y potasio empleadas en el anterior ensayo, para cada una de las combinaciones de plantas citadas.

El método de injerto empleado fue el denominado “empalme”. Este se realiza cortando el brote del portainjertos por debajo de los cotiledones con un ángulo de 45°, y uniendo el brote de la variedad comercial cortada previamente a 45° por encima de los cotiledones, fijando la unión con un clip de unión, de manera q las zonas de corte queden en contacto.

En este ensayo se utilizaron 5 plantas por cada combinación de plantas, tratamiento y tiempo. Se utilizaron un total de 540 plantas: 270 plantas se fueron analizadas a los 15 días de su plantación, recibiendo el nombre de T1, y las restantes 270, a los 30 días de su plantación, recibiendo el nombre de T2.

La altura de las plantas se midió en invernadero, previamente al arranque de las mismas, junto a la fotosíntesis neta, la cual se midió bajo condiciones de saturación lumínica, utilizando un LI-6400 (LI-COR, Nebraska, USA). Posteriormente, en el laboratorio se procedió a separar todas las partes de la planta (raíces, tallos y hojas).

En fresco se separaron hojas de cada combinación, almacenándolas a -80°C para medir posteriormente el potencial osmótico por el método de presión de vapor, con un osmómetro Vapro 5520, Wescor®.

Posteriormente, se realizó el secado en estufa a 65°C (durante un mínimo de 48 horas) de las muestras previamente etiquetadas con el objetivo de obtener el peso seco correspondiente a cada una de las partes separadas.

Tras el secado, se pesaron cada una de las muestras de raíces, tallos y hojas, con una balanza de precisión (Mettler Toledo) (figura 5).

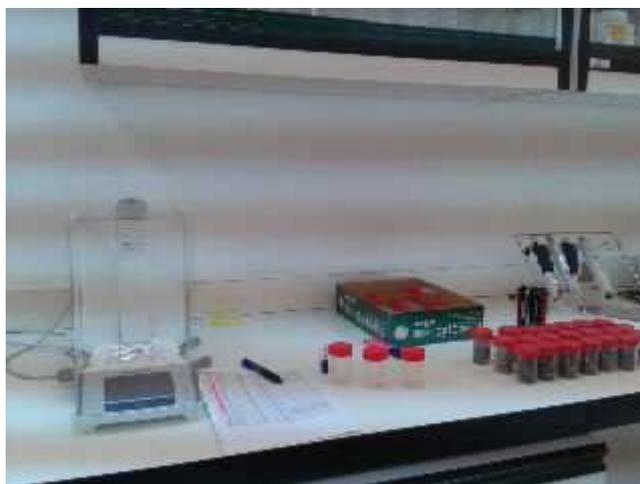


Figura 3.3. Detalle de la balanza empleada en el peso de raíces tallos y hojas, laboratorio horticultura, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

Tras el pesado, se trituraron todas las muestras por separado, empleando un “molinillo de bolas”, para proceder al análisis de micro- y macronutrientes.

3.3 Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico, se ha utilizado el programa STATGRAPHICS Centurión XVI (StatPoint Technologies, Warrenton-Virginia, USA.).

Los resultados obtenidos para cada uno de los ensayos se han analizado mediante análisis de la varianza (ANOVA), con separación de medias mediante el test LSD ($p < 0.05$). En todos los casos, previo a la realización del análisis de la varianza, se ha comprobado que las series de datos siguen una distribución normal, y en el caso particular de aquellas que los datos se presentaban en porcentajes (G, A) se ha transformado mediante la expresión arco seno de la raíz cuadrada para obtener una población normalizada.

4. Resultados

4.1 Ensayo germinación

En relación con los modelos matemáticos de tipo sigmoideal estudiados para determinar la germinación, los coeficientes de correlación (R^2) para todas las curvas expuestas han resultado dentro del rango -0.782 y -0.999, con valores F ratio estadísticamente significativos ($p \leq 0.01$) para todos los modelos (datos no incluidos). Por lo tanto, la función logística es adecuada para analizar la germinación de las semillas de *Capsicum* spp. en los experimentos desarrollados en este trabajo, tal y como se ha realizado en experimentos llevados a cabo en *Capsicum* spp. (Torres y Frutos, 1990) y otras especies vegetales (Pascual *et al*, 2003; Fuentes, 2013).

En la tabla 4.1 se detalla el análisis estadístico del porcentaje de germinación (G) y de los valores medios de los parámetros A, β/k y $k/2$, obtenidos a partir del modelo logístico.

Del estudio de los parámetros de germinación en el análisis de la varianza (tabla 4.1), se observa que el porcentaje de germinación final (G) y el máximo porcentaje de germinación (A) no se vieron influenciados estadísticamente por los factores genotipo y tratamiento. De este estudio se constata que son otros factores los que influyeron en este parámetro estudiado, puesto que el 65.22 y 69.73% de variabilidad total de G y A, respectivamente correspondió al Residual, componente del análisis estadístico que engloba a otros factores no contemplados en el estudio. En cuanto al número de días necesario para alcanzar el 50% de la germinación final (β/k), se ha detectado una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$) para el factor genotipo, alcanzando un porcentaje de la variabilidad total del 12.58%. En cambio el factor salinidad no ha presentado una influencia estadísticamente significativa y supone una variabilidad total del 8.05%. El 46.92% de la variabilidad de (β/k) se debe a factores no contemplados en este análisis.

En lo referente a la velocidad media relativa de germinación ($K/2$) se detectó el valor más elevado de variabilidad explicado por los factores estudiados en el experimento, alcanzando el factor genotipo el 22.11% de la variabilidad total, y el factor salinidad el 18.98%. Ambos factores contemplados en el análisis estadístico presentan una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$).

Del análisis estadístico presentado en la tabla 3 se constata que la interacción entre genotipo y salinidad es estadísticamente significativa en β/k ($p \leq 0.05$) y en $k/2$ ($p \leq 0.01$), mientras que no ha sido estadísticamente significativa en los parámetros de germinación.

Todos los genotipos, en los diferentes tratamientos empleados en este experimento, alcanzaron un porcentaje de germinación comprendido entre el 94% y el 100%.

En lo referente al número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final (β/k), se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre genotipos, obteniéndose los valores más elevados en los genotipos A5 y A7, con diferencias respecto al cultivar Adige (tabla 3). Entre los diferentes tratamientos de salinidad, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas.

En cuanto a la velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$) se constataron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los tres genotipos, obteniéndose los mejores resultados con el genotipo A5, con diferencias e.s. con respecto al genotipo A7 y al cultivar Adige, y sin diferencias e.s. entre los genotipos A7 y Adige. Entre los tratamientos con las diferentes sales y concentraciones, no se observaron diferencias e.s.

En los gráficos de las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 se representan los modelos logísticos ajustados a la germinación acumulada correspondiente a los valores medios de los diferentes genotipos, tratamientos de salinidad y la interacción genotipo x salinidad, respectivamente.

Las interacciones e.s. que se indican en la tabla 4.1 se representan en las figuras 4.1 y 4.2 (número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final ($t_{50} = \beta/k$) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$) respectivamente).

Tabla 4.1. Influencia del genotipo y del tratamiento en la germinación acumulada (G, %), máximo porcentaje de germinación (A, %), número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final ($t_{50} = \beta/k$, d) y velocidad media relativa de germinación acumulada ($k/2$, d⁻¹).

	G	A	t_{50}	$k/2$
GENOTIPO (GE)				
A5	96.89	96.08	6.11a	1.69a
A7	93.93	93.04	6.97a	0.67b
Adige	95.41	95.32	3.35b	0.46b
TRATAMIENTO (T)				
NaCl 5dS·m ⁻¹	99.11	98.78	5.76	0.82b
8dS·m ⁻¹	92.00	91.38	7.16	0.64b
KCl 5dS·m ⁻¹	95.56	94.19	4.49	0.74b
8dS·m ⁻¹	94.22	93.62	4.44	0.48b
Na ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹	96.44	95.94	5.38	1.15b
8dS·m ⁻¹	93.33	93.20	3.55	0.49b
K ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹	94.67	94.34	5.36	1.11b
8dS·m ⁻¹	96.89	95.86	5.42	0.85b
Control	96.44	96.02	7.73	2.20a

Parámetros (grados de libertad)	Porcentaje de la suma de cuadrados			
GE(n=2)	5.00 ^{n.s.}	4.95 ^{n.s.}	12.58 ^{**}	22.11 ^{**}
T(n=8)	13.64 ^{n.s.}	11.83 ^{n.s.}	8.05 ^{n.s.}	18.98 ^{**}
GExT(n=16)	16.14 ^{n.s.}	13.49 ^{n.s.}	32.46 [*]	27.58 ^{**}
Residual(n=54)	65.22	69.73	46.92	31.33
Desviación estandar ⁽⁺⁾	5.35	5.94	3.66	0.78

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según el test LSD ($p \leq 0.05$). n.s.: no significativa. *: nivel de significación $p \leq 0.05$. **: nivel de significación $p \leq 0.01$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

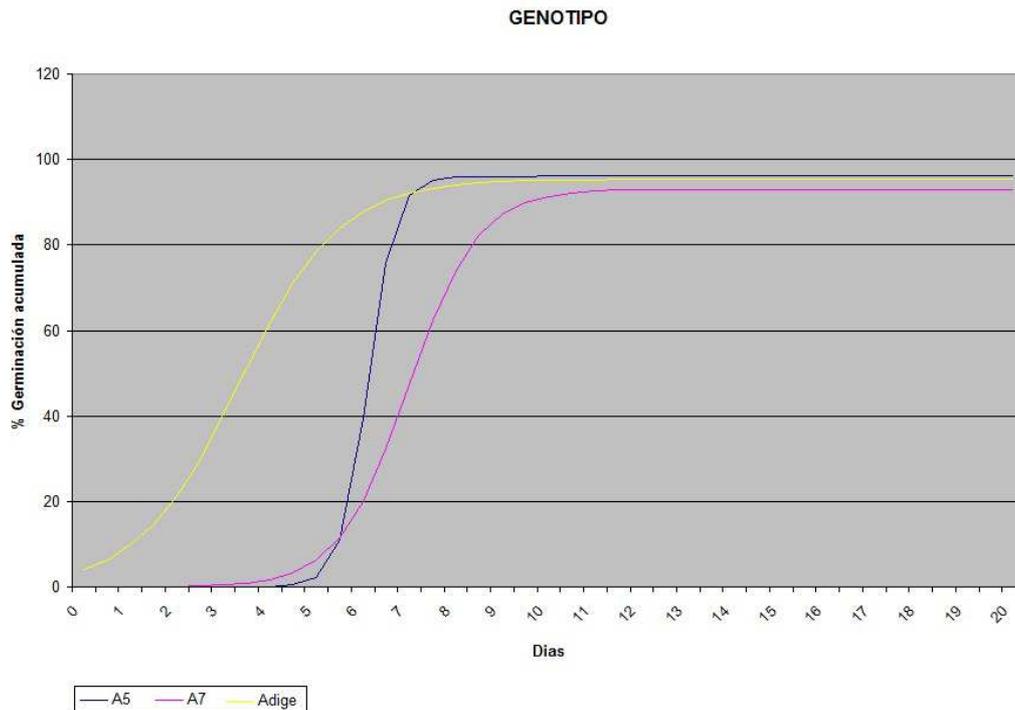


Figura 4.1. Modelo logístico ajustado a la germinación de las semillas de pimiento de los genotipos A5, A7 y Adige.

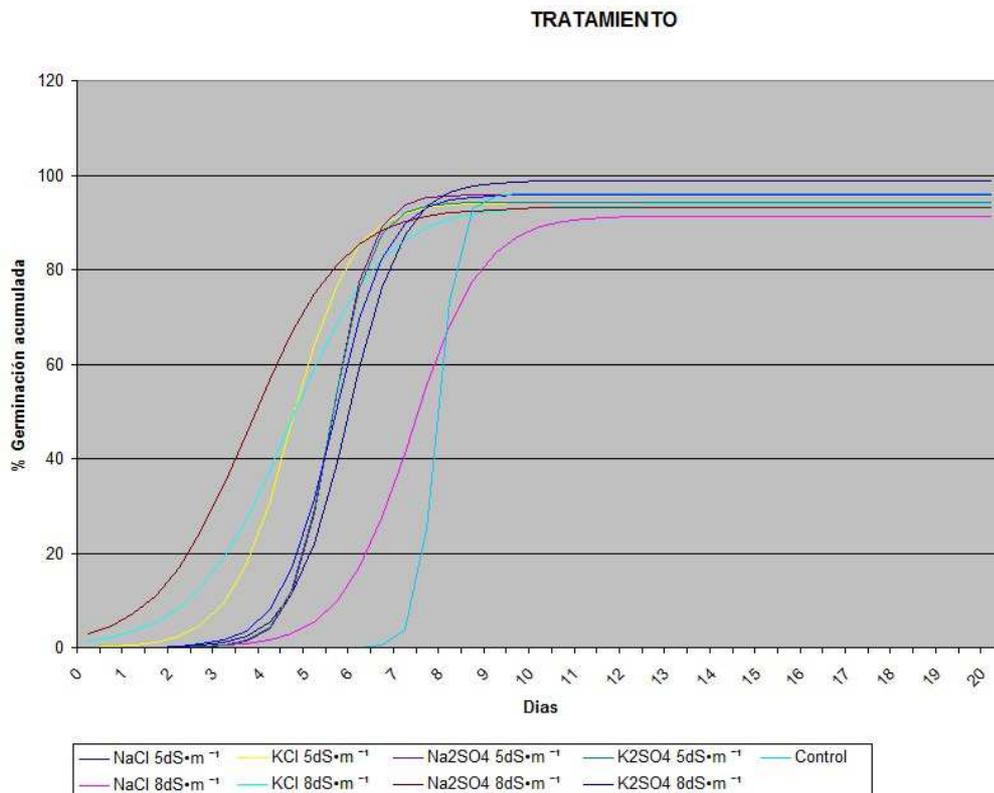


Figura 4.2. Modelo logístico ajustado a la germinación de las semillas de pimiento de los tratamientos NaCl 5dS·m⁻¹, NaCl 8dS·m⁻¹, KCl 5dS·m⁻¹, KCl 8dS·m⁻¹, Na₂SO₄ 5dS·m⁻¹, Na₂SO₄ 8dS·m⁻¹, K₂SO₄ 5dS·m⁻¹, K₂SO₄ 8dS·m⁻¹ y control.

