



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio
Rural

Explotaciones Agropecuarias

**Comportamiento de variedades de almendro
(*Prunus dulcis*, (Mill.) D.A. Webb) autorradicadas en
condiciones de encharcamiento**

**Behavior of self-grafted almond varieties (*Prunus
dulcis*, (Mill.) D.A. Webb) under flooding conditions**

Autor/es

Albert Giménez Puig

Director/es

José Casanova Gascón

Clara Martí Dalmau

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2021

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas y empresas que directa o indirectamente han formado parte en la elaboración de este proyecto.

Gracias.

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1 Origen y evolución del cultivo del almendro.....	3
2.2 Taxonomía y Morfología del almendro.....	4
2.2.1 Las raíces.....	4
2.2.2 Las hojas.....	4
2.3 El almendro en España.....	5
2.4 Producción en condiciones de encharcamiento.....	7
2.4.1 Cambios anatómicos y morfológicos en Prunoideas.....	9
2.5 Justificación del proyecto.....	11
3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	12
4. MATERIAL Y MÉTODOS	14
4.1 Localización.....	14
4.2 Material vegetal.....	14
4.3 Diseño experimental.....	17
4.4 Parámetros evaluados por planta.....	19
4.5 Meteorología.....	20
4.6 Análisis estadístico.....	21
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
5.1 Respuesta al encharcamiento constante (E1).....	23
5.1.1 Índice de verdor, o índice SPAD, de las variedades inundadas constantemente.....	23
5.1.2 Conductancia estomática de las variedades sometidas a encharcamiento constante (E1).....	30
5.1.2.1 Relación de los parámetros fisiológicos con las variables ambientales en E1 y Control.....	35
5.1.3 Peso seco de las variedades sometidas a encharcamiento constante (E1).....	39
5.2 Respuesta al encharcamiento intermitente (E2).....	41
5.2.1 Índice de verdor, medida de la clorofila (SPAD) de las variedades inundadas intermitentemente (E2).....	41
5.2.1.1 Estadísticos descriptivos de las medidas SPAD, en el ensayo de encharcamiento intermitente (E2).....	45
5.2.2 Medida de la Conductancia estomática de las hojas (g) de las variedades inundadas intermitentemente (E2).....	46
5.2.2.1 Resultado de las medidas de la Conductancia estomática, en las variedades sometidas a encharcamiento intermitente E2.....	47
5.2.2.2 Correlación entre la Conductancia estomática en encharcamiento intermitente (E2) y las horas de ensayo, humedad relativa y temperatura.....	47
5.2.3 Peso Seco de las variedades sometidas a encharcamiento intermitente (E2).....	49
6. CONCLUSIONES	52

7. BIBLIOGRAFÍA 54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficie nacional en secano y regadío, dedicada a almendro (MAPA,2021).....	5
Figura 2. Mapa litológico de Aragón. J. L. Peña y M. V. Lozano (2004).....	8
Figura 3. Recinto de la EPSH en el que se realizó el estudio (visor SigPac V 3.3).....	14
Figura 4. Tratamiento Testigo de las 5 variedades y los 2 portainjertos.	15
Figura 5. Tabla de floración y maduración de las variedades autorradicadas (Agromillora Iberia, 2021).....	16
Figura 6. Contenedor para el encharcamiento de los Ensayos 1 y 2.....	18
Figura 7. Plantas 24h en recuperación Ensayo 2.....	19
Figura 8. Leaf porometer (izquierda), SPAD (derecha)	20
Figura 9. Plantas con sistema radicular limpio (izquierda), parte aérea seca (derecha)	20
Figura 10. Temperaturas medias y precipitaciones durante los días de estudio. Fuente: Oficina del regante 2019.....	21
Figura 11. Temperaturas máximas y mínimas durante los días de estudio. Fuente: Oficina del regante 2019.....	21
Figura 12. Evolución temporal de las medidas SPAD de todas las variedades, en tratamiento Testigo (T0). En unidades SPAD.	24
Figura 13. Evolución temporal SPAD de los patrones en E1, "Mirabolano" (a) y "GF677" (b). En unidades SPAD.....	25
Figura 14. Evolución temporal SPAD de variedades "Avijor" (a) y "Penta" (b) en E1. En unidades SPAD.....	25
Figura 15. Evolución temporal SPAD de variedades "Soleta" (a) y "Vialfas" (b) en E1. En unidades SPAD.....	25
Figura 16. Evolución temporal SPAD de variedad "Guara", autorradicada, en E1. En unidades SPAD.....	26
Figura 17. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Mirabolano".	31
Figura 18. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "GF677".....	31
Figura 19. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Avijor".....	32
Figura 20. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Pentacebas".	32
Figura 21. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Vialfás".	33
Figura 22. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Soleta".....	33
Figura 23. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Guara".	34
Figura 24. Gráfico de vida de las variedades de estudio durante el encharcamiento E1.	35
Figura 25. Tendencia de variedades encharcadas durante 360h y las variedades control. Peso seco de la raíz.....	39
Figura 26. Tendencia de variedades encharcadas durante 360h y las variedades control. Peso seco de la parte aérea.....	40
Figura 27. Evolución SPAD de la variedad "Mirabolano". E2 y Control. 24h inundado-24h en recuperación.....	41
Figura 28. Evolución SPAD de la variedad "GF 677". E2 y Control. 24h inundados-24h en recuperación.....	42
Figura 29. Evolución SPAD de la variedad "Avijor". E2 y Control. 24h inundadas-24h en recuperación.....	42

Figura 30. Evolución SPAD de la variedad "Guara". E2 y Control. 24h inundadas-24h en recuperación.....	43
Figura 31. Evolución SPAD de la variedad "Pentacebas". E2 y Control. 24h inundadas-24h en recuperación.....	43
Figura 32. Evolución SPAD de la variedad "Soleta". E2 y Control. 24h inundadas-24h en recuperación.....	44
Figura 33. Evolución SPAD de la variedad "Vialfas". E2 y Control. 24h inundadas- 24h en recuperación.....	44
Figura 34. Box Plot de las medidas de conductancia estomática, por variedades sometidas a encharcamiento intermitente (E2). Representando las mínimas, medias, máximas y valores atípicos.	46
Figura 35. Grafica con las medias de Conductancia estomática, 'gs', de las plantas del ensayo E2, por cada variedad y día de estudio, en el estado en que se encuentra la muestra. mmol/m ² s.....	49
Figura 36. Peso seco de la raíz de las distintas variedades para el tratamiento E2. En gramos. 50	
Figura 37. Peso seco (g) de la parte aérea en E2 (hojas + ramas).....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Previsión producción de almendra por comunidades, de 2021 en t de almendra en grano (MNFS, 2021).....	6
Tabla 2. Características agronómicas de interés en variedades autorradicadas (Agromillora, 2021).....	15
Tabla 3. Origen parental de las variedades autorradicadas.....	16
Tabla 4. Número de réplicas de cada Ensayo.....	18
Tabla 5. Valores medios del índice SPAD por variedad en tratamiento control (T0). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medidas temporales para la misma variedad ($p < 0,01$), en el momento de medición (horas).	27
Tabla 6. Comparativa de las medias SPAD por variedad y tratamiento control (T0), letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores de la misma variedad ($p < 0,01$), en el momento de medición (horas).....	27
Tabla 7. Comparativa de las medias SPAD por variedad en E1, letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores de la misma variedad ($p < 0,01$), en el momento de medición (horas).....	28
Tabla 8. Valores medios SPAD por cada variedad y tratamiento de encharcado (E1). Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades para un mismo tratamiento ($p < 0,01$).	29
Tabla 9. Efecto del encharcamiento continuado en el índice de verdor de las variedades de almendras estudiadas.....	29
Tabla 10. Matrices de correlación por cada variedad sometida a encharcamiento continuado (E1), junto con las condiciones climáticas durante el estudio.	36
Tabla 11. Matrices de correlación por cada variedad de las plantas control (E1), junto con las plantas control, y las condiciones climáticas durante el estudio.	37
Tabla 12. Matrices de correlación entre las variedades sometidas a encharcamiento continuado (E1), junto con las plantas control, y las condiciones climáticas durante el estudio.	38
Tabla 13. Estadística descriptiva de las variedades de estudio SPAD en E2.	45
Tabla 14. Estadísticos descriptivos de medidas de conductancia estomática en ensayo de recuperación E2.....	47
Tabla 15. Correlación entre las medidas de conductancia estomática (gs) a lo largo del tiempo, con respecto a la temperatura y la humedad relativa (E2).	48
Tabla 16. Correlación testigos y variedades en E2 para el tiempo, la temperatura y la H. relativa.....	48

1. RESUMEN

Tradicionalmente las plantaciones de almendro se disponían en marcos de plantación amplios con variedades injertadas sobre patrones francos o híbridos de almendro x melocotonero, dada la tendencia actual a la intensificación del cultivo en busca de un rendimiento mayor, se plantea introducir variedades de almendro autorradicadas formadas en seto, buscando una mayor densidad de plantación y marcos más estrechos. No obstante, existe un gran desconocimiento del hábito de estas variedades vegetando sobre sus propias raíces, siendo que es necesario entender el comportamiento de los cultivos bajo condiciones de estrés de cualquier tipo.