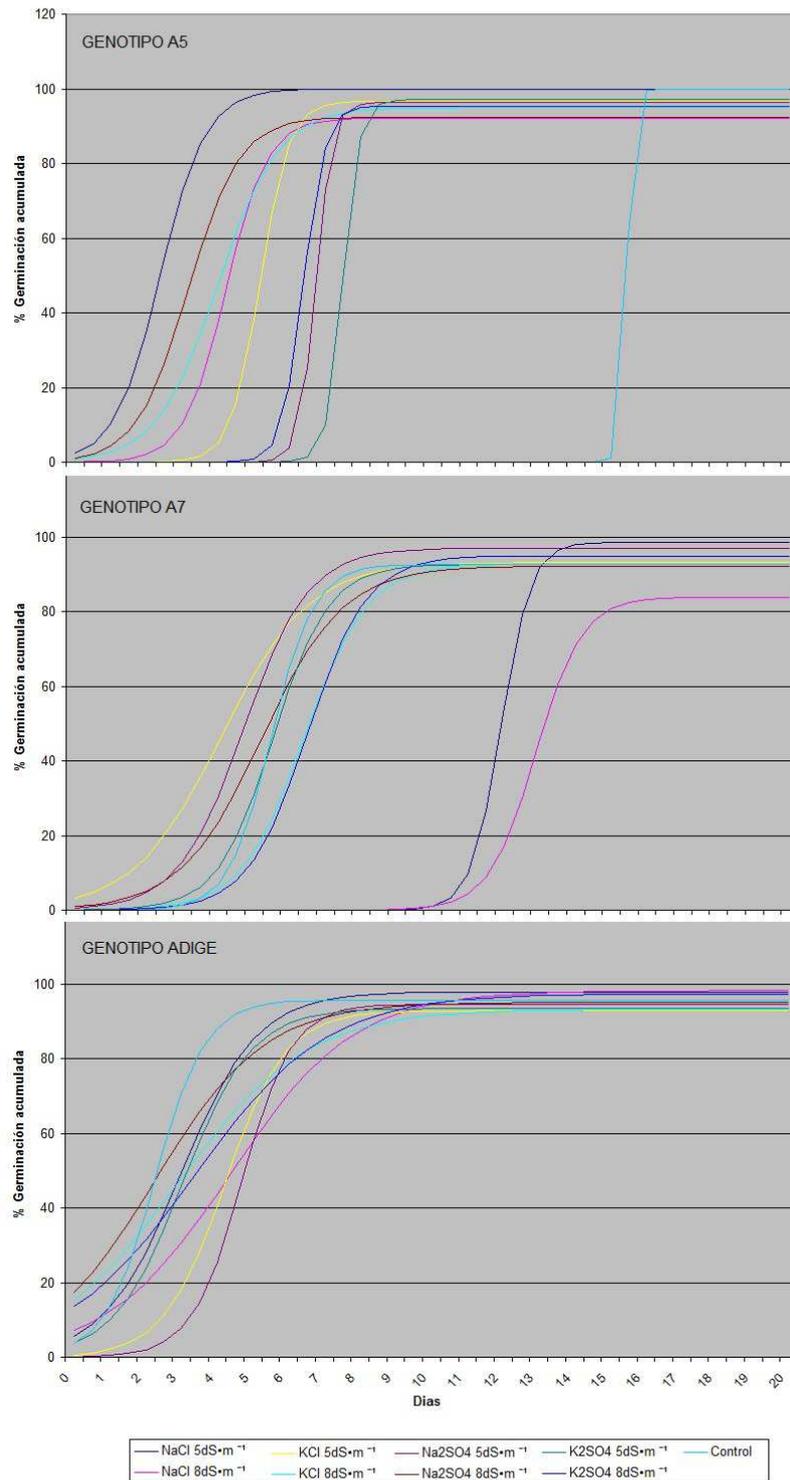


Figura 4.3. Modelo logístico ajustado a la germinación de las semillas de pimienta de los tratamientos $\text{NaCl } 5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{NaCl } 8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{KCl } 5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{KCl } 8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{K}_2\text{SO}_4 5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{K}_2\text{SO}_4 8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y control, para los genotipos A5, A7 y Adige.

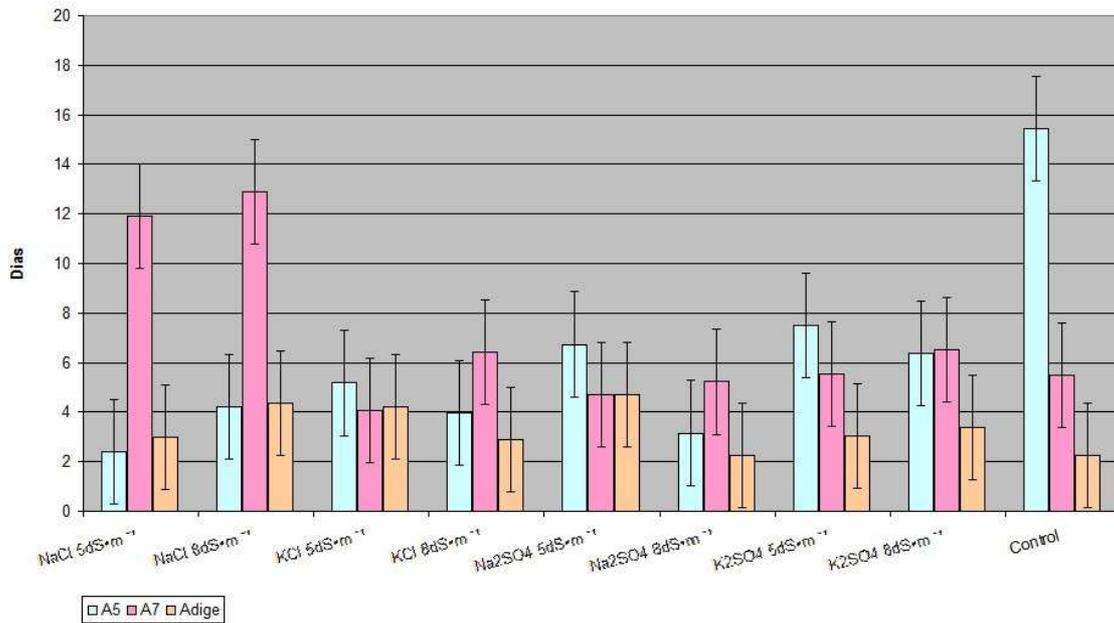


Figura 4.4. Número de días necesarios para alcanzar el 50% de la germinación final de los genotipos A5, A7 y Adige en los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0.05$).

Al estudiar el genotipo A5, se observó que el tratamiento control de salinidad fue el que más tiempo requirió para alcanzar el 50% de la germinación final, con diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) respecto al resto de tratamientos. El tratamiento de salinidad que menos días necesitó para conseguir dicho valor, fue el tratamiento NaCl con una conductividad eléctrica de $5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, sin diferir del tratamiento KCl con la misma CE; pero sí mostró diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) respecto a los tratamientos con Na_2SO_4 y K_2SO_4 con la misma CE ($5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$), entre los cuales no aparecieron diferencias e.s. Entre todos las sales empleadas en el experimento, con conductividad eléctrica de $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, no se observaron diferencias e.s. a la hora de alcanzar el 50% de la germinación final (Figura 4.4).

Para el genotipo A7, los valores más elevados de β/k se obtuvieron con el tratamiento NaCl con conductividades eléctricas de 5 y $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, sin diferir estadísticamente entre ellos, y con diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) respecto al resto de tratamientos, entre los cuales no se observaron diferencias e.s. (Figura 4.4).

Y para el cultivar Adige, no se detectaron diferencias e.s. entre los diferentes tratamientos de salinidad (Figura 4.4).

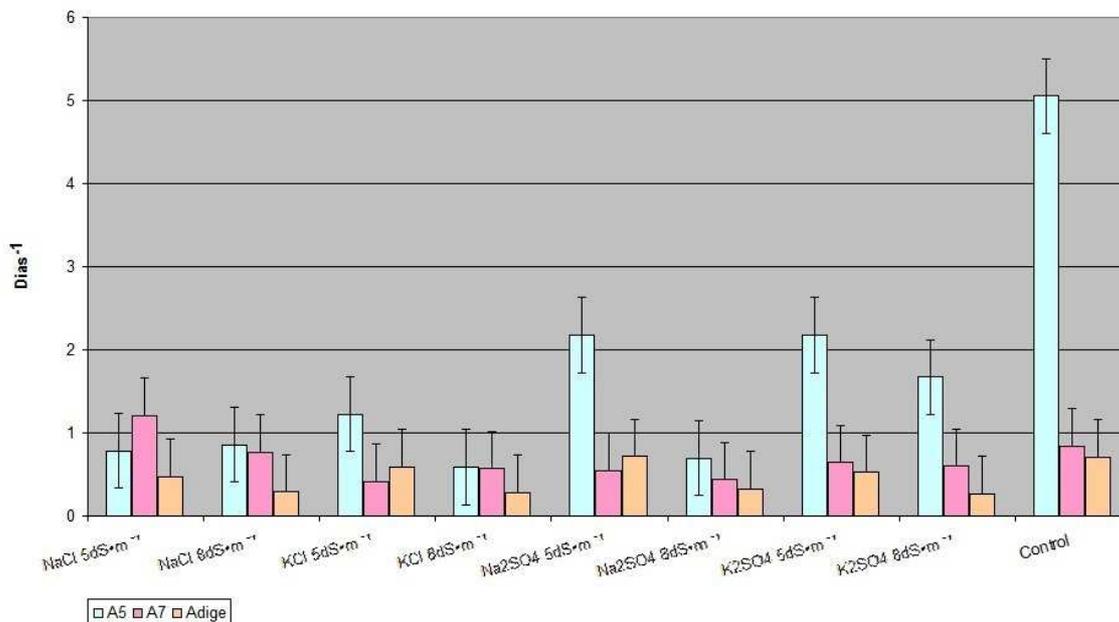


Figura 4.5. Velocidad media relativa de la germinación acumulada (d^{-1}) de los genotipos A5, A7 y Adige en los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0.05$).

Al analizar el comportamiento del genotipo A5, se observó que el tratamiento control de salinidad fue el que presentó una mayor velocidad media relativa de la germinación acumulada ($k/2$), con diferencias estadísticamente significativas respecto al resto de tratamientos. A continuación, dentro de los tratamientos de salinidad con una CE de $5dS \cdot m^{-1}$, los valores más elevados se obtuvieron con el tratamiento de Na_2SO_4 y K_2SO_4 , mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) respecto a los tratamientos NaCl y KCl. Entre los tratamientos con CE de $8dS \cdot m^{-1}$ las semillas tratadas con K_2SO_4 presentaron una menor velocidad de germinación menor que el tratamiento control, pero obtuvieron valores más elevados que las semillas tratadas con Na_2SO_4 y KCl, si bien no difirieron de las tratadas con NaCl (Figura 4.5).

En relación con la velocidad de germinación del genotipo A7 y el cultivar Adige, no se detectaron diferencias e.s. entre las diferentes sales y concentraciones (Figura 4.5).

4.2 Análisis de parámetros vegetativos.

En la tabla 4.2 se expone el análisis estadístico de los siguientes parámetros vegetativos en T1 (15 días después del trasplante): altura, peso seco hojas, peso seco tallo, peso seco raíces y el ratio H+T/R.

Del estudio de los parámetros vegetativos en el análisis de la varianza (tabla 4.2), en relación con la altura de las plantas se observó el valor más elevado de variabilidad explicado por los factores estudiados en el factor genotipo (47.07% de la variabilidad total), mientras que el factor salinidad obtuvo el 10.43%. Ambos factores contemplados en el análisis estadístico presentaron una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$).

En cuanto al peso seco de las hojas, se detectó una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$) para el factor genotipo, alcanzando un 23.79% de la variabilidad final. El factor salinidad también resultó estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$), suponiendo un 4.10% de la variabilidad total.

En lo referente al peso seco del tallo, tanto el factor genotipo como el factor salinidad, resultaron estadísticamente significativos ($p \leq 0.01$), alcanzando el 30.10% y 5.36% de la variabilidad final, respectivamente.

Para el peso seco de las raíces, también resultaron estadísticamente significativos ($p \leq 0.01$) los factores genotipo y tratamiento. El factor genotipo supuso el 30.41% de la variabilidad final, y el factor salinidad el 7.72%.

En relación con el ratio evaluado en el experimento, se detectó una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$) del factor genotipo, alcanzando un porcentaje de la variabilidad total del 8.39%. El factor salinidad, también resultó estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$), suponiendo un 6.61% de la variabilidad total.

En referencia a la altura, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre los distintos genotipos evaluados, obteniéndose los mejores resultados en los genotipos A7 y A5, con diferencias respecto al cultivar Adige y al resto de combinaciones estudiadas. Entre los tratamientos con las diferentes sales empleadas, también se constataron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$), observándose los valores más elevados con el tratamiento control, seguido del tratamiento KCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, entre los cuales no se encontraron diferencias significativas. Los valores obtenidos con este tratamiento, y con el tratamiento control no difirieron de los resultados obtenidos con la sal K_2SO_4 a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pero si del resto de tratamientos utilizados en el experimento.

En cuanto a la materia seca, tanto en el peso seco de las hojas, como en el peso seco del tallo y en el peso seco de las raíces, aparecieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los distintos genotipos estudiados, y entre las distintas sales empleadas en el experimento. Para el peso seco de las hojas y el peso seco de tallos, con respecto al factor genotipo, se obtuvieron los valores mas elevados en A7, y en las combinaciones Adige/Adige, y Adige/A7, no observandose diferencias e.s. entre ellos, pero si en comparación con el resto de genotipos evaluados. En cuanto al factor salinidad, el valor más elevado se observó en el tratamiento KCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ pero sin encontrarse diferencias e.s. con los resultados obtenidos para el tratamiento control. En relación con el peso seco de las raices, el genotipo A7 y la cominacion del mismo con Adige, fueron los que mejores resultados reflejaron, sin observarse diferencias e.s. entre ellos, pero si respecto al resto de genotipos evaluados. Las sales KCl, Na_2SO_4 y K_2SO_4 a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; la sal K_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y el tratamiento control mostraron los valores mas elevados, sin apreciarse diferencias e.s. entre ellos, pero si respecto al resto de sales empleadas en el experimento.

Tabla 4.2. Análisis estadístico de la altura (cm), del peso seco de las hojas (g-planta⁻¹), del peso seco del tallo (g-planta⁻¹), del peso seco de las raíces (g-planta⁻¹) y del ratio peso seco de las hojas más peso seco del tallo entre el peso seco de las raíces (g-planta⁻¹), de las plantas recogidas a los 15 días del comienzo del ensayo (T1).

T1		Altura	Peso seco			
			hojas (H)	tallo (T)	raíces (R)	H+T/R
GENOTIPO(GE)						
	Adige	30.84c	0.54ab	0.59b	0.65bc	1.77bc
	A7	38.88a	0.59 ^a	0.68a	0.76a	1.73c
	A5	40.43a	0.28c	0.29c	0.31e	2.05ab
	Adige/Adige	35.89b	0.60 ^a	0.69a	0.61c	2.27a
	Adige/A7	31.24c	0.60 ^a	0.64ab	0.73ab	1.84bc
	Adige/A5	25.76d	0.50b	0.58b	0.50d	2.29a
TRATAMIENTO(T)						
NaCl	5dS·m ⁻¹	33.28cd	0.55abc	0.55bcd	0.48d	2.43a
	8dS·m ⁻¹	31.25d	0.49bc	0.48d	0.50cd	2.17ab
KCl	5dS·m ⁻¹	37.37a	0.62 ^a	0.68a	0.67a	2.03bc
	8dS·m ⁻¹	31.75d	0.48bc	0.53cd	0.57bcd	1.88bc
Na ₂ SO ₄	5dS·m ⁻¹	31.33d	0.50bc	0.59abc	0.64ab	1.77c
	8dS·m ⁻¹	31.80d	0.48bc	0.57bcd	0.52cd	2.09abc
K ₂ SO ₄	5dS·m ⁻¹	35.87ab	0.50bc	0.63ab	0.70ab	1.84bc
	8dS·m ⁻¹	34.57bc	0.47c	0.58bc	0.60abc	1.94bc
Control		37.35a	0.57ab	0.61abc	0.69a	1.79c

Parámetros (grados de libertad)	Porcentaje de la suma de cuadrados				
GE(n=5)	47.07**	23.79**	30.10**	30.41**	8.39**
T(n=8)	10.43**	4.10*	5.36**	7.72**	6.61*
GExT(n=40)	14.19**	19.99**	15.90**	14.15*	12.10 ^{n.s.}
Residual(n=216)	28.31	52.13	47.74	47.71	72.90
Desviación estandar ⁽⁺⁾	4.39	0.18	0.19	0.21	0.74

Letras distintas en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$) según el test LSD. n.s.: no significativa. *: nivel de significación $p \leq 0.05$. **: nivel de significación $p \leq 0.01$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

En referencia al ratio estudiado, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$), tanto entre los diferentes genotipos, como entre las diferentes sales empleadas en el estudio. Los valores mas elevados para el factor genotipo, se encontraron en el genotipo A5, y en las combinaciones Adige/Adige y Adige/A5, sin observarse diferencias e.s. entre dichos valores, pero si difiriendo del resto de genotipos evaluados. Para el factor salinidad, los valores mas elevados aparecieron en los tratamientos con las sales de NaCl, tanto a 5 como a 8

$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y en la sal Na_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, sin diferir entre ellos, pero si observándose diferencias e.s. entre dichos valores y los obtenidos para el resto de tratamientos.

Del análisis estadístico presentado en la tabla 4.2, se constata que todas las interacciones entre genotipo y salinidad resultaron estadísticamente significativas ($p\leq 0.01$ para altura peso seco hojas y peso seco tallo, y $p\leq 0.05$ para peso seco raíces) en todos los parámetros evaluados, a excepción del ratió. Por tanto se podría analizar por separado la influencia estadística del tratamiento de salinidad dentro de cada genotipo.

Al analizar los resultados de las distintas combinaciones de genotipos y tratamientos de salinidad, en cuanto a la altura en T1, en el genotipo Adige, el valor más elevado se obtuvo para el tratamiento control, seguido del tratamiento con la sal K_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Entre estos dos tratamiento no se observaron diferencias estadísticamente significativas, pero sí se constataron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$) respecto a los tratamientos KCl a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Na_2SO_4 a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

En cuanto al genotipo A7, se observaron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$) entre el tratamiento KCl a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y los tratamientos KCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y K_2SO_4 a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Para el genotipo A5 no se observaron diferencias e.s. entre los tratamiento empleados en el estudio. En referencia a las combinaciones, Adige /Adige y Adige/A7, no se encontraron en ningún caso diferencias e.s. entre los distintos tratamientos estudiados. En el caso de la combinación Adige/A5, solo se encontraron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$) entre las sales NaCl a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y KCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 4.6).

ALTURA T1

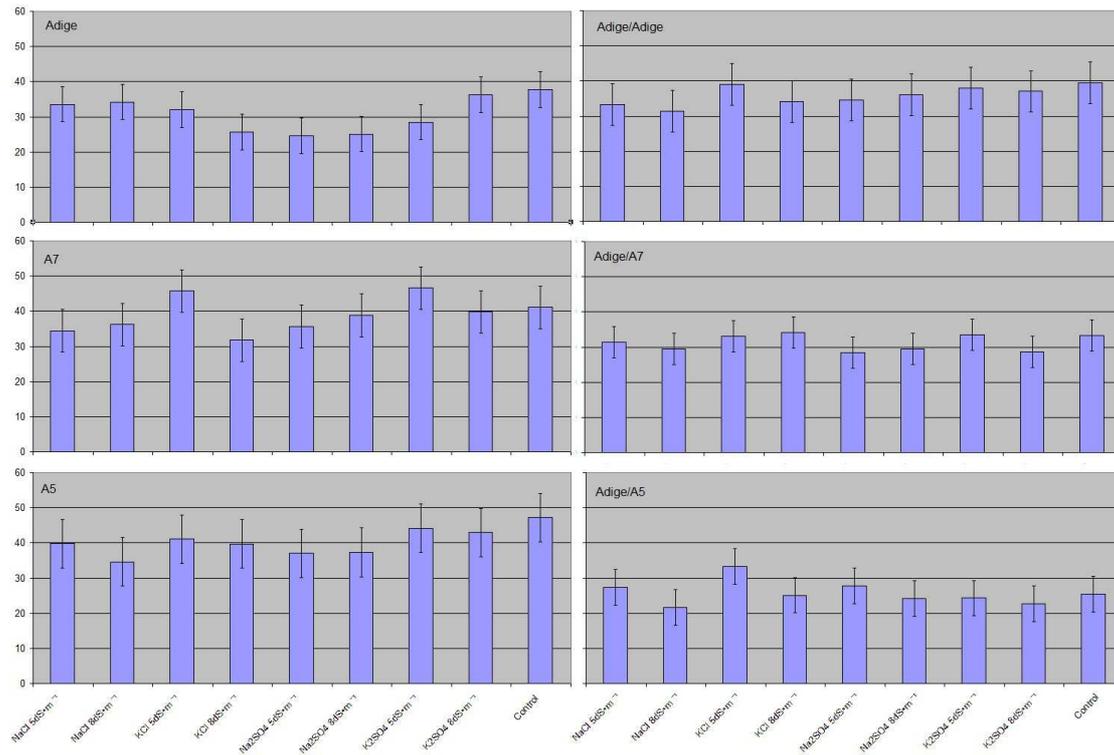


Figura 4.6. Altura (cm) de las plantas de pimienta en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0.05$).

En relación a la peso seco de las hojas en T1 (Figura 4.7), en el genotipo Adige, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento con la sal NaCl a $5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ y el resto de tratamientos (excepto con el tratamiento de la misma sal a $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ y el tratamiento control). Para el resto genotipos estudiados en el experimento, no se observaron diferencias e.s. entre los diferentes tratamientos empleados.

PESO SECO HOJAS T1

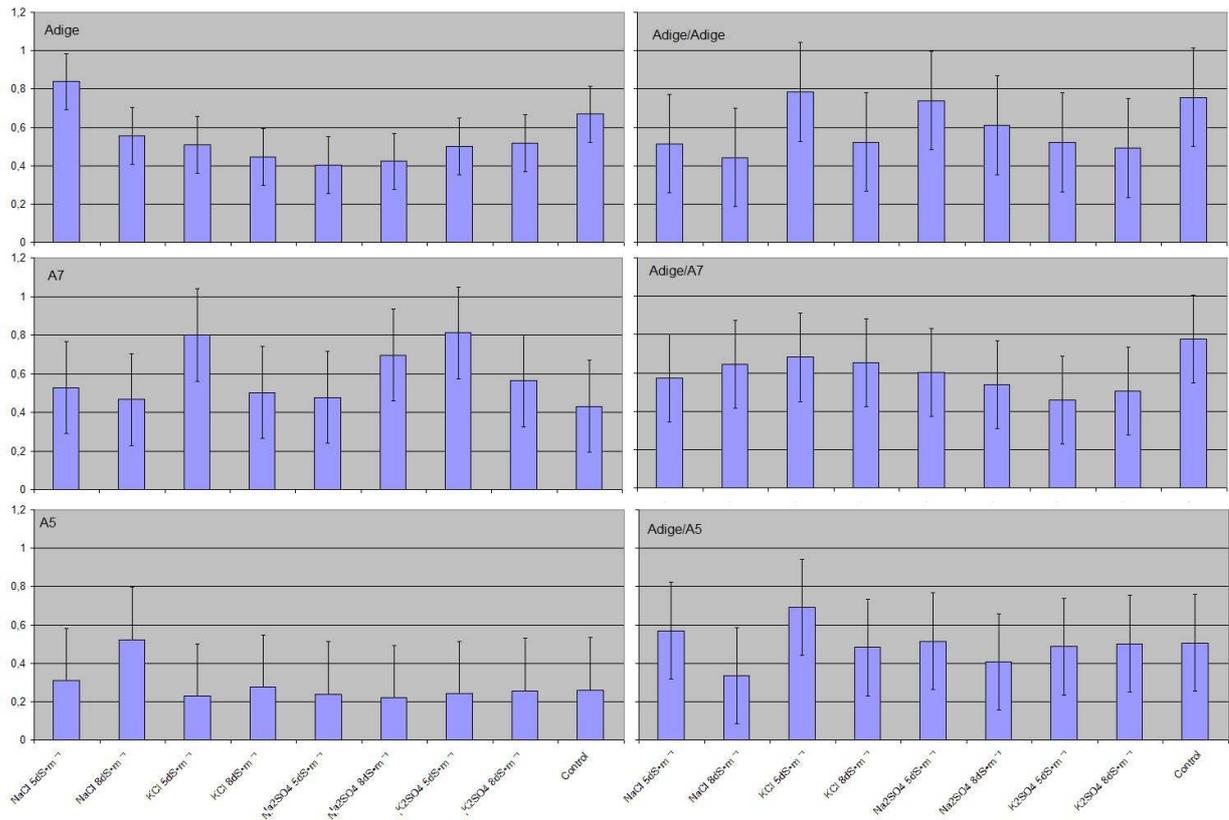


Figura 4.7. Peso seco hojas (g-planta⁻¹) de las plantas de pimiento en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD (P≤0.05).

Al estudiar los resultados de las distintas combinaciones de genotipo y los distintos tratamientos de salinidad empleados en el estudio, en referencia al peso seco del tallo en T1, dentro de cada genotipo analizado, no se encontraron diferencias e.s. entre los distintos tratamientos evaluados (Figura4.8)

En cuanto al peso seco de la raíz en T1, tampoco se observaron diferencias e.s. entre los distintos tratamientos de salinidad, para los cada uno de los genotipos estudiados en el experimento (Figura 4.9).

PESO SECO TALLO T1

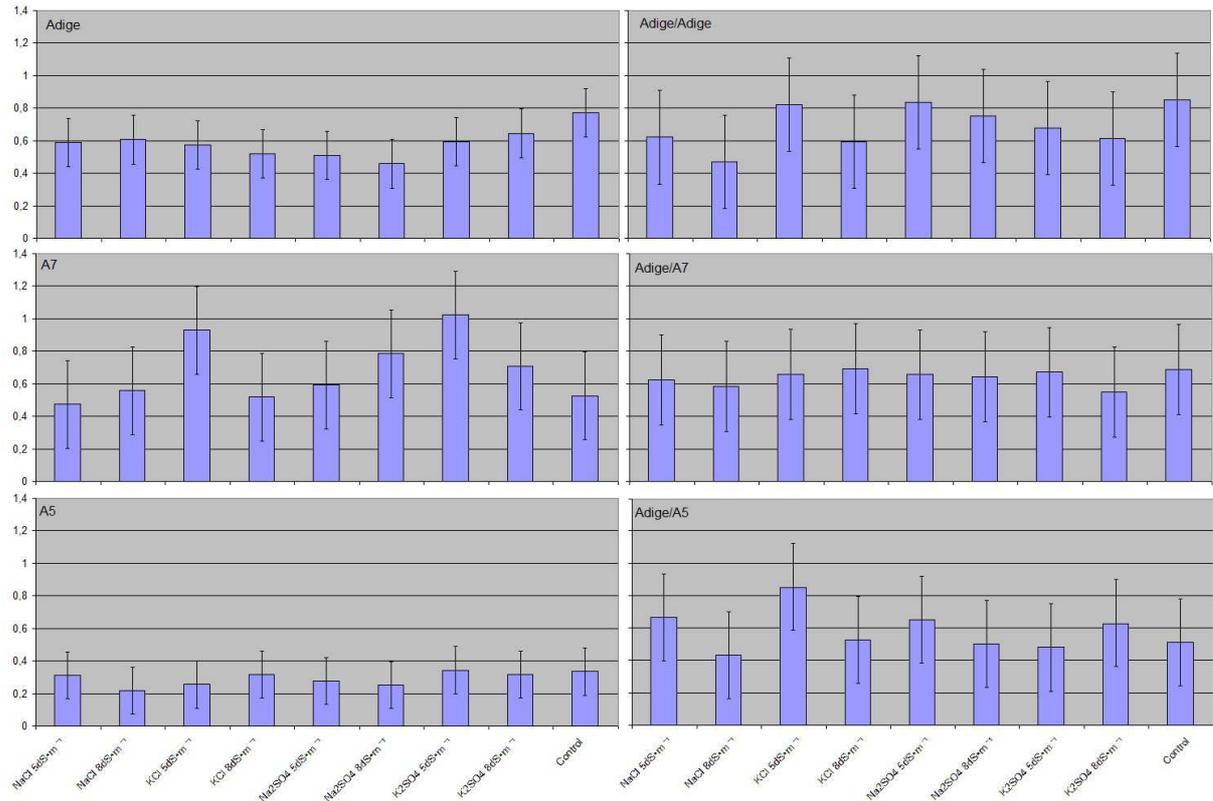


Figura 4.8. Peso seco tallo (g-planta⁻¹) de las plantas de pimienta en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD (P≤0.05).