En el presente Trabajo Fin de Grado se ha estudiado el comportamiento de cinco variedades autorradicadas sometidas a diferentes periodos de encharcamiento, junto con dos portainjertos de referencia utilizados en la actualidad. Se han diseñado dos procedimientos experimentales: el primero consiste en someter a encharcamiento permanente todas las plantas estudiadas y el segundo basado en un encharcamiento intermitente cada 24 h seguido de un período de recuperación y drenaje de 24 h. Para el seguimiento del cultivo se han realizado mediciones diarias de la actividad fotosintética de las hojas durante un periodo de 15 días, a través del control de los niveles de clorofila (SPAD) y de la conductancia estomática de las variedades. En base a los resultados obtenidos, por su tolerancia al encharcamiento constante (anoxia), el patrón de ciruelo "Mirabolano" presenta un cien por cien de supervivencia sin signos de marchitez durante un periodo de, al menos 15 días, aparenta ser una buena alternativa en zonas con suelos mal drenados y pluviometrías elevadas. Las variedades "Guara" y "Soleta" parecen tener una mejor adaptación a las condiciones de encharcamiento intermitente (hipoxia), con más contenido de clorofila y una regulación estomática más homogénea. Sin embargo, serán necesarias más investigaciones sobre la acumulación de sustancias químicas y su influencia en las variedades de almendro estudiadas.

Palabras clave: Autorradicado; encharcamiento; conductancia estomática; clorofila; almendro; ciruelo; variedades; portainjertos; recuperación; drenaje.

ABSTRACT

Traditionally, almond orchards were arranged in wide plantation frames with varieties grafted on frank or hybrid almond x peach tree rootstocks, given the current trend to intensify farming in search of a higher yield, it is proposed to introduce self-grafted almond varieties formed in hedge, looking for a higher planting density and narrower frames. However, there is great lack of information about the habit of these varieties vegetating on their own roots, on top of the fact that it is necessary to understand the behavior of crops under stress conditions of any type.

In this Final Degree Project, the behavior of five self-grafted varieties subjected to different periods of waterlogging has been studied, together with two reference rootstocks currently used. Two experimental procedures have been devised: the first one consists of subjecting all the plants studied to permanent waterlogging and the second one based on intermittent waterlogging every 24 hours followed by a 24-hour recovery and drainage period. To monitor the cultivation, daily measurements of photosynthetic activity of the leaves have been carried out for a period of 15 days, through the control of chlorophyll levels (SPAD) and the stomatal conductance of the varieties. Based on the results obtained, due to its tolerance to constant waterlogging (anoxia), the "Mirabolano" plum pattern presents one hundred percent survival without signs of wilting for a period of at least 15 days, so it appears to be a good alternative, in areas with poorly drained soils and high rainfall. The varieties "Guara" and "Soleta" seem to have a better adaptation to conditions of intermittent waterlogging (hypoxia), with more chlorophyll content and a more homogeneous stomatal regulation. However, more research

will be needed on the accumulation of chemicals and their influence on the almond varieties studied.

Keywords: Self-grafted; flooding conditions; stomatal conductance; chlorophyll; almond; plum; varieties; rootstocks; recovery; drainage.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Origen y evolución del cultivo del almendro

El almendro (*Prunus dulcis*, (Mill.) D.A. Webb) es un árbol de hoja caduca, bastante longevo y de crecimiento rápido que en condiciones óptimas puede alcanzar un gran tamaño (Vargas, 2009). Se considera un árbol muy rústico en cuanto a requerimientos de suelo y agua, aunque, como es lógico, la producción está estrechamente ligada a las condiciones en las que se desarrolle el cultivo (Valero, 2015). Su sistema radicular es muy vigoroso, tiene una elevada capacidad de penetración con lo que se adapta bien a suelos pobres y secos.

Del mismo modo que otros frutales de hueso, como el melocotonero, albaricoquero y varios ciruelos, el almendro tiene su origen en las regiones montañosas de Asia central. Su expansión comienza en Afganistán, extendiéndose por toda la Cuenca Mediterránea y durante los últimos años, por todo el mundo. El proceso de domesticación de esta especie se llevó a cabo gracias a la selección natural y al manejo por parte del hombre; de modo que las plantas con caracteres desfavorables y que producían poco y mal, eran eliminadas de la plantación, mientras que las que producían más y mejor, fueron seleccionadas para su multiplicación. De esta manera se formaron poblaciones adaptadas a regiones geográficas determinadas, algunas muy tipificadas (Felipe, 2000).

Las exigencias del almendro, como las de cualquier cultivo, se pueden resumir en tres puntos importantes; Condiciones ambientales (climáticas y edáficas), material vegetal (variedades y patrones) y técnicas de cultivo (abonado, poda, manejo de plagas, marco de plantación, riego y recolección del fruto).

El injerto, a pesar de ser conocido y utilizado desde épocas remotas, no se empleó ampliamente en España, Provenza, Túnez y Apulia hasta el siglo XIX, de modo que las plantaciones originadas por la siembra de semillas son frecuentes todavía en muchas regiones productoras de los países mediterráneos (Felipe, 2000).

Actualmente los portainjertos y las variedades comerciales se adaptan a las condiciones de las diferentes zonas de producción y son ampliamente utilizados, ya que se logran rendimientos elevados y características adecuadas para el normal desarrollo del cultivo, salvando en la medida de lo posible las condiciones climáticas.

Las plantaciones bien planificadas y la aplicación de técnicas de cultivo innovadoras, pusieron de manifiesto su potencial productivo, pasando a ser un monocultivo de referencia.

El material vegetal y las técnicas de cultivo han evolucionado paralelamente, también la producción media de las plantaciones en suelos ricos, regados y sometidos a cultivo intensivo, ha llegado a ser muy elevada, superando notablemente la que se obtiene en los países tradicionalmente productores (Miarnau, *et al.* 2010). Un claro ejemplo son las plantaciones intensivas (6,5 x 4,5) plantadas en California, de las que actualmente se obtiene entre 2.000-2.500 kg de pepita/ha en plena producción, mostrando así, un incremento del 1.233% respecto al manejo agronómico tradicional de España, en plantaciones de secano marginal, donde se obtienen producciones de 150 kg de pepita/ha. Por ello, se estudia el comportamiento de las nuevas variedades mediante estudios sobre el almendro, entre ellos, nuevas técnicas de manejo y plantaciones más intensivas, tanto en secano como en regadío.

2.2 Taxonomía y Morfología del almendro

El almendro es un árbol de la familia de las rosáceas, subfamilia *Amygdaloideae* perteneciente al género *Prunus*. Es una especie con una gran variabilidad genética, las flores son hermafroditas, generalmente con cinco sépalos y cinco pétalos, un número de estambres variable y un único ovario.

El fruto del almendro es una drupa, con la parte exterior formada por el pericarpio (más o menos pubescente) y el mesocarpio (pelarza), que cuando madura el fruto, se separa del endocarpio leñoso (cáscara), dentro del cual se encuentra la semilla (parte comercial del fruto). Ésta es rica en aceite, proteínas y sales minerales. La forma y el tamaño es variable según variedades, y puede ser única o doble. El porte del árbol es muy variable, desde el tipo llorón de “Desmayo Largueta”, hasta portes más erectos como el de la variedad “Atocha” (Hernandez *et al.*, 2002).

2.2.1 Las raíces

El anclaje del árbol viene determinado por la geometría y el crecimiento radial del sistema radicular (Coutts, 2011). La raíz del almendro es pivotante en su inicio, pero posteriormente, el crecimiento de la barbada es rápido, muy ramificado y expandido, favoreciendo una alta capacidad de exploración del suelo, y que la absorción de agua y nutrientes sea muy eficiente. El volumen de suelo utilizado por el sistema radical en almendros adultos es entre 5 y 8 veces el volumen de la copa del árbol (Salazar y Melgarejo, 2002). Mediante un crecimiento geotrópico positivo las raíces de diámetros decrecientes, que buscan crecer lateralmente, de las cuales saldrán las raicillas con los pelos radiculares que son los encargados de la absorción de los nutrientes y el agua. Las raicillas nuevas son blancas, tiernas y muy ramificadas, con una vida relativamente corta (semanas o meses) si no se lignifican durante el crecimiento vegetativo (Felipe, 2000).

El sistema radicular del almendro franco y los híbridos entre almendro x melocotonero, tienden a ser los que más profundizan en el suelo (hasta 4 m), a diferencia de los ciruelos que desarrollan un sistema radicular más superficial.

La forma y disposición del sistema radicular desarrollado también está influido por el sistema de propagación (por semilla, estaquillado o *in vitro*) y la forma de realizar el trasplante, de la misma forma que dependen del patrón que se utilice y del tipo del suelo en el que se encuentren, por lo que la morfología del sistema radicular será muy heterogénea.

Una característica del sistema radicular en el almendro es que, durante su crecimiento, las raíces de árboles diferentes no se entremezclan, debido a la emisión de toxinas para las raíces competidoras (Felipe, 2000), por lo que el desarrollo de cada sistema radicular alcanza el límite cuando se encuentra con las raíces de las plantas vecinas, factor a tener en cuenta durante la replantación y en las plantaciones intensivas.