En la tabla 4.3 se expone el análisis estadístico de los mismo parámetros vegetativos analizados en la tabla anterior: altura, peso seco hojas, peso seco tallo, peso seco raíces y el ratio H+T/R, en T2 (30 días después del transplante)

Del estudio de los parámetros vegetativos en el análisis de la varianza (tabla 4.3), en relación con la altura se observó el valor más el elevado de variabilidad explicado por los factores estudiados en el experimento fue el factor genotipo, suponiendo el 57.62% de la variabilidad total mientras que el factor salinidad supuso el 8.59%. Ambos fueron e.s. (p≤0.01).

PESO SECO RAIZ T1

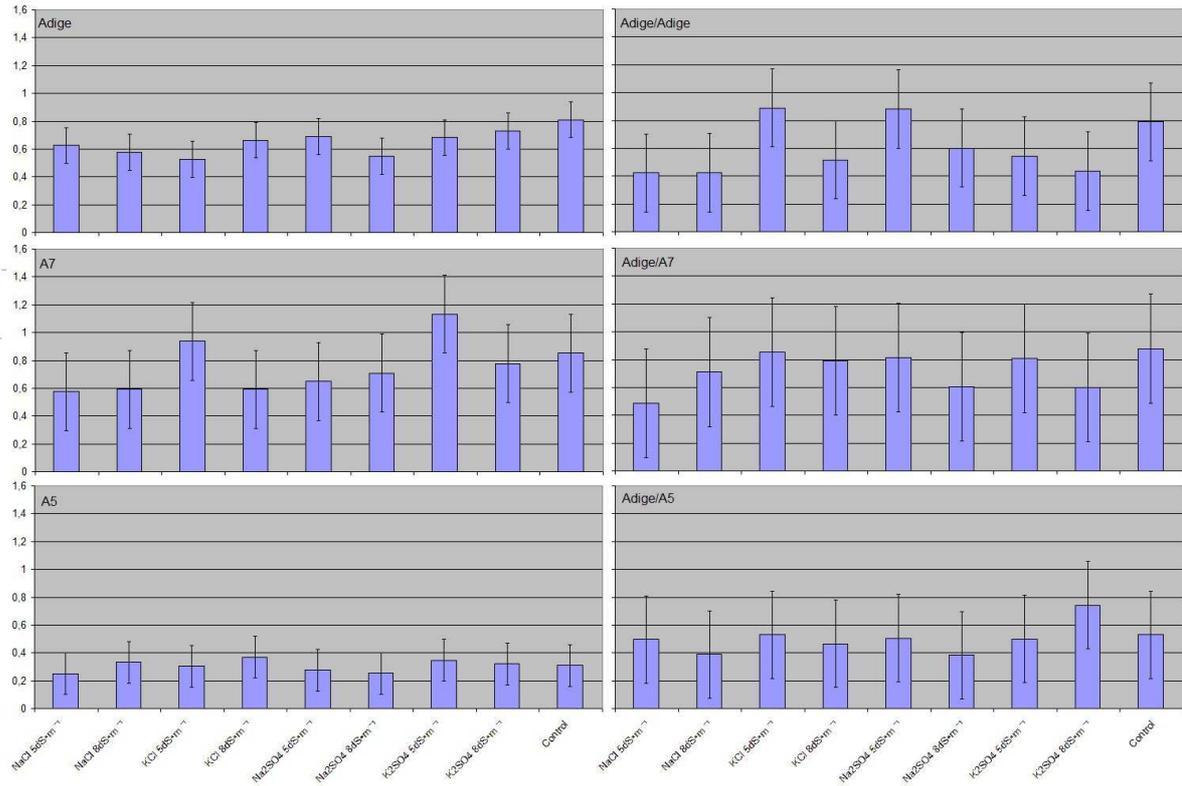


Figura 4.9. Peso seco raíz (g-planta⁻¹) de las plantas de pimienta en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD (P≤0.05).

En cuanto al peso seco, tanto hojas, como tallos y raíces, se detectaron influencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$) para los factores genotipo y salinidad.

Para el peso seco de las hojas, el factor genotipo alcanzó el 18.21% de la variabilidad final, mientras que el factor salinidad obtuvo el 16.17%. Respecto al peso seco del tallo, el factor genotipo supuso el 23.9% y el factor salinidad el 6.16%.

En lo referente al peso seco de las raíces, el factor genotipo logró el 23.98% de la variabilidad total, y el 27.09% para el factor salinidad, siendo el valor más elevado entre los distintos parámetros evaluados en el experimento.

En relación con el ratio HRT, se detectó una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$) tanto del factor genotipo, como del factor salinidad. El factor genotipo alcanzó un porcentaje de la variabilidad total del 3.52%, y el factor salinidad un 24.96%.

Tabla 4.3. Análisis estadístico de la altura (cm), del peso seco de las hojas ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$), del peso seco del tallo ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$), del peso seco de las raíces ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$) y del ratio peso seco de las hojas más peso seco del tallo entre el peso seco de las raíces ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$), de las plantas recogidas a los 30 días del comienzo del ensayo (T2).

T2	Altura	Peso seco			
		hojas (H)	tallo (T)	raíces (R)	H+T/R
GENOTIPO(GE)					
Adige	51.83b	1.74b	2.30b	1.04c	4.15b
A7	60.22a	2.11a	2.81a	1.47a	3.90b
A5	62.83a	0.96d	1.44c	0.65d	4.29b
Adige/Adige	52.88b	1.79b	2.77a	1.24b	4.50ab
Adige/A7	47.12c	1.74b	2.37b	1.24b	3.93b
Adige/A5	32.06d	1.45c	1.44c	0.60d	5.02a
TRATAMIENTO(T)					
NaCl 5dS·m ⁻¹	47.53c	1.36c	2.04c	0.70d	5.34a
8dS·m ⁻¹	48.67c	1.24c	1.86c	0.78cd	4.27b
KCl 5dS·m ⁻¹	52.60b	1.75b	2.19bc	1.34b	3.46cd
8dS·m ⁻¹	48.65c	1.70b	1.98c	1.63a	2.77d
Na ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹	48.55c	1.25c	2.07c	0.95c	3.59bc
8dS·m ⁻¹	46.90c	1.29c	2.03c	0.68d	5.14a
K ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹	59.00a	2.09a	2.77a	0.94c	5.53a
8dS·m ⁻¹	53.4b	2.14a	2.15bc	0.82cd	5.40a
Control	55.12b	1.84ab	2.61ab	1.51ab	3.17cd

Parámetros (grados de libertad)	%suma de cuadrados				
GE(n=5)	57.62**	18.21**	23.9**	23.98**	3.52**
T(n=8)	8.59**	16.17**	6.16**	27.09**	24.96**
GExT(n=40)	9.69**	17.16**	17.12**	16.96**	24.11**
Residual(n=216)	24.11	48.46	52.82	31.97	47.41
Desviación estandar ⁽⁺⁾	7.25	0.65	0.93	0.41	1.57

Letras distintas en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$) según el test LSD. n.s.: no significativa. *: nivel de significación $p \leq 0.05$. **: nivel de significación $p \leq 0.01$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

En todos los casos, se asume que hay otros factores no contemplados en este estudio que podrían influir directamente sobre los parámetros analizados en el experimento, ya que los valores correspondientes al Residual, son muy elevados en todos los casos (tabla 4.3).

En cuanto a la altura, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre los distintos genotipos estudiados, obteniéndose los valores mas elevados en los genotipos A7 y A5, sin diferir entre ellos, pero si observandose diferencias e.s. respecto al cultivar Adige y al resto de combinaciones estudiadas. En relacion con los diferentes tratamientos empleados, el mayor valor se observó para el tratamiento con la sal K_2SO_4 a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Entre éste, y el resto de los tratamientos utilizados, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$).

En relación con la materia seca, tanto en el peso seco de las hojas, como en el peso seco del tallo y en el peso seco de las raices, aparecieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los distintos genotipos estudiados, y entre las distintas sales empleadas en el experimento. Para el peso seco de las hojas, en cuanto a genotipo, el valor más elevado se observo en el genotipo A7, observandose diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre este genotipo, y el resto. En cuanto a tratamiento, los valores mas elevados se obtuvieron con las sales de K_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$,

Del análisis estadístico presentado en la tabla 4.3, se puede observar que todas las interacciones entre genotipo y salinidad resultaron estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$) en todos los parámetros vegetativos evaluados en este T2. Por tanto, se podría analizar por separado la influencia estadística del tratamiento de salinidad dentro de cada genotipo.

Al evaluar el comportamiento de los genotipos, para los distintos tratamientos de salinidad, en cuanto a la altura en T2 (Figura 4.10), solo se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los distintos tratamientos con sales, en los genotipos Adige y A7. En el resto de genotipos, no se encontraron diferencias e.s. entre los tratamientos de salinidad. En el genotipo Adige, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el

tratamiento con la sal K_2SO_4 a $5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y los tratamientos con sales de Na_2SO_4 y $NaCl$, tanto a 5 y a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en ambos casos, y con la sal KCl a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. También se observaron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$) entre el tratamiento control y los tratamientos con las sales $NaCl$, KCl y Na_2SO_4 a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en los tres casos.

En cuanto al genotipo A7, se constataron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$) entre el tratamiento con la sal K_2SO_4 a $5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y los tratamientos con las sales $NaCl$ y KCl a $5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en ambos casos, y con la sal Na_2SO_4 tanto a $5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ como a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; así como entre el tratamiento control y el tratamiento con la sal $NaCl$ a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

ALTURA T2

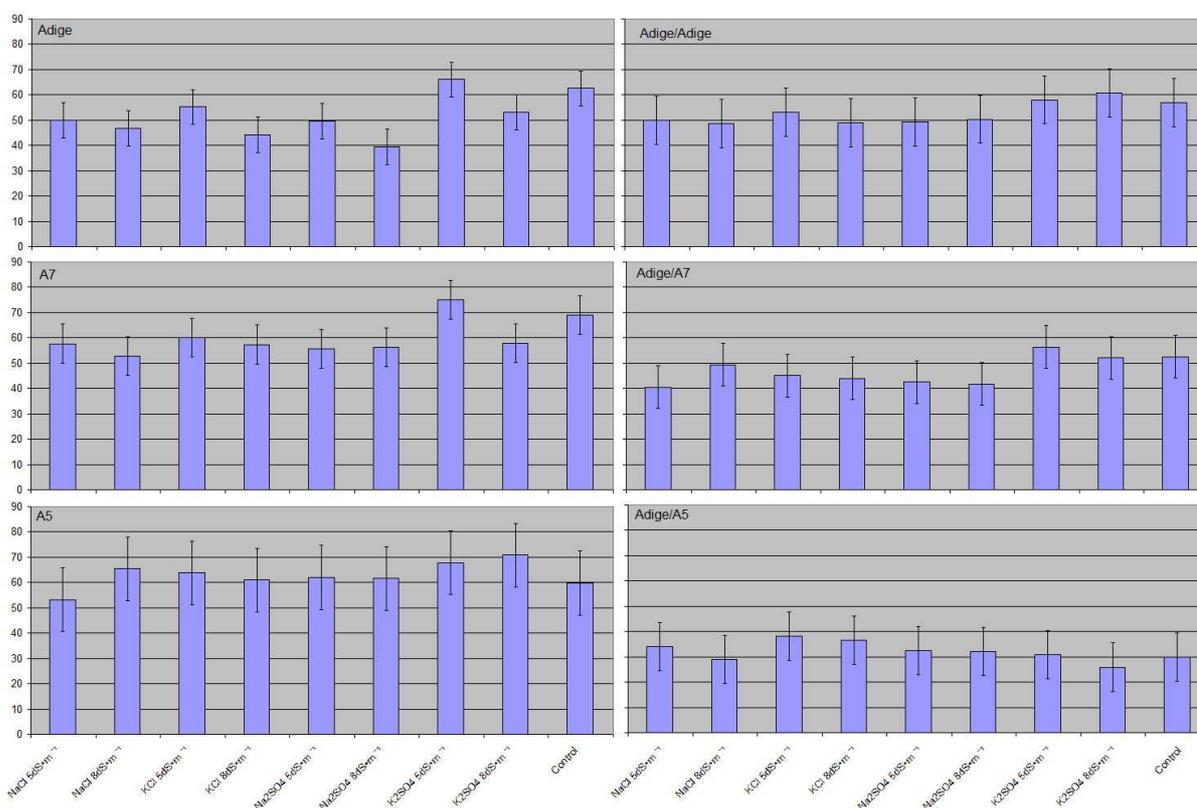


Figura 4.10. Altura (cm) de las plantas de pimienta en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P\leq 0.05$).