2.2.2 Las hojas

Las hojas en el almendro en general son de tipo lanceolado, largas, estrechas y puntiagudas, más pequeñas que las del melocotonero, y más planas, de color verde intenso, aunque se observan diferencias apreciables de color y longitudes de peciolo entre variedades. Los bordes son dentados y se distribuyen a lo largo de los ramos siguiendo un reparto geométrico en espiral que se denomina filotaxia. El índice de filotaxia es de 2/5; el numerador indica el número de giros que debe dar la espiral para encontrar dos yemas sobre la misma línea recta longitudinal del ramo y el denominador indica el número de yemas intermedias en el tramo

espiral. El almendro, posee hojas hipoestomáticas, con estomas distribuidos en la cara abaxial (envés de la hoja), los *Prunus*, al igual que todas las plantas, en momentos de elevada evapotranspiración cerrarán los estomas para evitar la desecación (Esau, 1977).

2.3 El almendro en España

El almendro, junto con el olivo y la vid, se ha considerado durante mucho tiempo como prototipo del cultivo leñoso extensivo de la cuenca mediterránea y también como cultivos de referencia con resistencia a la sequía. Actualmente el almendro ocupa el tercer puesto en superficie nacional total con 650.000 ha ocupadas en total (figura 1).

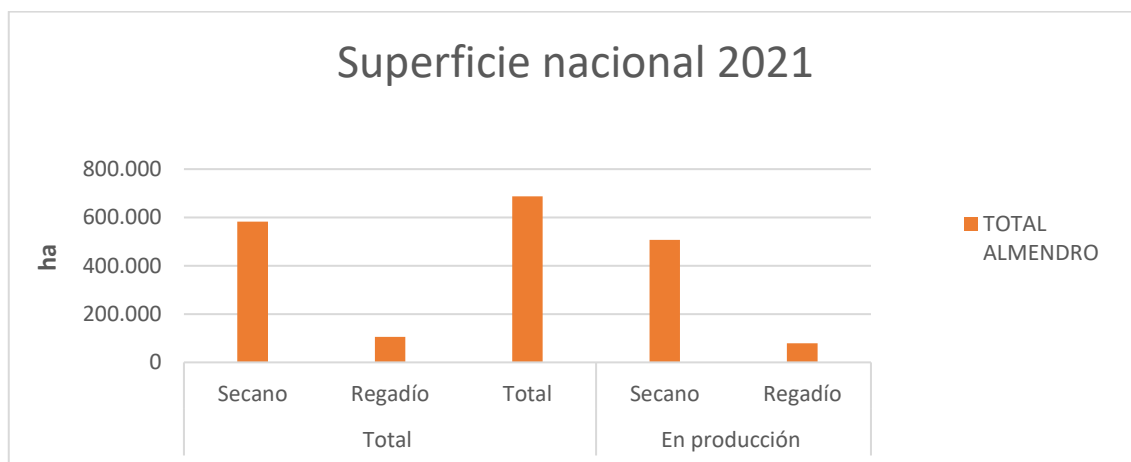


Figura 1. Superficie nacional en secano y regadío, dedicada a almendro (MAPA, 2021)

El cultivo del almendro se estableció tradicionalmente en secanos, muchas veces marginales, en gran parte del Este y Sur de nuestro país, desde Cataluña hasta Andalucía, en numerosas ocasiones próximo al mar y en zonas libres de heladas. Desde finales del siglo XIX y debido a la crisis agrícola, el cultivo también se ha extendido a zonas del interior más sensibles a las heladas, ya sean precoces o tardías.

A pesar de ser un cultivo tradicional y difundido, debido a considerarse en algunos territorios un producto marginal, su manejo agronómico es muy heterogéneo, dando lugar a producciones bajas en la mayor parte de zonas cultivadas, debido a:

- Alto envejecimiento de las plantaciones.
- Falta de variedades seleccionadas adaptadas a las zonas de cultivo de la cuenca mediterránea
- Problemas de polinización debido a variedades establecidas autoincompatibles.
- Sensibilidad a las heladas tardías a causa de las floraciones normalmente precoces o de media estación.
- Falta de mecanización, tanto de poda como en manejo de la explotación y especialmente en recolección del fruto.
- Falta de estudios sobre requerimientos nutritivos reales de las distintas variedades de almendro y características de adecuación de patrones al tipo de suelos y clima de la zona.

Para solventar estos problemas en el cultivo se emprendieron numerosos estudios para adaptarse a los requerimientos productivos del territorio nacional (temperaturas, época de heladas, tipo de suelo, necesidades hídricas). Dichos estudios fueron llevados a cabo por diferentes centros de investigación de todo el país: el CITA de Aragón, el IRTA de Cataluña, el

CEBAS-CSIC de Murcia, conjuntamente a empresas privadas que promueven la investigación en este campo. La obtención de nuevas variedades por los centros mencionados se centra en la autofertilidad, la floración tardía y la adaptación al medio.

Además, según la tendencia actual, otros estudios están orientados a producir de la manera más sostenible posible, abaratar costes de producción y aumentar el rendimiento del cultivo, adaptándose a las condiciones edafoclimáticas.

Actualmente Aragón juega un papel importante tanto en investigación como en producción, ya que se posiciona tercero en la lista de comunidades autónomas productoras de almendra, con previsiones de 10.506 toneladas de almendra en grano para 2021, encabezada por Andalucía con una producción creciente los últimos años alcanzando las 33.800 t y en segundo lugar Castilla la Mancha, con 11.015 t en grano (tabla 1).

Tabla 1. Previsión producción de almendra por comunidades, de 2021 en t de almendra en grano (MNFS, 2021).

Comunidad Autónoma	Superficie Productiva (ha)	Previsión 2021 (t grano)
Andalucía	131.449 (5,35% > 2020)	33.800 (13,42% > 2020)
Aragón	66.611 (7,57% > 2020)	10.506 (36,53 % < 2020)
Baleares	10.676 (12,61% < 2020)	500 (50% < 2020)
Castilla la Mancha	102.633 (18,83% > 2020)	11.015 (48,71% < 2020)
Cataluña	30.144 (2,61% > 2020)	4.067 (36% < 2020)
La Rioja	5.191 (5,14% > 2020)	534 (34% < 2020)
Murcia	69,957 (5,14% > 2020)	9.200 (16,5% > 2020)
Comunidad Valenciana	57.031 (4,52% > 2020)	9.525 (33,4% > 2020)
Extremadura	6.267 (19,2% > 2020)	4.051 (19,15% > 2020)
Resto	4.267 (9,4% > 2020)	850 (13,94% > 2020)
TOTAL	483.518 (7,56% > 2020)	84.048 (12% < 2020)

La producción en toneladas de grano en la campaña 2019-2020 se estimaba un 2% superior a la pasada y un 19% superior a la media de los últimos años, por lo que se prevé en el futuro una tendencia al alza en producción y rendimiento en la mayoría de las comunidades productoras de almendra en España. En la campaña 2020-2021, la estimación de producción nacional se ha hecho basándose en datos de declaraciones PAC y registro REGIPA, obviando más de 125.000 ha de almendro en formación, por eso los datos obtenidos no se pueden comparar con los de campañas pasadas (Mesa Nacional de Frutos Secos 2020), sin embargo, para la previsión de la campaña actual 2021-22 la producción ha disminuido un 12% con respecto a la pasada, a pesar de que la superficie total ha aumentado un 7,56% en comparación al 2020-21. Esta merma es debida a las fuertes heladas que afectaron a las distintas variedades en las principales zonas productoras de la mitad Norte peninsular.

2.4 Producción en condiciones de encharcamiento.

Los episodios de inundación se producen en ecosistemas naturalmente anegables y en sistemas de producción agrícola debido a precipitaciones excesivas, desborde de cursos de agua, acumulaciones naturales de agua por escorrentía, presencia de horizontes poco permeables en el suelo y/o de un mal manejo de los recursos hídricos (Blom y Voesenek 1996, Dat *et al.* 2006, Li *et al.* 2015). Éstos suelen ocurrir de forma inesperada, con intensidad y frecuencia variables. En las últimas seis décadas, estos incidentes han incrementado su frecuencia e intensidad, y se espera que esta tendencia aumente en el futuro (Dong *et al.* 2017) en consonancia con el cambio climático global (Alpert *et al.* 2002). Esto impacta de forma negativa sobre la producción agropecuaria (Reilly *et al.* 2003) y por lo tanto sobre la capacidad de producción de alimentos (McCarthy *et al.* 2001). La inundación se puede definir como la ocupación por agua de la totalidad de los poros del suelo, produciéndose una acumulación hídrica que no se infiltra ni drena. Es en este momento, cuando las plantas y los microorganismos del suelo absorben rápidamente el O₂ diluido restante en capas edáficas superficiales (Ponnamperuma, 1984), creando un ambiente de hipoxia (los niveles de oxígeno limitan la respiración mitocondrial) y posteriormente de anoxia (la respiración queda completamente inhibida por falta de oxígeno) (Blom y Voesenek, 1996). Por tanto, la primera limitación para el crecimiento de las plantas es la falta inmediata de oxígeno necesario para mantener la respiración de los tejidos sumergidos (Armstrong, 1979; Ponnamperuma, 1984; Vartapetian y Jackson, 1997; Voesenek *et al.*, 2004).

A medida que aumenta el tiempo de encharcamiento, aparece un segundo problema asociado al exceso de agua, la disminución del potencial redox del suelo. En esta nueva situación, aparecen compuestos potencialmente tóxicos como los sulfuros, Fe y Mn solubles, etanol y ácido láctico (Kozlowski, 1997; Fiedler *et al.*, 2007).

También la textura y la estructura del suelo afectan a la capacidad de infiltración, por lo que es un factor que favorecerá la presencia de episodios de encharcamiento. Así, los suelos aragoneses desarrollados sobre materiales con un tamaño de grano fino (figura 2) suelen presentar baja capacidad de infiltración y drenaje, por lo que son más susceptibles de sufrir encharcamiento (Jackson 2004, Kijne 2006, Holzapfel *et al.* 2009).

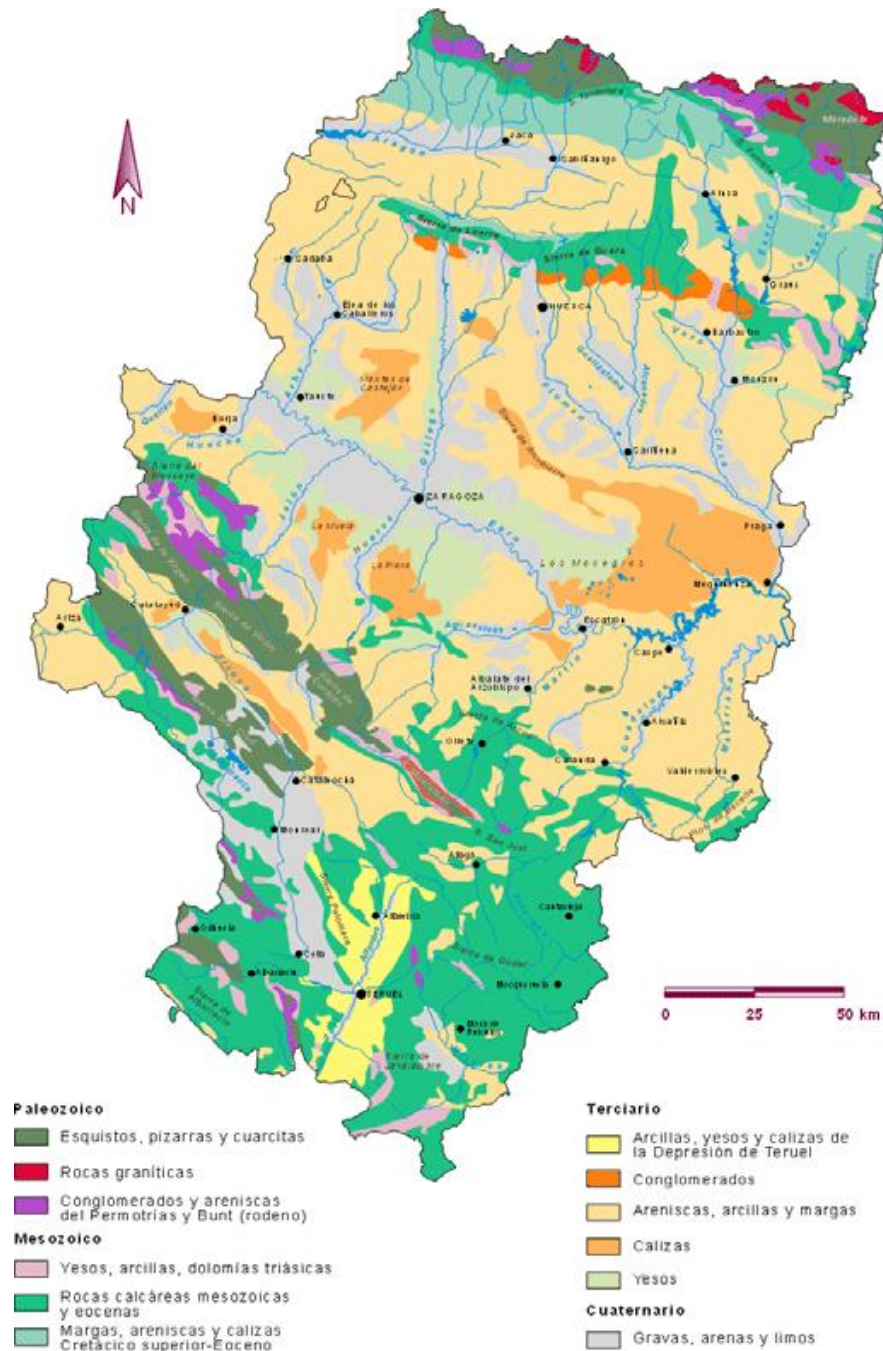


Figura 2. Mapa litológico de Aragón. J. L. Peña y M. V. Lozano (2004).

La producción mundial de fruta se basa en el uso de variedades comerciales de interés para la zona productora, injertadas sobre patrones con características diferenciadas (Reighard y Loreti 2008). Por tanto, son importantes los estudios que destacan la influencia del portainjerto sobre las relaciones hídricas, el intercambio gaseoso, la absorción de nutrientes, el tamaño de la planta, la floración, el rendimiento y el vigor del árbol (Albas *et al.* 2004, Zarrouk *et al.* 2005, Yahmed *et al.* 2013, Morandi *et al.* 2019).

En árboles frutales, la tolerancia a la deficiencia de oxígeno en el suelo está determinada por las raíces, por lo que tanto la época como la duración en que se producen dichos episodios tiene una alta relevancia, ya que cuando el árbol está en dormición durante el invierno, la tasa de difusión de oxígeno es más lenta, por lo que el árbol sufre consecuencias poco perjudiciales, sin embargo, durante las épocas activas del árbol, por ejemplo en primavera, cuando las

temperaturas son más altas, las especies que son susceptibles a encharcado sufren, tras un periodo breve de tiempo (24h), severos daños ocasionados por anoxia (Ziegler *et al.*, 2017).

2.4.1 Cambios anatómicos y morfológicos en *Prunoideas*

El encharcamiento del suelo inhibe el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, principalmente a causa de las condiciones de hipoxia radicular que altera varios procesos fisiológicos como la expresión génica, el consumo energético, el metabolismo celular y el crecimiento y desarrollo (Ismond *et al.*, 2003; Bailey-Serres y Chang, 2005; Licausi *et al.*, 2010). Una de las respuestas de las plantas frente a estas condiciones ambientales es la obtención de energía metabólica a partir de la glucólisis fermentativa en lugar de obtenerla de la respiración oxidativa (Kumutha *et al.*, 2008; Ismail *et al.*, 2009; Capon *et al.*, 2009). En el metabolismo vegetal, hay tres vías fermentativas para obtener la energía en condiciones de encharcamiento, pero la fermentación alcohólica se considera el productor principal de energía en estas condiciones (Agarwal y Grover, 2006). Ésta es una ruta metabólica que puede dividirse en dos etapas, en la primera el piruvato sufre una descarboxilación y se convierte en acetaldehído y en la segunda éste se convierte en etanol con la reducción de una molécula de NADH. Los productos del metabolismo anaeróbico, como lactato, acetaldehído y etanol, no se consideran productos naturales de la planta, por lo que su presencia, indica una alteración importante de su metabolismo respiratorio (Pinheiro *et al.*, 2007). También se producen cambios fisiológicos en las hojas, como el cierre estomático, la reducción de la tasa fotosintética y el potencial hídrico (Wong *et al.*, 1979; Bradford y Hsiao, 1982; Kozłowski, 1982; Larson *et al.*, 1991; Chen *et al.*, 2005; Parent *et al.*, 2008; Hossain *et al.*, 2009). En un suelo saturado de agua, las zonas terminales de las raíces mueren en un lapso de dos a cuatro días (Fischer y Orduz-Rodríguez, 2012). Cuando la saturación es más prolongada, van dañándose mayor número de raíces y sus efectos son apreciables en la parte aérea de los árboles en forma de clorosis y marchitamiento de hojas. Los efectos son más rápidos y graves cuando las temperaturas son elevadas. La respiración radical depende de diversos factores tales como la temperatura (Rachmilevitch *et al.*, 2006), salinidad (Bernstein *et al.*, 2013), metales pesados, estrés hídrico (Jiménez *et al.*, 2013) y saturación del espacio poroso (Liao y Lin, 2001), pero el factor que tiene la relación más directa es la disponibilidad de O₂, que permite o no el proceso respiratorio, convirtiéndose en un factor limitante tanto en suelo como en sustratos (Urrestarazu y Mazuela, 2005; Fagerstedt *et al.*, 2013).