Al estudiar los resultados obtenidos entre las distintas combinaciones de genotipo y los distintos tratamientos de salinidad empleados en el estudio, en referencia al peso seco de las hojas en T2, dentro de cada genotipo analizado,

no se constataron diferencias e.s. entre los distintos tratamientos evaluados (Figura 4.11).

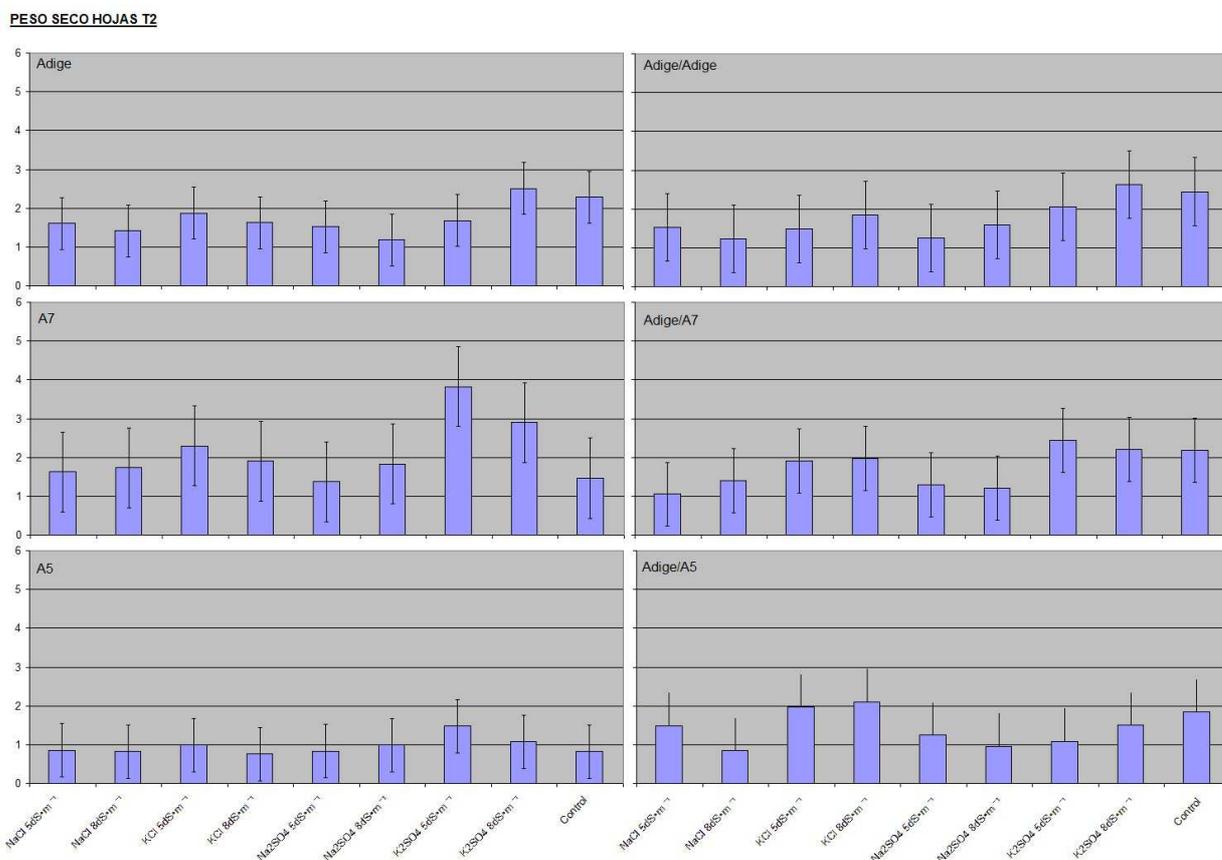


Figura 4.11. Peso seco hojas (g-planta⁻¹) de las plantas de pimienta en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD (P≤0.05).

En cuanto al peso seco del tallo en T2, dentro de cada genotipo evaluado, en líneas generales tampoco se constataron diferencias e.s. entre los distintos tratamientos empleados en el experimento, solamente se encontraron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento con Na₂SO₄ a 8 dS·m⁻¹ y el control para el cultivar Adige.(Figura 4.12).

PESO SECO TALLO T2

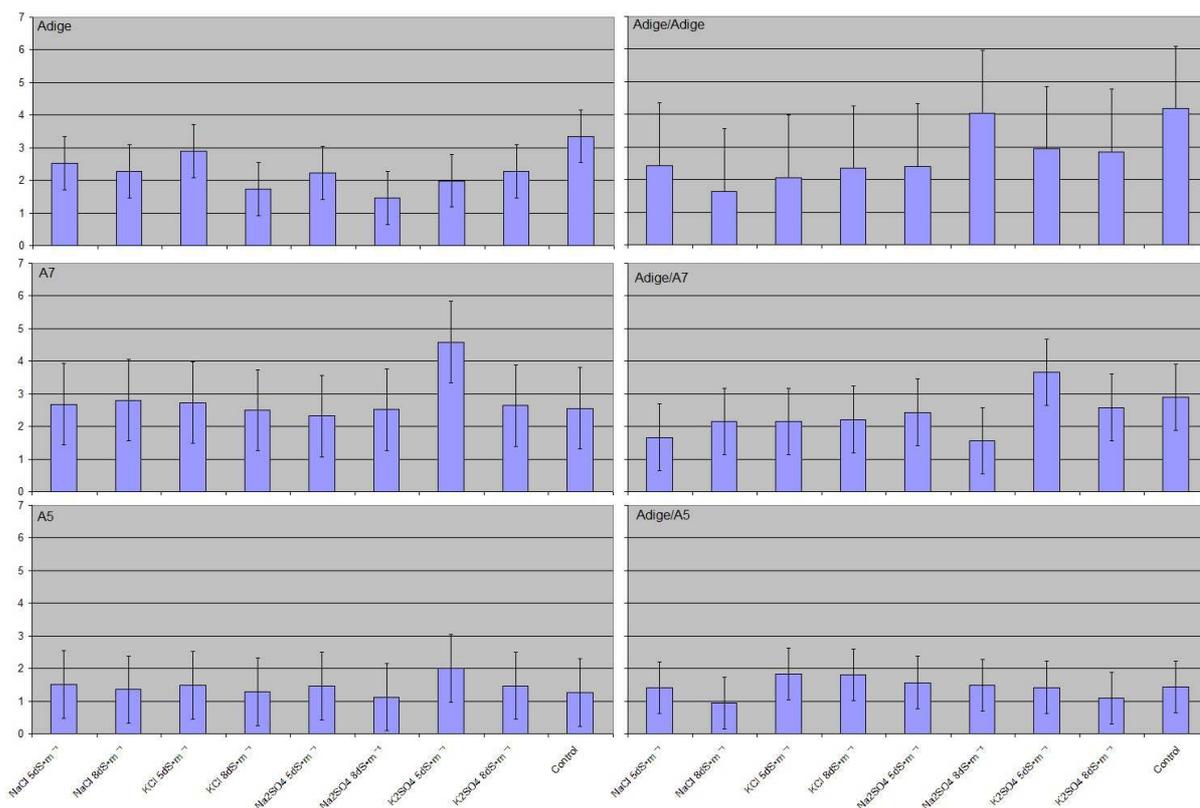


Figura 4.12. Peso seco tallo (g-planta⁻¹) de las plantas de pimiento en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD (P≤0.05).

Al analizar la resultados entre los distintos genotipos, y las distintas sales empleadas en el experimento, en cuanto al peso seco de la raíz en T2, solo se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los distintos tratamientos analizados, en el genotipo Adige, y en la combinación Adige/Adige.. En el resto de genotipos, no se encontraron diferencias e.s. entre los distintos tratamientos de salinidad.

Para el genotipo Adige, se constataron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento control y los tratamientos con NaCl a $5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, Na₂SO₄ a $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ y K₂SO₄ a $5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. En referencia a la combinación Adige/Adige, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento control y los tratamientos con la sal NaCl a $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, con la sal KCl a $5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, con las sales Na₂SO₄ y K₂SO₄ tanto a 5 como a $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ en ambos casos; y entre el tratamiento con la sal KCl

a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respecto a los tratamientos con la sal NaCl a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, con la sal Na_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y con la sal K_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 4.13).

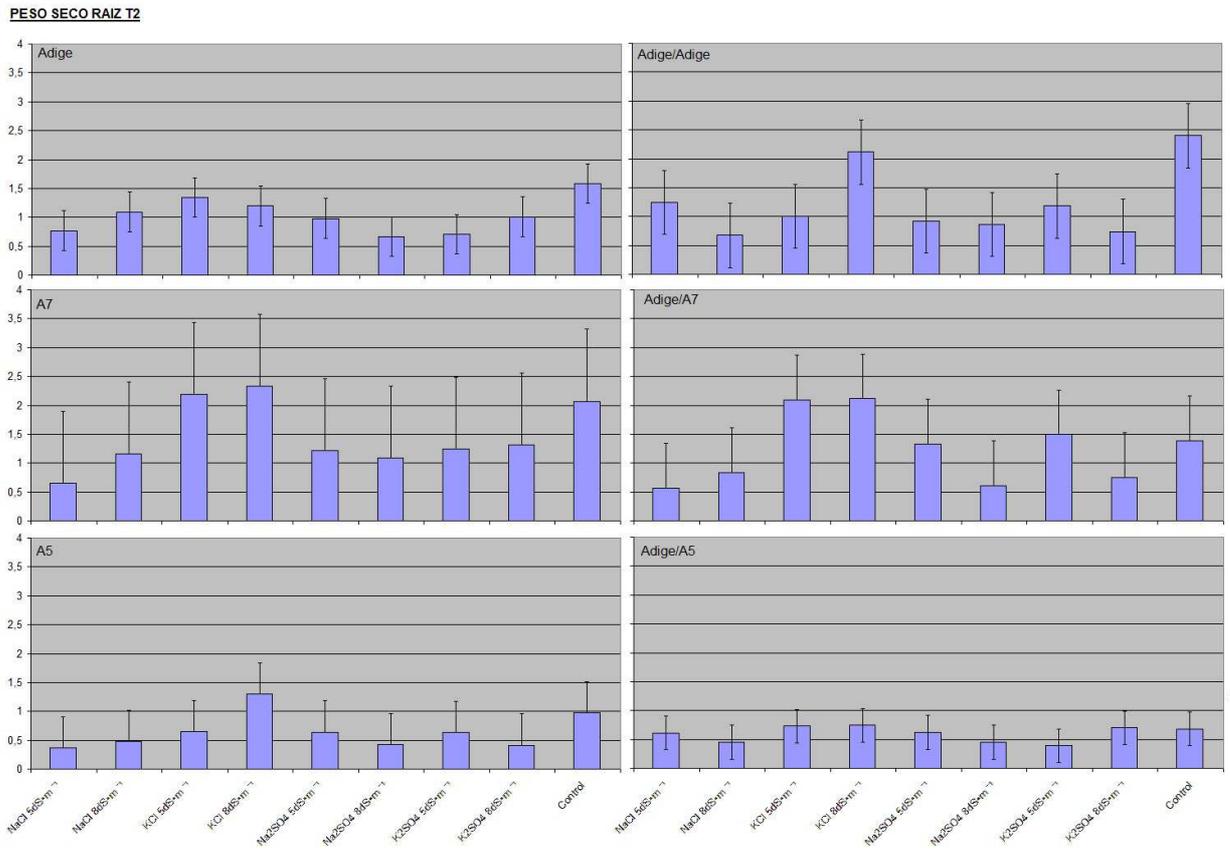


Figura 4.13. Peso seco raíz ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$) de las plantas de pimienta en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0.05$).

Al estudiar los resultados obtenidos entre los distintos genotipos, y las distintas sales empleadas en el experimento, en cuanto al ratio en T2 (Figura 4.14), se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) en todos los genotipos analizados.

En el genotipo Adige, los valores más elevados se observaron para los tratamientos NaCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y K_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, no encontrándose diferencias e.s. entre ellos. Entre los tratamientos NaCl a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, KCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Na_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y control, no se encontraron diferencias e.s., ni entre los tratamientos NaCl a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, KCl tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y control. Entre los tratamientos Na_2SO_4 tanto a 5 como a

8 dS·m⁻¹ y K₂SO₄ a 8 dS·m⁻¹ tampoco se observaron diferencias e.s. Entre el resto de tratamientos, si se apreciaron diferencias e.s. (p≤0.05).