La respuesta de las plantas al encharcamiento también supone adaptaciones morfológicas, como el aerénquima radicular, conjunto de canales que conectan las partes oxigenadas de la planta con las que están sumergidas para favorecer la difusión del oxígeno y la salida de sustancias tóxicas producidas por el metabolismo anaeróbico (Armstrong, 1979), así mismo es posible que se formen abultamientos de tejidos en la base de los tallos resultantes de la división y expansión celular radial, como una adaptación a la falta de oxígeno que se denominan lenticelas hipertrofiadas (Colin-Belgrand *et al.*, 1991) o bien que proliferen raíces adventicias (McDonald *et al.*, 2002). Las lenticelas y/o el aerénquima radicular favorecen la difusión del oxígeno a la rizosfera, sin embargo, no hay evidencias de la presencia de estas adaptaciones en especies de *Prunus* utilizadas como portainjertos, a diferencia de algunas especies de rosáceas como *Pyrus communis* (peral) y *Cydonia oblonga* (membrillero), que sí han desarrollado lenticelas hipertrofiadas bajo condiciones de encharcamiento (Kozłowski, 1997).

Cuando se mantiene una planta parcialmente sumergida, esta se adapta desarrollando raíces adventicias para hacer frente al estrés ocasionado. Las raíces adventicias se producen en el sistema radicular original y en la parte sumergida de los tallos de las plantas. Estas raíces

inducidas por la inundación reemplazan al sistema radicular original y suelen ser más gruesas y tienen más espacios intercelulares llenos de gas que las raíces originadas en suelos bien aireados (Kozłowski, 1997).

El género *Prunus* es considerado poco tolerante a la asfixia radicular, en comparación con otras especies frutales de clima templado (Andersen *et al.* 1984). Sin embargo, existen algunas excepciones dentro del género, como el ciruelo mirabolano (*Prunus cerasifera*; EHRH.) y el ciruelo europeo (*Prunus domestica*; L.) que son considerados tolerantes al encharcamiento (Ranney 1994).

Además, en el género *Prunus*, Gur y Blum (1973) indicaron que, bajo condiciones de asfixia radicular, las propias raíces producen sustancias tóxicas para la planta. Por otra parte, especificaron que la incompatibilidad de injerto variedad-portainjerto en las combinaciones de pera/membrillo y melocotón/almendra se debió a las sustancias tóxicas liberadas por la hidrólisis de prunasina cerca de las uniones de injerto, por lo que en los *Prunus* intervienen sustancias perjudiciales producidas por la propia planta en condiciones de ausencia de respiración aeróbica y por incompatibilidad injerto-patrón. Los estudios de Rowe y Catlin (1971) indicaron que la cianogénesis producida por las raíces (ácido cianhídrico), causada por inhibidores respiratorios y otras sustancias químicas, estaba involucrada en la tolerancia de las raíces al encharcamiento.

Domingo *et al.* (2002), estudiaron las respuestas fisiológicas de plantas de albaricoque (*Prunus armeniaca*, C. Linneo) injertadas en dos patrones a condiciones de inundación (ciruelo "Pollizo" y Albaricoque RF) concluyendo que los mecanismos de estos *Prunus* para hacer frente a las condiciones de anoxia (ausencia total de oxígeno) eran similares y se basaban en la regulación estomática temprana, sin embargo, el patrón sensible acabó marchitándose a los 6 días de encharcado. La variabilidad de las respuestas de la raíz a la hipoxia (bajo contenido en oxígeno) entre las especies de *Prunus* y sus híbridos sugiere que se han desarrollado diferentes estrategias para hacer frente a este estrés. Sin embargo, las bases fisiológicas, anatómicas y morfológicas de tales respuestas en estas especies no han sido bien estudiadas.

Existen algunos estudios en *Prunus* sobre la relación entre tolerancia a la hipoxia radicular, cambios fisiológicos y parámetros bioquímicos en condiciones de encharcamiento (Domingo *et al.*, 2002; Rubio-Cabetas *et al.*, 2011; Amador *et al.*, 2012; Pistelli *et al.*, 2012; Lacona *et al.*, 2013; Pimentel *et al.*, 2014). La mayoría demuestran que los patrones clasificados como tolerantes, presentan una disminución de la conductancia estomática bajo condiciones de encharcamiento, sin embargo, los patrones clasificados como sensibles mostraban una reducción de la conductancia estomática mucho más drástica a los pocos días de empezar los experimentos.

Los comportamientos bioquímicos en la raíz bajo condiciones de anoxia también han sido objeto de estudio (Domingo *et al.*, 2002; Yin *et al.*, 2009; Pimentel *et al.*, 2014), sin embargo, al no haber realizado esta práctica en nuestro estudio con variedades autorradicadas de almendro, nos centraremos en otros aspectos también importantes.

2.5 Justificación del proyecto

El almendro (*Prunus dulcis*; (Mill.) D.A.Webb), tradicionalmente se injertaba en un patrón franco de *Prunus dulcis* var. *amara* (no consumible por su contenido tóxico en amigdalina), es decir que se usaba como patrón franco el almendro amargo para injertar sobre él variedades dulces de almendro. Esta práctica se lleva a cabo por las tolerancias/resistencias que ofrece el pie de almendro amargo en secano. Sin embargo, actualmente este cultivo ya no queda limitado solo a zonas costeras, sino que también se lleva a cabo en zonas del interior peninsular, donde las condiciones climáticas son más severas y limitadas para el cultivo del almendro. Por este motivo, desde hace años, se han llevado a cabo numerosos estudios con la finalidad de optimizar las explotaciones en dichas zonas, utilizando patrones más resistentes o tolerantes a la asfixia radicular, nematodos del suelo o salinidad. Por ejemplo, el melocotonero franco, puede ser empleado como patrón de almendro en cultivos de regadío, siendo en California el patrón de más amplia utilización (Hartman y Kester, 1975). No obstante, cuando las condiciones del suelo son desfavorables para la utilización del melocotonero, ocasionalmente se emplean ciruelos como patrón. Entre ellos, el que menos puede afectar al vigor del árbol injertado a la vez que presenta alta tolerancia a la asfixia radicular, es el ciruelo mirabolano *Prunus cerasifera*. También es necesario comentar que se utilizan híbridos de almendro x melocotonero como patrón de almendro por su mejor adaptación a suelos secos. Por ejemplo, el patrón híbrido “GF 677” (vigoroso, tolera suelos calizos y clorosis férrica, sensible a nematodos, tolerancia media a la asfixia radicular y la sequía) y “Garnem” (vigoroso, resistente a caliza, clorosis y nematodos, sensible a la asfixia radicular) (Espada, 2000).

En los últimos tiempos se está produciendo una gran revolución en el cultivo del almendro ya que se propone realizar plantaciones superintensivas en secanos frescos y con variedades autorradicadas, es decir, vegetando sobre sus propias raíces, sin injertar. Se busca una intensificación de la densidad de plantación (4 x 1,5) para aumentar el rendimiento del cultivo por hectárea. La plantación de variedades autoenraizadas, permite aumentar el número de árboles/ha (superintensivo en seto), reduciendo costes de producción de almendra y manejo en viveros (eliminando el injerto).

La motivación de este trabajo es determinar una alternativa productiva para adaptarse a la demanda creciente de la almendra, ya que los ensayos y parcelas demostrativas de plantaciones de almendro superintensivo en seto se iniciaron en el año 2017. La superficie total, al final del invierno 2021, es de apenas 110 ha, mayoritariamente de fincas comerciales. Las variedades introducidas son “Avijor”, “Guara”, “Soleta”, “Penta” y más recientemente “Vialfas”, todas ellas autofértiles y de floración tardía.

El desconocimiento del comportamiento de estas variedades autorradicadas en campo motiva la realización de este trabajo, para ayudar a determinar la respuesta varietal en condiciones de hipoxia y anoxia, causadas, entre otros, por roturas de sistemas de riego, suelos con mal drenaje, lluvias torrenciales sobre suelos arcillosos y en las riberas por desbordamiento de cauces. Justificamos así la necesidad de elaborar este estudio para dar respuesta a los objetivos propuestos a continuación y también a los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU para 2030.

3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

El objetivo general del presente trabajo es: evaluar el comportamiento fisiológico, en condiciones de encharcamiento, durante 15 días, de cinco variedades autorradicadas de almendro (“Soleta”, “Guara”, “Pentacebas”, “Vialfas” y “Avijor”) junto con dos patrones de referencia, ampliamente utilizados en explotaciones de almendro (“GF677” y “Ciruelo Mirabolano” *Prunus cerasifera*; Ehrh.)

Los objetivos específicos del presente estudio son:

- Evaluar la conductancia estomática y el índice de verdor, en las variedades de autorradicadas almendro y patrones de referencia, sometidas a condiciones de encharcamiento permanente e intermitente.
- Estudiar la influencia de las condiciones de encharcamiento sobre el proceso fotosintético de dichas variedades y patrones.
- Evaluar las consecuencias de las condiciones de encharcamiento en la biomasa aérea y radicular de las diferentes variedades y patrones.
- Determinar cuál es la alternativa productiva más adecuada en función de los resultados obtenidos (Patrones/variedades autorradicadas).

Para justificar la contribución del Trabajo Fin de Grado a la promoción del desarrollo sostenible en cualquiera de sus vertientes, en el marco de la Agenda 2030 de la ONU. Se detallan a continuación los objetivos de promoción al desarrollo sostenible según normativa (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>):

2. Hambre cero

- **2.3** Para 2030, duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala, en particular las mujeres, los pueblos indígenas, los agricultores familiares, los pastores y los pescadores, entre otras cosas mediante un acceso seguro y equitativo a las tierras, a otros recursos de producción e insumos, conocimientos, servicios financieros, mercados y oportunidades para la generación de valor añadido y empleos no agrícolas.
- **2.4** Para 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra.
- **2.a** Aumentar las inversiones, incluso mediante una mayor cooperación internacional, en la infraestructura rural, la investigación agrícola y los servicios de extensión, el desarrollo tecnológico y los bancos de genes de plantas y ganado a fin de mejorar la capacidad de producción agrícola en los países en desarrollo, en particular en los países menos adelantados.

12. Producción y consumo responsables

- **12.3** De aquí a 2030, reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de

alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Localización

El estudio se ha realizado en la Escuela Politécnica Superior de Huesca (figura 3), situada en el campus de Huesca, a unos tres kilómetros a las afueras de la ciudad.

Las coordenadas del lugar de estudio son:

- Latitud: 42° 7' 7.06" N
- Longitud: 0° 26' 49.14" W

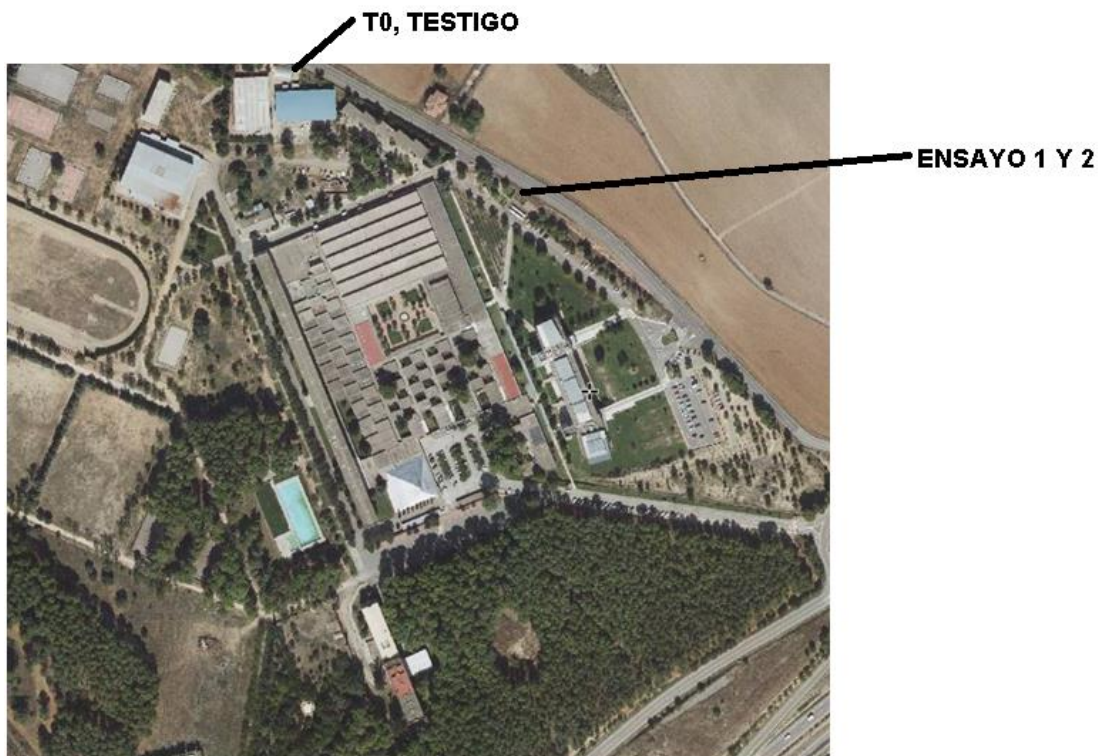


Figura 3. Recinto de la EPSH en el que se realizó el estudio (visor SigPac V 3.3)

4.2 Material vegetal

Para la realización del estudio se emplearon cinco variedades propagadas *in vitro* y autorradicadas de almendro, procedentes de un vivero especializado (Agromillora Iberia S.L.), junto con dos patrones ampliamente usados actualmente (figura 4). Todos los árboles eran de un año de edad y se plantaron en maceta de 3,5 L de capacidad con mezcla de suelo y turba, libres de patógenos y enfermedades.

- Variedades autorradicadas: “Soleta”, “Guara”, “Pentacebas”, “Vialfas” y “Avijor”.
- Patrones de referencia: Híbrido “GF 677” y “Ciruelo mirabolano 29 C”.








Figura 4. Tratamiento Testigo de las 5 variedades y los 2 portainjertos.

Las características agronómicas de interés de cada variedad, según el catálogo de Agromillora Iberia S.L. (2021), son las siguientes (figura 5, tablas 2 y 3):

- Variedades autorradicadas propagadas ‘*in vitro*’:

Tabla 2. Características agronómicas de interés en variedades autorradicadas (Agromillora, 2021)

Variedad	Morfología Cáscara	Vigor	Ramificación	Floración	Fertilidad
“Soleta”		Medio	Medio	Tardía	Autofértil
“Guara”		Medio	Baja	Tardía	Autofértil
“Avijor”		Medio	Media	Tardía	Autofértil
“Pentacebas”		Medio	Alta	Extra-tardía	Autofértil
“Vialfas”		Medio	Media	Extra-tardía	Autofértil

El origen genético parental de dichas variedades se establece de la siguiente manera:

Tabla 3. Origen parental de las variedades autorradicadas

Variedad	Parentesco	Origen
“Soleta”	“Blanquerna” x “Belle d’Aurons”	Siglas selección: F-4-10. Clon: 503.
“Guara”	Desconocido	Selección CITA Aragón
“Avijor”	“Ferragnès” x “Tuono”	Selección INRA, Francia
“Pentacebas”	“S5133” x “Lauranne”	Selección CEBAS-CSIC, Murcia
“Vialfas”	“Felisia” x “Bertina”	Siglas selección: I-3-27. Clon: 546.

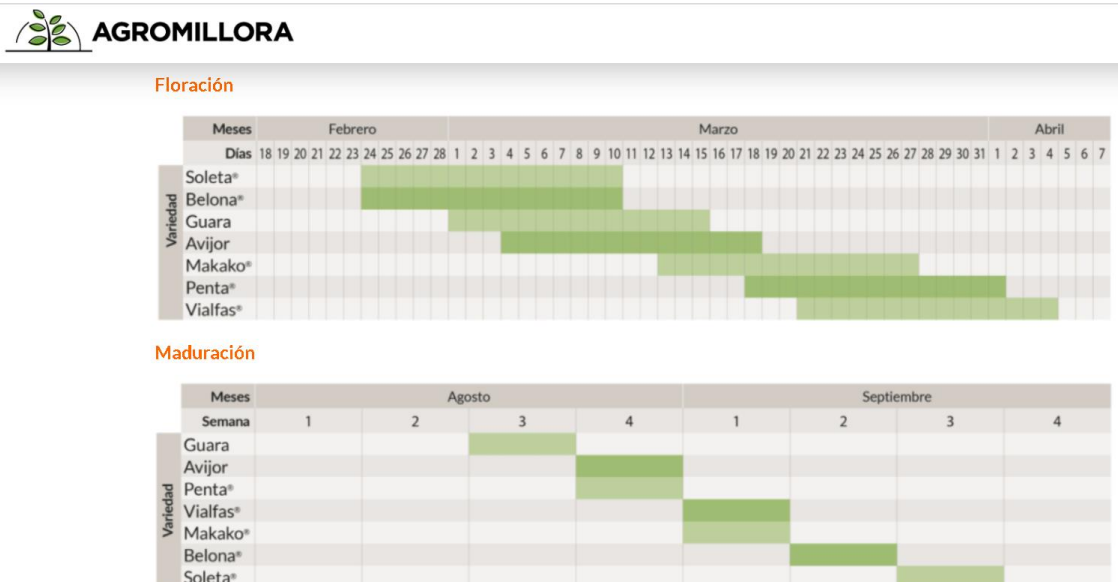


Figura 5. Tabla de floración y maduración de las variedades autorradicadas (Agromillora Iberia, 2021)

- Patrones de referencia empleados en el ensayo:

“GF 677”

- **Información general:** Híbrido de *Prunus amygdalus* x *Prunus persica*, obtención procedente del INRA de Francia.
- **Características agronómicas:**
 - Método de propagación: Bien para estaquillado leñoso y herbáceo, también *in vitro*.
 - Facilidad propagación: Muy buena *in vitro*.
 - Vigor: Vigor muy alto, induce vigor a la variedad del 10 al 15%.
 - Compatibilidad: Buena con variedades de melocotonero, nectarina y almendro.
 - Serpeo: No.
 - Otras: Retarda la maduración, se adapta a suelos pobres y con altos niveles de caliza activa.
- **Resistencias y/o tolerancias:**
 - Sequía: Se adapta a bajas disponibilidades hídricas
 - Asfixia: Sensible, especialmente en otoño
 - Salinidad: Moderadamente tolerante

- Clorosis férrica: Muy tolerante hasta un 20% de caliza
- Nematodos agalladores: Sensible
- Nematodos lesionadores: Sensible
- “*Agrobacterium*”: Sensible
- “*Armillaria*”: Sensible
- “*Rosellinia*”: Sensible

“Ciruelo Mirabolano 29 C”:

- Es una selección de Mirabolano (*Prunus cerasifera* Ehrh) procedente de California.
- Es el patrón más utilizado para variedades modernas de albaricoque, siendo compatible también con ciruelo.
- Confiere un alto vigor, es resistente a nematodos agalladores.
- Moderadamente resistente a *Agrobacterium* y *Armillaria*.
- Presenta una buena adaptación a terrenos húmedos y no muy fértiles.