La combinación Adige/Adige mostró los valores mas elevados para los tratamientos Na₂SO₄ y K₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹ en ambos casos, no observándose diferencias e.s. entre ellos. Entre los tratamientos NaCl tanto a 5 como a 8 dS·m⁻¹, KCl 5 a dS·m⁻¹, Na₂SO₄ tanto a 5 y K₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹ tampoco se mostraron diferencias e.s.; así como entre los tratamientos NaCl, KCl y Na₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹

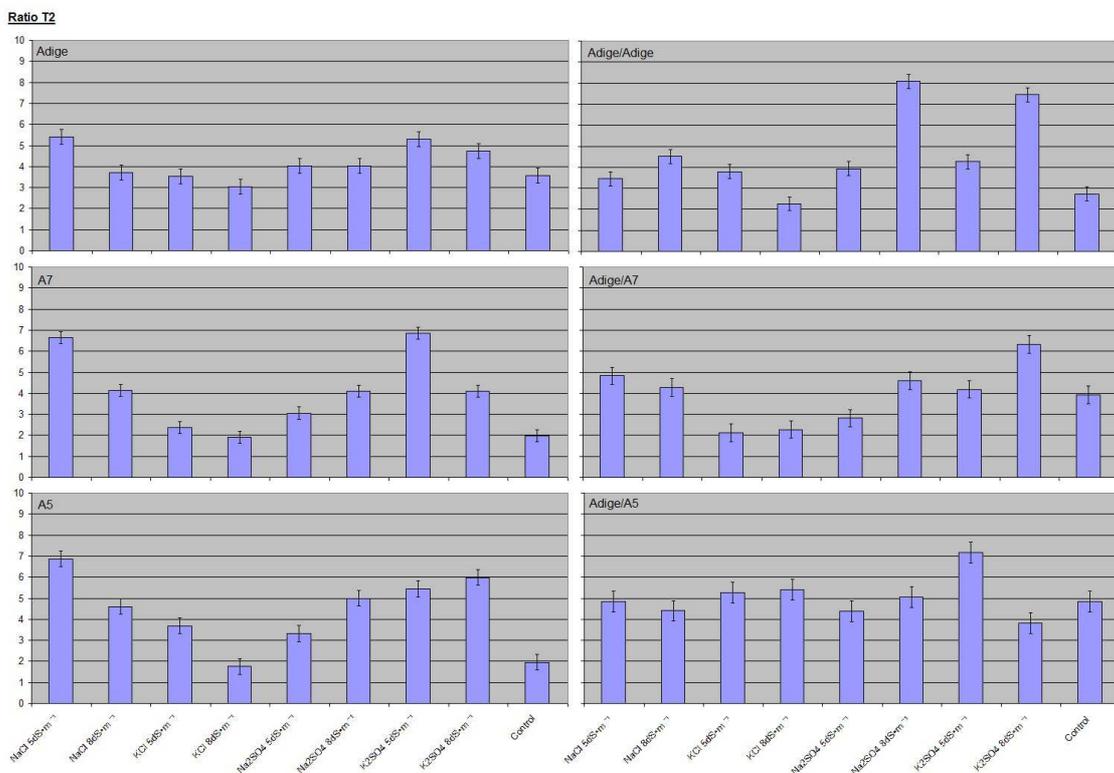


Figura 4.14. Ratio H+R/T (g.planta⁻¹) de las plantas de pimienta en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD (P≤0.05).

Entre los tratamientos KCl a 8 dS·m⁻¹ y el tratamiento control tampoco se observaron diferencias e.s. Entre el resto de tratamientos, si se contemplaron diferencias e.s. (p≤0.05).

El genotipo A7 presentó los valores más elevados para los tratamientos NaCl y K₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹ en ambos casos, no observándose diferencias e.s. entre ellos. Entre los tratamientos NaCl, Na₂SO₄ y K₂SO₄ a 8 dS·m⁻¹ para todos los casos, no se mostraron diferencias e.s., ni entre los tratamientos KCl tanto a 5 como a 8 dS·m⁻¹ y el tratamiento control. Entre los demás tratamientos utilizados, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$).

Con la combinación A7/Adige, el valor más elevado se obtuvo para el tratamiento K₂SO₄ a 8 dS·m⁻¹, observándose diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre este y el resto de tratamientos. Los tratamientos NaCl tanto a 5 como a 8 dS·m⁻¹, Na₂SO₄ a 8 dS·m⁻¹, K₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹ y control no mostraron diferencias e.s. entre ellos. Tampoco se observaron diferencias e.s. entre los tratamientos KCl tanto a 5 como a 8 dS·m⁻¹ y Na₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹. Entre el resto de tratamientos, si se obtuvieron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$).

Para el genotipo A5, con el tratamiento con NaCl a 5 dS·m⁻¹ se obtuvo el mayor valor del ratio estudiado. Entre este y el resto de tratamientos, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$). Entre los tratamientos NaCl y Na₂SO₄ a 8 dS·m⁻¹ en ambos casos, no se obtuvieron diferencias e.s.; así como entre los tratamientos KCl y Na₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹. Tampoco se mostraron diferencias e.s. entre los tratamientos KCl a 8 dS·m⁻¹ y el tratamiento control, ni entre los tratamientos con K₂SO₄ a 5 y a 8 dS·m⁻¹. Entre el resto de tratamientos, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$).

Por último, en la combinación Adige/A5, el mayor valor se obtuvo con el tratamiento K₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹, observándose diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre este y el resto de tratamientos evaluados. Entre los tratamientos NaCl tanto a 5 como a 8 dS·m⁻¹, KCl tanto a 5 como a 8 dS·m⁻¹, Na₂SO₄ tanto a 5 como a 8 dS·m⁻¹ y el tratamiento control no se observaron diferencias e.s.; ni entre los tratamientos NaCl tanto a 5 como a 8 dS·m⁻¹, Na₂SO₄ a 5 dS·m⁻¹, K₂SO₄ a 8 dS·m⁻¹ y control. Entre el resto de tratamientos, si se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$).

4.3 Análisis del potencial osmótico.

En la tabla 4.4 se presenta el análisis estadístico del potencial osmótico, a dos tiempos distintos: a los 15 días del transplante (T1) y a los 30 días (T2).

Tabla 4.4. Análisis estadístico del potencial osmótico (Mpa) de las plantas recogidas a los 15 días del transplante, y a los 30 días (T1 y T2, respectivamente).

	P.osmótico T1	P.osmótico T2
GENOTIPO(GE)		
Adige	-1.33b	-1.42a
A7	-1.24ab	-1.56b
A5	-1.26ab	-1.60b
Adige/Adige	-1.23ab	-1.40a
Adige/A7	-1.18a	-1.40a
Adige/A5	-1.44c	-1.90c
TRATAMIENTO(T)		
NaCl 5dS·m ⁻¹	-1.32cd	-1.41b
8dS·m ⁻¹	-1.42d	-1.61c
KCl 5dS·m ⁻¹	-1.41d	-1.55c
8dS·m ⁻¹	-1.43d	-1.81d
Na ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹	-1.20bc	-1.49bc
8dS·m ⁻¹	-1.37d	-1.80d
K ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹	-1.16b	-1.57c
8dS·m ⁻¹	-1.20bc	-1.78d
Control	-1.01a	-0.90a

Parámetros (grados de libertad)	%suma de cuadrados	
GE(n=5)	11.10**	20.88**
T(n=8)	29.29**	48.09**
GExT(n=40)	20.50 ^{n.s.}	13.17**
Residual(n=108)	39.11	17.86
Desviación estandar ⁽⁺⁾	0.19	0.20

Letras distintas en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$) según el test LSD. n.s.: no significativa. *: nivel de significación $p \leq 0.05$. **: nivel de significación $p \leq 0.01$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

Del estudio del potencial osmótico en el análisis de la varianza (tabla 4.4), en relación con T1 se observó una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$) para el factor genotipo, alcanzando un 11.10% de la variabilidad final. El factor salinidad también resultó estadísticamente significativo ($p \leq 0.01$),

suponiendo un 29.29% de la variabilidad. El 39.11% de la variabilidad total fue debida a factores no contemplados en este análisis.

En cuanto a T2, se observaron valores más elevados de variabilidad, explicados por los factores estudiados en el experimento, alcanzando el factor genotipo el 20.88% de la variabilidad total, y el factor salinidad el 48.09%. Ambos factores contemplados en el análisis estadístico presentaron una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$). El 17.86% de la variabilidad total, se debe a factores no contemplados en este análisis.

Al analizar el potencial osmótico en T1 (tabla 4.4.), se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los distintos genotipos estudiados. El valor más elevado se obtuvo con la combinación Adige/A7, y el más bajo con la combinación Adige/A5. El factor tratamiento, también presentó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). El tratamiento control fue el que mostró el valor más elevado, y las sales con mayor conductividad, fueron las que dieron los valores más bajos.

En cuanto a T2, también se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$), tanto entre los diferentes genotipos estudiados, como entre los distintos tratamientos de salinidad empleados. El genotipo Adige, fue el que mostró un valor más elevado, seguido de las combinaciones Adige/Adige y Adige/A7, entre los cuales no se hallaron diferencias e.s. La combinación Adige/A5 fue la que mostro el valor más bajo, observándose diferencias e.s. entre este genotipo y el resto. El tratamiento control, al igual que en T1, fue el que presentó el valor más elevado, observándose diferencias e.s. entre este y el resto de tratamientos. En todos los casos, las sales con mayor CE presentaron valores más bajos.

Del análisis estadístico presentado en la tabla 4.4, se constata que en el caso de T2, la interacción entre genotipo y salinidad resultó estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$). Por lo que se podría analizar por separado la influencia estadística del tratamiento de salinidad dentro de cada genotipo .

Al analizar los resultados obtenidos para las distintas combinaciones de genotipo y tratamiento en T2, en el genotipo Adige, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento control y el resto de tratamientos de salinidad.

El genotipo A7, no presentó diferencias e.s. entre el tratamiento control, y los tratamientos NaCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ K_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ pero si mostró diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) respecto al resto de tratamientos de salinidad.

En el genotipo A5, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento control y el resto de tratamientos, así como entre el tratamiento con la sal Na_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y los tratamientos NaCl y KCl a 8 y a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ respectivamente; y entre el tratamiento K_2SO_4 a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y los mismos tratamientos de NaCl y KCl.

En cuanto a la combinación Adige/Adige, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento control y el resto de tratamientos, al igual que tanto entre KCl a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Na_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y K_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y el resto de tratamientos, no encontrándose diferencias e.s. entre estas sales a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

En referencia a la combinación Adige/A7, se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento control, y el resto de tratamientos, si bien con respecto a NaCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ no hubo diferencias e.s. También se contrataron diferencias e.s. entre el tratamiento con la sal Na_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y la misma sal a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y respecto a las sales K_2SO_4 y NaCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, en ambos casos.

Para la combinación Adige/A5, no se observaron diferencias e.s. entre ninguno de los tratamientos empleados en el experimento.

POTENCIAL OSMÓTICO T2

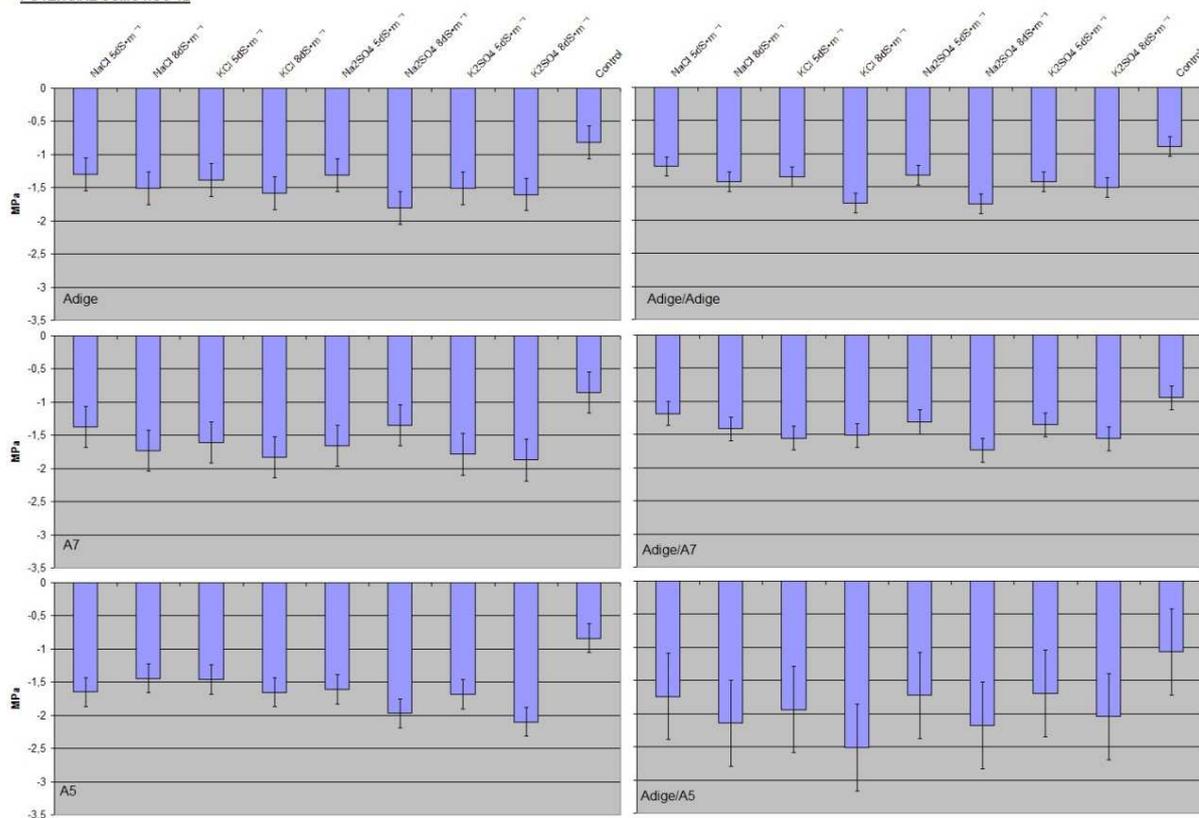


Figura 4.15. Potencial osmótico (Mpa) de las plantas de pimiento en T2, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0.05$).

4.4 Análisis de la fotosíntesis neta.

En la tabla 4.5 se presenta el análisis estadístico de la fotosíntesis neta, medida en planta a dos tiempos distintos: previamente a la recogida de las plantas evaluadas a los 15 días del transplante (T1) y a los 30 días (T2).

Del estudio de la fotosíntesis neta en el análisis de la varianza (tabla 4.5), en relación con T1 se observó una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$) para el factor genotipo, alcanzando un 17.06% de la variabilidad final. El factor salinidad también resultó estadísticamente significativo ($p \leq 0.01$), suponiendo un 31.07% de la variabilidad total. El 31.95% de la variabilidad en T1, se debe a factores no contemplados en este análisis.

En cuanto a T2, se observaron valores más bajos de variabilidad, explicados por los factores estudiados en el experimento. El factor genotipo supuso el 13.19% de la variabilidad total, y el factor salinidad el 29.02%. Ambos factores contemplados en el análisis estadístico presentaron una influencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.01$). El valor de variabilidad final explicado por otros factores no contemplados en este análisis, resultó un 37.87%.

Tabla 4.5. Análisis estadístico de la fotosíntesis neta ($\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), antes de la recogida de las plantas a los 15 días del transplante, y a los 30 días (T1 y T2, respectivamente).