4.3 Diseño experimental

Se han planteado dos ensayos de campo (en contenedor) aleatorios de dos factores cada uno (variedad x encharcamiento) y (variedad x persistencia del encharcamiento):

- Ensayo 1: Análisis de la respuesta del almendro a condiciones de encharcamiento permanente. Se utilizaron árboles de las 5 variedades autorradicadas y los 2 patrones, mantenidos en condiciones de encharcado constantes durante 15 días (figura 6).
- Ensayo 2: Análisis de la respuesta del almendro a condiciones de encharcamiento ocasional. Se utilizaron árboles de las 5 variedades autorradicadas y los 2 patrones, en condiciones de encharcado intermitente, es decir, 24h inundadas con el nivel freático dos centímetros por encima de la parte superficial de la maceta y 24h en recuperación fuera del agua y sin riego (figura 7). Se evaluó el comportamiento de los árboles durante un período de inundación temporal y un periodo de recuperación.
- En ambos ensayos se compararon los resultados con el tratamiento testigo: Árboles de las 5 variedades autorradicadas y los 2 patrones, con riego por goteo y sin ningún estrés simulado. Se toma este tratamiento testigo (T0) como el de referencia en condiciones de ausencia de estrés.

Se han evaluado siete variedades¹ y la totalidad del número de réplicas es la que se muestra en siguiente tabla (tabla 4).

¹ A partir de ahora nos referiremos a las 5 variedades y los 2 patrones empleados en el estudio como variedades, en conjunto.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 4. Número de réplicas de cada Ensayo

VARIETADES	TESTIGO	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Soleta	23	24	21
Guara	23	24	21
Avijor	23	24	21
Pentacebas	23	24	21
Vialfas	7	10	7
GF 677	7	8	7
Mirabolano 29 C	7	10	7

El estudio se realizó en el espacio destinado para huertos ecológicos del recinto de la Escuela politécnica Superior de Huesca. Para simular condiciones de inundación, se recubrió un área de 16m² con un plástico impermeable que evita la percolación y se mantuvo el nivel freático dos centímetros por encima de la parte superficial de la maceta, hasta sumergir la totalidad de los árboles de un año de edad para el ensayo de encharcamiento intermitente (E2) (figura 7) y el de encharcamiento constante (E1) (figura 6).

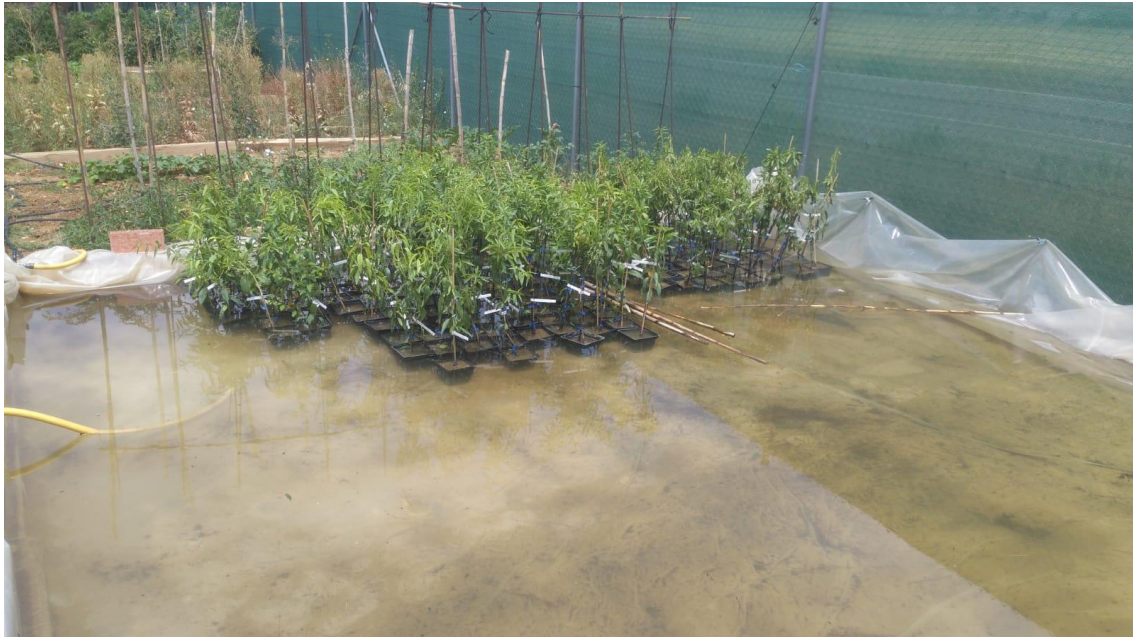


Figura 6. Contenedor para el encharcamiento de los Ensayos 1 y 2.



Figura 7. Plantas 24h en recuperación Ensayo 2.

4.4 Parámetros evaluados por planta

- Índice de verdor o índice SPAD: Medida no destructiva que permite estimar el contenido de clorofila en hoja (unidades SPAD), parámetro indicativo de estrés. Diariamente se realizaron 3 mediciones por planta, en hojas diferentes y bien desarrolladas, siempre a la misma hora. Utilizamos el SPAD-502Plus de Minolta (figura 8).
- Conductancia Estomática (g): Se evaluó con un Porómetro de Hoja, usando la técnica del Estado Estacionario (medida no destructiva). Esta técnica mide ($\text{mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$) la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja, de esta manera se puede conocer la transpiración de la planta bajo diferentes condiciones de estrés. Se realizaron dos mediciones de hoja por planta, siempre a la misma hora. Utilizaremos el "Leaf Porometer" de la marca Decagon (figura 8).
- Peso fresco - Peso seco: Después de determinar el momento de la muerte de la planta por asfixia, se extrajo de la maceta y se limpió cuidadosamente el sistema radicular de tierra e impurezas (figura 9), acto seguido se separó la planta en dos submuestras una para secar en estufa a 80°C , y otra para congelar. La muestra para secar estaba formada por la parte del sistema radicular hasta la base del tallo (sin la parte joven) y la parte aérea del árbol cortada en trozos manipulables. En cuanto a la muestra para congelar (que servirá para otras investigaciones), estaba constituida por la parte más joven del sistema radicular y una muestra significativa de varias hojas. Pesamos las muestras por separado identificándolas como peso fresco antes de la estufa y peso seco después de la estufa a 80°C . Este procedimiento se llevó a cabo para los dos ensayos (E1 y E2) así como para los controles.

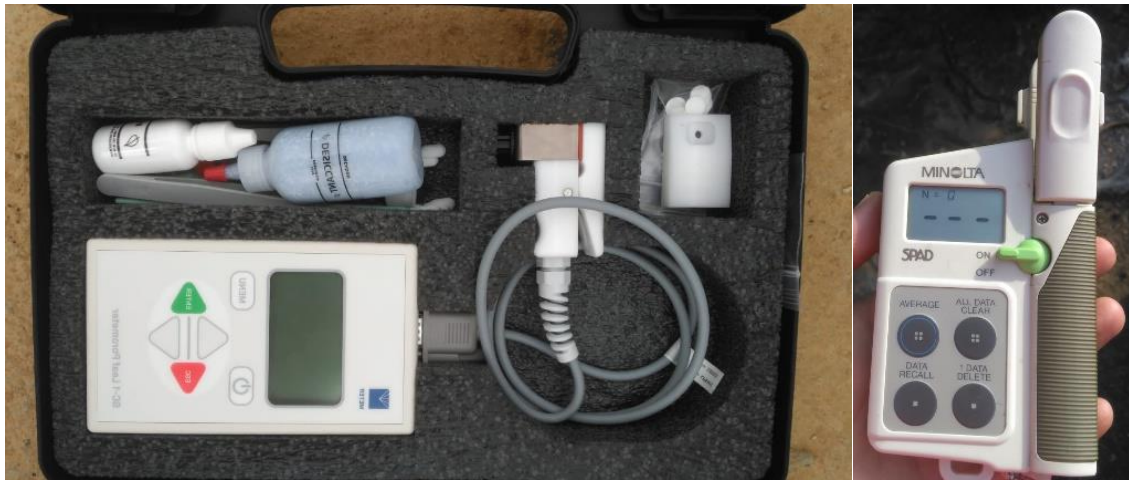


Figura 8. Leaf porometer (izquierda), SPAD (derecha)



Figura 9. Plantas con sistema radicular limpio (izquierda), parte aérea seca (derecha)

4.5 Meteorología

Se recoge a continuación la serie de acontecimientos meteorológicos, desde el 08/07/2019 hasta 27/07/2019, elaboramos el siguiente climograma durante las fechas de estudio mencionadas. En la figura 10 se representa la evolución de la temperatura media diaria y la precipitación total diaria durante el periodo de estudio, observamos que hay presencia de lluvias en los días de estudio 1, 2, 7 y 19 (figura 10), junto con temperaturas medias que oscilan entre 20 y 30°C. Haciendo referencia a las temperaturas máximas durante el estudio, se obtuvieron valores de 41°C, durante los días 16 y 17 del estudio, a su vez, temperaturas mínimas de 12°C en los días 3 y 9 de estudio (figura 11).