	Fotosíntesis T1	Fotosíntesis T2
GENOTIPO(GE)		
Adige	8.56c	9.66ab
A7	9.93ab	7.44d
A5	10.43a	8.41cd
Adige/Adige	10.14a	9.93a
Adige/A7	9.05bc	8.77bc
Adige/A5	5.8d	5.59e
TRATAMIENTO(T)		
NaCl 5dS·m ⁻¹	6.56f	5.09g
8dS·m ⁻¹	9.06cd	7.19ef
KCl 5dS·m ⁻¹	6.85ef	8.23de
8dS·m ⁻¹	6.94ef	6.4fg
Na ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹	10.89b	10.37b
8dS·m ⁻¹	7.98de	9.72bc
K ₂ SO ₄ 5dS·m ⁻¹	9.1cd	8.91cd
8dS·m ⁻¹	10.1bc	6.38fg
Control	13.4a	12.39a
Parámetros (grados de libertad) %suma de cuadrados		
GE(n=5)	17.06**	13.19**
T(n=8)	31.07**	29.02**
GExT(n=40)	19.92**	19.91**
Residual(n=108)	31.95	37.87
Desviación estandar	2.39	2.77

Letras distintas en la misma columna indican diferencias ($p \leq 0.05$) según el test LSD. n.s.: no significativa. *: nivel de significación $p \leq 0.05$. **: nivel de significación $p \leq 0.01$. (+) La desviación estándar se ha calculado como la raíz cuadrada del cuadrado medio residual.

Al estudiar la fotosíntesis neta en T1 (tabla 4.5.), se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los distintos genotipos estudiados, así como entre los distintos tratamientos de salinidad empleados. En cuanto a genotipo, el valor más elevado se obtuvo con el genotipo A5 y con la combinación Adige/Adige, y el más bajo con la combinación Adige/A5. En lo referente a salinidad, el tratamiento control fue el que mostró el valor más elevado, y el tratamiento con la sal NaCl a $5 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ fue las que presentó el valor más bajo.

En relación a T2, también se observaron diferencias e.s. ($p \leq 0.05$), entre los diferentes genotipos y los distintos tratamientos. La combinación Adige/Adige, fue la que mostró un valor más elevado, seguido del genotipo Adige, sin encontrarse diferencias e.s. entre ellos. La combinación Adige/A5 fue la que mostró el valor más bajo, observándose diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre éste y el resto de genotipos. El tratamiento control, al igual que en T1, fue el que presentó el valor más elevado, constatándose diferencias e.s. ($p \leq 0.05$) entre este y el resto de tratamientos.

Del análisis estadístico presentado en la tabla 4.5, se constata que tanto en el caso de T1 como de T2, la interacción entre genotipo y salinidad resultó estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$). Por lo que se podría analizar por separado la influencia estadística del tratamiento de salinidad dentro de cada genotipo.

FOTOSÍNTESIS T1

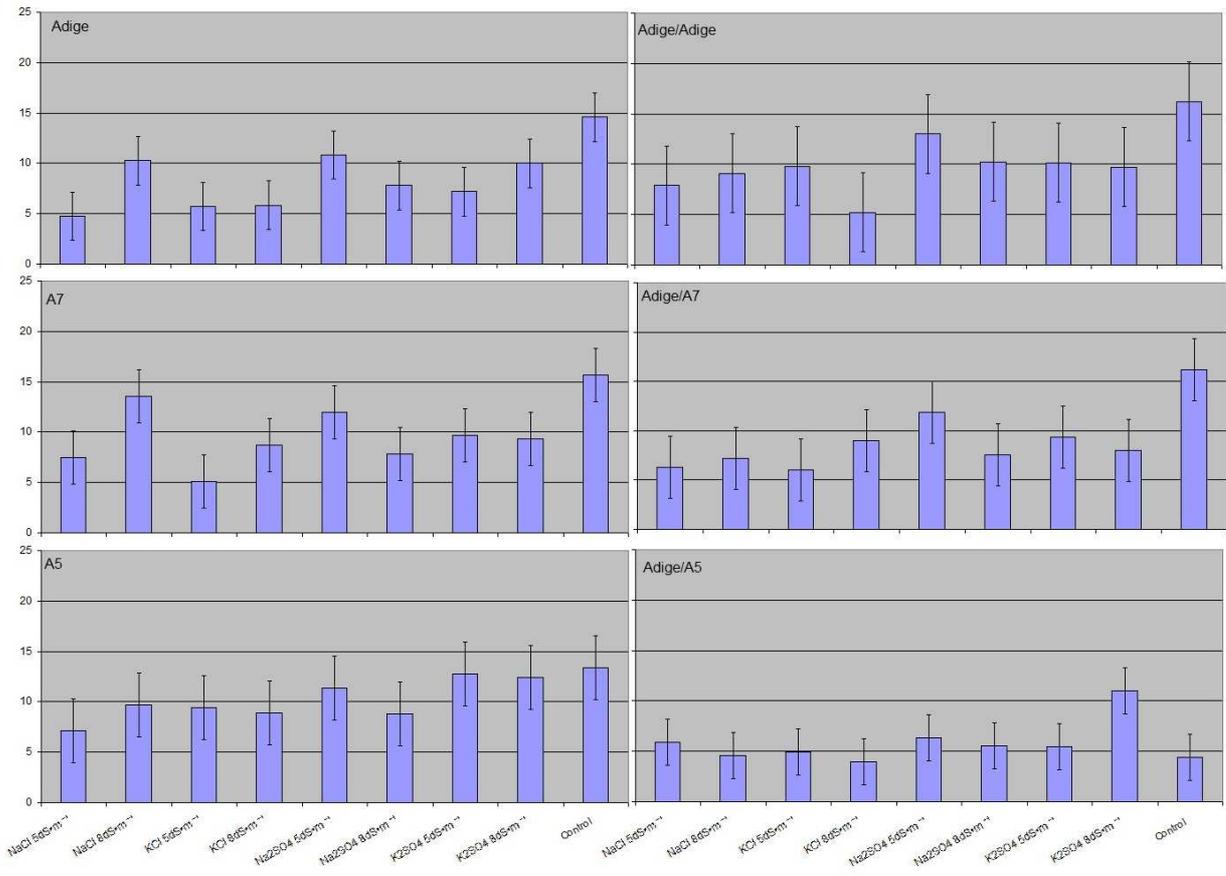


Figura 4.16. Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) de las plantas de pimiento en T1, de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P\leq 0.05$).

Al analizar los resultados para fotosíntesis neta en T1, en todos los genotipos se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p\leq 0.05$) entre los distintos tratamientos de salinidad empleados, excepto en el caso del genotipo A5.

Para el genotipo Adige, el valor más elevado de fotosíntesis neta se obtuvo en el tratamiento control, seguido de los tratamientos NaCl a $5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Na_2SO_4 a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y K_2SO_4 a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, entre los cuales no mostraron diferencias e.s. Entre los tratamientos NaCl a $5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, KCl tanto a 5 como a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Na_2SO_4 a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y K_2SO_4 a $5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ tampoco se encontraron diferencias e.s.; ni entre los tratamientos NaCl a $8\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, KCl tanto a 5 como a

8, Na_2SO_4 tanto a 5 como a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y K_2SO_4 tanto a 5 como a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (excepto entre KCl tanto a 5 como a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ frente a Na_2SO_4 a 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

En cuanto a la combinación Adige/Adige, el valor más elevado de fotosíntesis neta, también lo mostró el tratamiento control. Entre este y los tratamientos NaCl a 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y KCl a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p\leq 0.05$). Entre el resto de tratamientos, no se observaron diferencias e.s.

Para el genotipo A7, el mayor valor también lo presentó el tratamiento control, seguido del tratamiento NaCl a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, entre los cuales no se observaron diferencias e.s. Entre estos tratamientos frente a NaCl y KCl a 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, en ambos casos, se observaron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$), así como entre KCl y Na_2SO_4 a 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. En los demás casos, no se encontraron diferencias e.s.

En referencia a la combinación Adige/A7, el tratamiento control fue el que presentó el valor más elevado de fotosíntesis neta, seguido del tratamiento Na_2SO_4 a 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Entre estos tratamientos no se encontraron diferencias e.s. No obstante, entre el tratamiento control y el resto de tratamientos si se observaron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$).

En el genotipo A5, no se observaron diferencias e.s. entre ninguno de los tratamientos empleados en este estudio.

En el caso de la combinación Adige /A5, el valor más alto se obtuvo con el tratamiento K_2SO_4 a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, seguido del tratamiento Na_2SO_4 a 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Entre estos tratamientos no se observaron diferencias e.s., sin embargo entre el tratamiento K_2SO_4 a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y el resto de tratamientos si se constataron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$).

Al analizar los resultados de las distintas combinaciones de genotipos y tratamientos de salinidad, para fotosíntesis neta en T2 (Figura 4.17), en el genotipo Adige el valor más elevado se obtuvo en el tratamiento control. Entre

este y el tratamiento K_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se constataron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$). Entre el resto de tratamientos empleados en el experimento, no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

La combinación Adige/Adige, presentó los valores más elevados de fotosíntesis neta para los tratamientos Na_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y para el tratamiento control. Entre estos tratamientos y el tratamiento con NaCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se observaron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$). Los demás tratamientos de salinidad no mostraron diferencias e.s. entre ellos.

En el caso del genotipo A7, el tratamiento control fue el que mostró el resultado más elevado, seguido del tratamiento Na_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Entre estos tratamientos no se observaron diferencias e.s.; pero si se observaron entre estos y los tratamientos con NaCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, KCl a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y K_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Entre los tratamientos con NaCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y con Na_2SO_4 a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ también se constataron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$). Entre el resto de tratamientos utilizados, no se observaron diferencias e.s.

. Para la combinación Adige /A7, los mayores resultados de fotosíntesis neta se observaron para el tratamiento control, seguido del tratamiento con K_2SO_4 tanto a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, no observándose diferencias e.s. entre ellos. Entre estos tratamientos y el tratamiento NaCl a $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, se constataron diferencias e.s. ($p\leq 0.05$). El resto de tratamientos, no mostraron diferencias e.s. entre ellos.

En el genotipo A5, no se observaron diferencias e.s. entre ninguno de los tratamientos empleados en este estudio.

En el caso de la combinación Adige /A5, el valor más alto se obtuvo con el tratamiento control. Entre este tratamiento y NaCl a 5 K_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, KCl a 8 K_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Na_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y K_2SO_4 tanto a 5 como a 8 K_2SO_4 tanto a 5 como a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, se constataron diferencias estadísticamente significativas ($p\leq 0.05$). Entre el resto de tratamientos de salinidad utilizados en este experimento, no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

FOTOSÍNTESIS T2

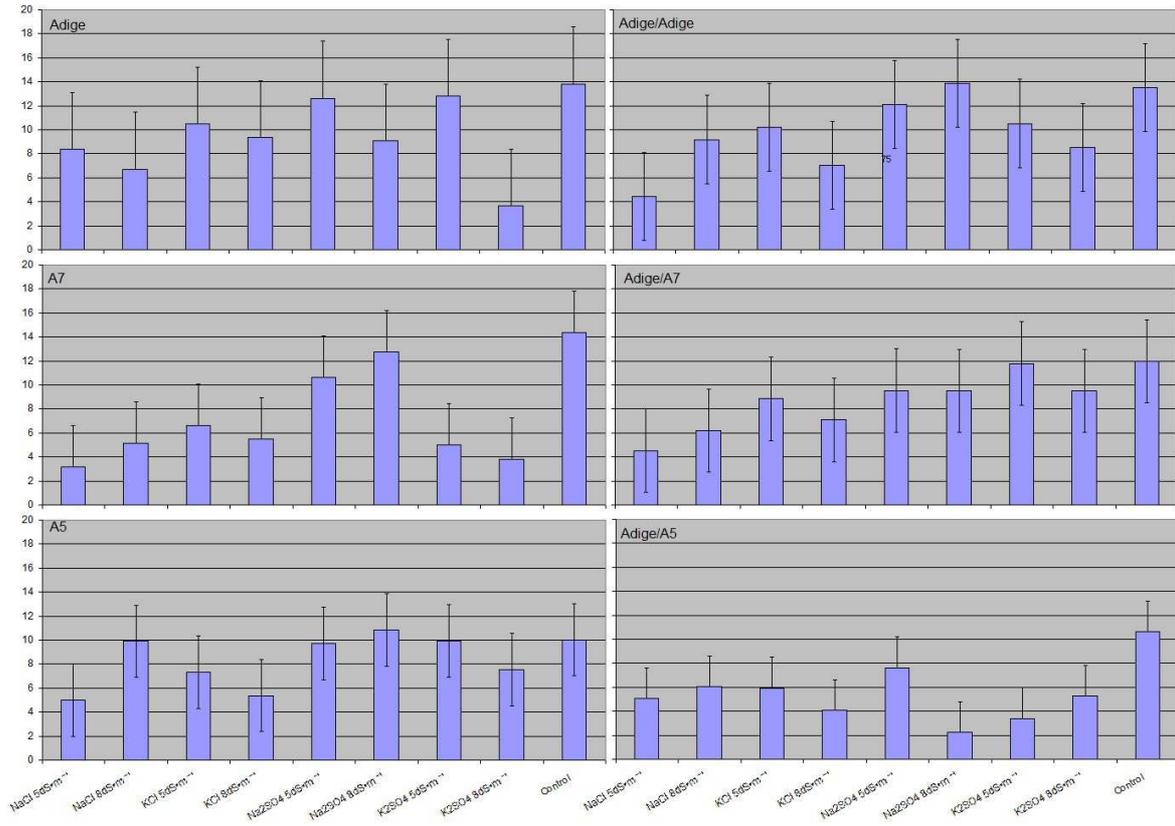


Figura 4.17. Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol-CO}_2\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) de las plantas de pimienta en T2 de los genotipos Adige, Adige/Adige, A7, A7/Adige, A5 y A5/Adige con los diferentes tratamientos de salinidad. Las barras verticales indican el intervalo LSD ($P \leq 0.05$).

5. Discusión

La productividad de muchos cultivos comerciales de pimiento (sobre todo pimiento dulce) está limitada por el estrés salino en muchas áreas del mundo (Penella et al., 2013). Hasta el momento, la selección de plantas de pimiento tolerantes a la salinidad se ha desarrollado con genotipos con pobre valor comercial (Aktas et al., 2006; Niu et al., 2010) para ser utilizados como variedades. El equipo de investigación mixto IVIA-UPV, dentro del cual se ha llevado a cabo este trabajo, ha desarrollado una nueva estrategia en la búsqueda de plantas de pimiento tolerantes a la salinidad: selección, caracterización y utilización de genotipos resistentes a la salinidad como portainjertos. Con esta premisa, se evaluaron 6 combinaciones distintas de genotipos de pimiento bajo condiciones salinas controladas en invernadero para estudiar su comportamiento en estadio de germinación y plántula. El estudio servirá como selección a la tolerancia a la salinidad.

Atendiendo a la germinación de los genotipos Adige, A5 y A7, la respuesta en cuanto a germinación acumulada y máximo porcentaje de germinación, ha sido la misma para los tres genotipos, ya que todos ellos terminan alcanzando elevados valores de germinación (entre el 92 y el 99%). La variedad Adige es la que antes alcanza el 50% de la germinación final, sin embargo, el genotipo A5 es el que mayor velocidad relativa de germinación acumulada alcanza. Los distintos tratamientos de salinidad empleados, tanto tipo de sal como concentración de la misma solo afectan a este último parámetro, retrasando la germinación. Los tratamientos con las diferentes sales afectan del mismo modo a los distintos genotipos estudiados.

La tolerancia a la salinidad de las semillas en su fase de germinación es una medida de la habilidad de éstas para soportar los efectos de altas concentraciones de sales solubles en el medio. La presencia de sales en el medio disminuye el potencial hídrico, provocando una menor disponibilidad de agua para las semillas, de manera que éstas deben generar suficiente potencial osmótico para mejorar el estatus hídrico de los embriones y permitir la entrada de agua necesaria para la germinación (Jones, 1986).

El estrés salino afecta más en fase de crecimiento que en fase de germinación (Chartzoulakis y Klapaki, 2000). Según Rhoades (1990), hay variedades que son relativamente tolerantes durante la germinación, sin embargo se presentan sensibles durante los primeros estados de crecimiento de la planta.

Basándonos en los resultados obtenidos en este experimento, se podría indicar que en general con todos los tratamientos de salinidad la cantidad media de materia seca aérea disminuye conforme se van incrementando los niveles de salinidad, si bien no se aprecian diferencias estadísticamente significativas. Estos resultados no son coincidentes con los obtenidos en estudios previos en pimiento (Chartzoulakis y Klapaki, 2000), donde se obtiene una clara respuesta de reducción de crecimiento y de acumulación de materia seca como respuesta al estrés salino.

En el cultivar Adige, se ha observado una menor acumulación de materia seca, con el tratamiento Na_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, con respecto al control, si bien, en líneas generales, en las accesiones A5 y A7 no se constataron diferencias e.s. entre los tratamientos de salinidad y el control.

Por otra parte, en las plantas de Adige injertadas sobre Adige, A5 y A7, la acumulación de materia seca no se vió afectada por ninguno de los tratamientos, mejorando de este modo el comportamiento obtenido por este cultivar sin injertar. De acuerdo con estos resultados, el injerto confiere una mayor tolerancia a la salinidad, conforme a lo indicado por Rivero et al. (2002).

La acumulación de materia seca se usa ampliamente como una medida de crecimiento de la planta, porque refleja un balance neto entre la producción total de fotoasimilados y la respiración. La menor acumulación de materia seca observada en los tratamientos salinos pudiera atribuirse tanto al efecto iónico como osmótico que resulta de la elevada concentración.

En todos los casos estudiados, los resultados obtenidos en cuanto al parámetro peso seco aéreo, en general con sales de sodio fueron más bajos que con sales de potasio, debido a que el ión Na^+ resulta más tóxico para las plantas en elevadas concentraciones (Estañ et al. 2004), siendo considerado para muchas plantas como el ión específico causante de mayores daños. (Tester and Davenport, 2003).

El cociente parte aérea/parte radicular (H+T/R) tendió a reducirse con valores mas elevados de CE, en sales mono- y tendió a incrementarse en sales bi-, en todos los casos excepto en la combinación Adige/A5. Esto es debido a la menor producción de materia seca aérea, como indicativo de sensibilidad a la salinidad. La combinación Adige/A5, además, es la que presenta valores mas elevados para el ratio H+T/R, por lo que se asume que dicha combinación es la que mejores resultados presenta en la fase inicial del crecimiento de la planta frente al estrés salino en el estudio de parámetros vegetativos.

Las sales de NaCl son las que más han afectado al desarrollo vegetativo de las plantas. Los iones Na^+ y Cl^- resultan tóxicos para las plantas cuando se produce una excesiva acumulación de los mismos (Estañ et al. 2004). La tolerancia a la salinidad, está asociada con la habilidad de limitar el transporte o excluir estos iones de la zona radical a las hojas (Greenway and Muuns,1980).

Atendiendo al parámetro indicativo de sensibilidad a la salinidad, tasa de fotosíntesis (Penella et al. 2013), observamos una disminución de la misma, tanto en el cultivar comercial Adige como en el patrón A7, en los tratamientos salinos respecto al control, por lo que estos dos genotipos podrían considerarse más sensibles al estrés salino en estas primeras fases del crecimiento de las plantas. Tanto en el patrón A5 como en la combinación A5/Adige, no presentan esas disminuciones tan acusadas de la fotosíntesis, y no se observaron, en general, diferencias entre los tratamientos salinos y el control. El patrón A5 podría ser seleccionado como portainjerto de pimiento tolerante a la salinidad, si bien sería necesario continuar los estudios en fases posteriores de crecimiento y conocer su comportamiento agronómico a nivel de producción.

6. Conclusión

En fase de germinación, los genotipos estudiados han mostrado un comportamiento similar, sin encontrarse en ningún caso diferencias entre tratamientos salinos y alcanzando elevados porcentajes de germinación (de hasta el 99%).

En fase inicial de crecimiento, el cultivar Adige difiere del comportamiento de A5 y A7 en cuanto a la acumulación de materia seca, siendo esta menor con los tratamientos de salinidad respecto al control (especialmente con Na_2SO_4 a $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

En las plantas de Adige injertadas, la acumulación de materia seca no se ha visto afectada por ninguno de los tratamientos respecto al control, mejorando de este modo el comportamiento obtenido por el cultivar sin injertar.

El potencial osmótico se ve disminuido con los tratamientos salinos en todas las combinaciones de genotipos estudiadas, excepto en Adige/A5, donde no se aprecian diferencias entre los distintos tratamientos y el control.

La fotosíntesis neta se reduce con los tratamientos de salinidad respecto al control, en todos los casos excepto en el genotipo A5 y en la combinación Adige/A5, donde se observan valores similares.

Basándonos en estos resultados, en estadio de plántula, la variedad Adige injertada sobre la accesión A5 mejora su adaptación en condiciones salinas, por lo que se podría seleccionar dicha accesión para su uso en mejora de pimiento frente a estrés salino, siendo necesario llevar a cabo posteriores estudios con planta adulta para conocer mejor su comportamiento a nivel fisiológico y agronómico.

7. Bibliografía

Ashraf, M.; Harris, P.J.C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, v. 166, n. 01, p. 3-16.

Bayuelo, J.S.; Debouck, D.G.; Lynch, J.P. (2002). Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Sci.* 42: 2184-2192.

Bohnert, H.J.; Jensen RG. (1996). Metabolic engineering for increased salt tolerance: the next step. *Aust. J. Plant Physiol.* 23, 661–667.

Calatayud, A.; Penella, A.; Marsal, J.I.; SanBautista, A.; López-Galarza, S; Nebauer, S.G. (2013). Utilización del injerto de pimiento como solución frente a suelos salinos. *Agrícola Vergel*, Marzo 2013.

Carter, M.R. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal.* 94:38-47.

Casas, A.; Casas, E. (1999). El análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular, 2ª edición. Caja rural de Almería.

Casierra-Posada, F. y García, N. (2005). Crecimiento y distribución de materia seca en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) bajo estrés salino. *Agronomía Colombiana.* 23(1):83-89.

Céspedes, A.J.; García, M.C.; Pérez, J.J.; Cuadrado, I.M. (2009) Caracterización de la Explotación Hortícola Protegida Almeriense, Ed Cuadrado, I.M.

Chartzoulakis, K.; Klapaki, G. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae* 86:247-260.

Chinnusamy, V.; Jagendorf, A.; Zhu, J. K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45(2), 437-448.

Erard, P. ; Odet, J. (2009) Vers des systemes de culture economes en produits phytosanitaires,
http://www.prodinra.inra.fr/prodinra/pinra/data/2010/09/PROD20102d141e9_20100921040645390.pdf.

Estañ, M.T.; Martínez-Rodríguez, M.M.; Perez-Alfocea, F.; Flowers, T.J.; Bolarin, M.C. (2004). Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 56, No 412, pp. 7033-712

Evangelou, V.P. (1994). Influence of sodium on soils of humid regions. *Handbook of Plant and Crop Stress* (M. Pessarakli, ed) Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 31-62.

FAO

Flowers, T.J. (2004). Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55:307-319

Greenway, H.; Muuns , H. (1980). Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, 149-190.

He, Y.; Zhu, Z.; Yang, J.; Ni, X.; Zhu, B. (2009) Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environ Exp Bot* 66: 270-278

ISTA (International Seed Testing Association).(2007). *International Rules for Seed Testing*. Glattbrugg/Zurich, Switzerland.

Jones, R.A. (1986). High salt tolerance potential in *Lycopersicon* species during germination. *Euphytica*; 35: 575-582.

King, S.R.; Davis, A.R.; Zhang, X.; Crosby, K. (2010). Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Sci. Hortic.* 127, 106-111.

Lee, J.M. (1994). Cultivation of grafted vegetables. I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science (USA)*

Liao, C.T.; Lin, C.H. (1996). Photosynthetic responses of grafted bitter melon seedlings to flood stress. *Environ Exp Bot* 36: 167-172

Maas, E.V. (1986). Salt tolerance of plants. *Applied Agricultural Research*, 1:12-26.

Magalhães, R.; Gomes, J., Silva, E.; Moreira, A.; Batista, A. (2010). Nitrate uptake, xylem NO₃- flux, and nitrate assimilation in cowpea exposed to salinity. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41:100-106

MARM

Maroto, J.V. (2002). *Horticultura herbácea especial*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 702pp.

Maynard, D.N. (1979). Nutritional disorders of vegetable crops: a review, *J. Plant Nutr.* 1: 1-23.

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

Miguel, A.; De la Torre, F.; Baixauli, C.; Maroto, J.V.; Jordá, M.C.; López, M.M.; Garcia-Jimenez, J. (2007). Injerto de hortalizas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación and Fundación Ruralcaja. Valencia. Spain.

Munns, R.; Termaat, A. (1986). Whole plant response to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13, 143-160.

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

Nuez,F.; Gil Ortega,R.; y Costa, J. (1996) El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 586pp.

Parés, J.; Arizaleta, M.; Sanabria, M.E.; García, G. (2008). Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor foliar de las plantas de *Carica papaya* L. *Acta botanica de Venezuela.* 31(1):27-34.

Pascual, B.; San Bautista, A.; Ferreros, N.; López-Galarza, S.; Marto, J.V. (2003). Analysis of germination of caper seeds as influenced by the position of fruti and mother plant, frutit maturation stage weight. *Journal of Hort science and biotec*, 78:73-78.

Penella, C.; Nebauer, S.G.; López-Galarza, S.; SanBautista, A.; Gorbe, E.; Calatayud, A. (2013). Evaluation for salt stress tolerance of pepper genotypes to be used as rootstocks. *Journal of food, Agriculture & Environment* Vol.11 (3&4):1101-1107.

Rengel, Z. (1992). The role of calcium in salt toxicity, *Plant Cell Environ.*15: 625-632.

Rivero, R.M.; Ruiz , J.M.; Romero, L. (2002). Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food, Agriculture and Environment* Vol.1: 70-74.

Rhoades, J. D. (1990). Principle effects of salts on soils and plants. Water, soil and crop management relating to the saline water. Expert consultation, AGL/MISC/16/90. FAO, Rome.

Rhoades, J.D.; Kandiah, A.; Mashali, A.M. (1992). The use of saline waters for crop production. FAO Irrigation and Drainage paper 48.

Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Rea, E.; Colla, G. (2008). Grafting of cucumber as a means to minimize copper toxicity. *Environ Exp Bot* 63: 49-58

Ruiz, J.M.; Romero, L. (1999). Nitrogen efficiency and metabolism in grafted melon plants. *Scientia Horticulturae* 81: 113-123

Shani, U.; Ben-Gal, A.; Dudley, L.M. (2005). Environmental implications of adopting a dominant factor approach to salinity management. *Journal of environmental quality*, 34(5), 1455-1460.

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

Shear, C.B. (1979). International symposium on Ca nutrition of economic crops, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10:491-501.

Tadeo, F.R.; Gómez-Cadena, A. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés. pp. 577-597. In: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España.

Tester, M.; Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany* 91, 503-527.

Torres, M., & Frutos, G. (1989). Analysis of germination curves of aged fennel seeds by mathematical models. *Environmental and Experimental Botany*, 29(3), 409-415.

Torres, M., & Frutos, G. (1990). Logistic function analysis of germination behaviour of aged fennel seeds. *Environmental and Experimental Botany*, 30(3), 383-390.

Willadino, L.; Camara, T. (2004). Origen y naturaleza de los ambientes salinos. pp. 303-300. In: M. Reigosa, N. Pedrol y A. Sánchez (eds.). *La ecofisiología vegetal, una ciencia de síntesis*. Thomson. Madrid, España.

Yetisir, H.; Çaliskan, M.E.; Soylu, S.; Sakar, M. (2006). Some physiological and growth responses of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. *Environ Exp Bot* 58: 1-8

Zhu, J.K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.* 6, 66–71.