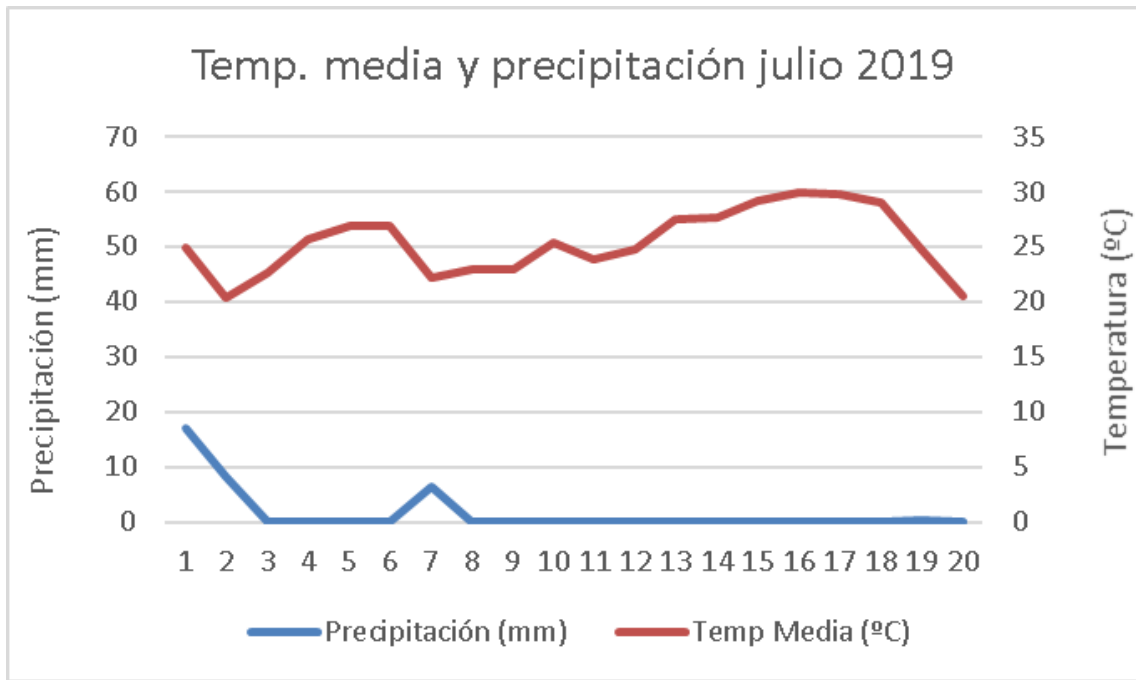


Figura 10. Temperaturas medias y precipitaciones durante los días de estudio. Fuente: Oficina del regante 2019.

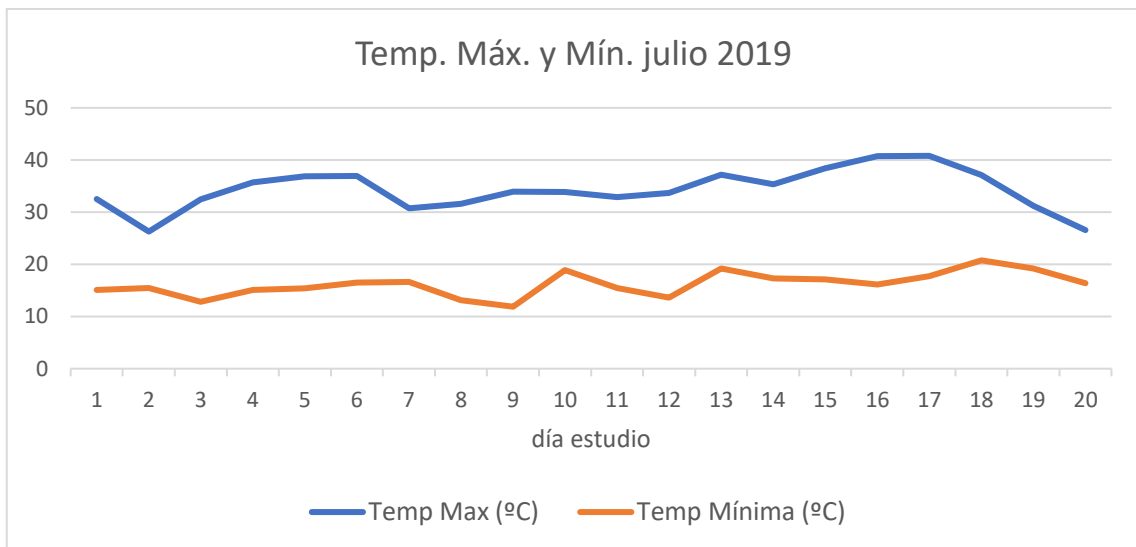


Figura 11. Temperaturas máximas y mínimas durante los días de estudio. Fuente: Oficina del regante 2019

4.6 Análisis estadístico

A continuación, se detallan los procedimientos de los análisis estadísticos realizados para la interpretación de los datos obtenidos mediante software "XLSTAT v2016":

- Análisis de la varianza (ANOVA), test estadístico que empleamos para comparar las medias de dos o más grupos. Una vez obtenidos los resultados, si se detectan diferencias significativas entre las variedades para las variables analizadas se aplica el test de Tukey de separación de medias.

- Test de Friedman, empleado cuando los datos obtenidos no siguen las restricciones de normalidad. Método no paramétrico equivalente a la prueba de ANOVA para medidas repetidas, seguidamente de la interpretación de los resultados a través de las comparaciones múltiples por pares del procedimiento de Nemenyi (prueba bilateral), en la que se comparan por grupos de dos el estudio de las varianzas.
- Para el estudio de la dependencia lineal, entre dos variables cuantitativas continuas, se ha empleado el coeficiente de correlación de Pearson para medir el grado de relación de esas dos variables.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos se muestran separados en dos grupos para realizar una discusión más clara de los resultados obtenidos.

El primer ensayo (E1), reúne las plantas sometidas a condiciones de inundado constante y sus respectivas mediciones e interpretaciones (SPAD, conductancia estomática, pesos de las submuestras).

El segundo ensayo (E2), las variedades se han sometido a inundación intermitente, 24h inundadas y 24h en drenaje de recuperación sin riego.

5.1 Respuesta al encharcamiento constante (E1)

5.1.1 Índice de verdor, o índice SPAD, de las variedades inundadas constantemente.

El índice SPAD o índice de verdor, permite valorar de forma indirecta y a tiempo real el contenido de clorofila de la planta. Calogero *et al.* (2013), en su estudio de tolerancia a la inundación continuada de dos portainjertos de *Prunus Cerasifera* Erhr, empleó las medidas de clorofila en hoja para determinar la tolerancia de cada patrón, como el transcurso de los días desde el inicio del encharcado hasta la senescencia de todas las hojas. Este índice permitirá tener una idea del comportamiento de cada variedad.

La figura 12, muestra la evolución temporal del índice de verdor en ausencia de estrés por encharcamiento de las variedades testigo (T0). Analizando el conjunto de valores registrados, se observa que este índice oscila entre 25 y 50 unidades SPAD. La variedad "Guara" es la que presenta mayor verdor, mientras que el "Mirabolano" es el que presenta valores inferiores (entre 25 y 35), Estos valores son muy parecidos a los que presenta Llacona (2013) en su trabajo con el patrón de "Mirabolano" injertado en melocotonero, en ausencia de estrés por encharcamiento y condiciones no estresantes, con valores entre 25 y 29. También observamos que "GF677" mantiene los valores bastante constantes (34-37), comparando con valores testigo registrados por Amador (2012), de un patrón híbrido "Garnem" los valores oscilan entre 38 y 40 unidades, se aprecia que los rangos comparados también presentan similitudes entre patrones híbridos de almendro x melocotonero ("GF 677" y "Garnem"). Por otro lado, "Pentacebas", es muy sensible al encharcamiento y no consigue recuperar los valores iniciales de una manera más significativa que las demás variedades, que demuestran un comportamiento similar. Generalmente los valores del contenido de clorofila de las variedades estudiadas descienden durante aproximadamente los primeros 7 días de estudio, mostrando una tendencia a la recuperación durante los últimos 7 días.

Dado que son los valores control, estas oscilaciones se producen como respuesta a las variables climáticas. Visualmente las plantas no presentaban ningún signo de marchitez ni clorosis provocada por estrés.

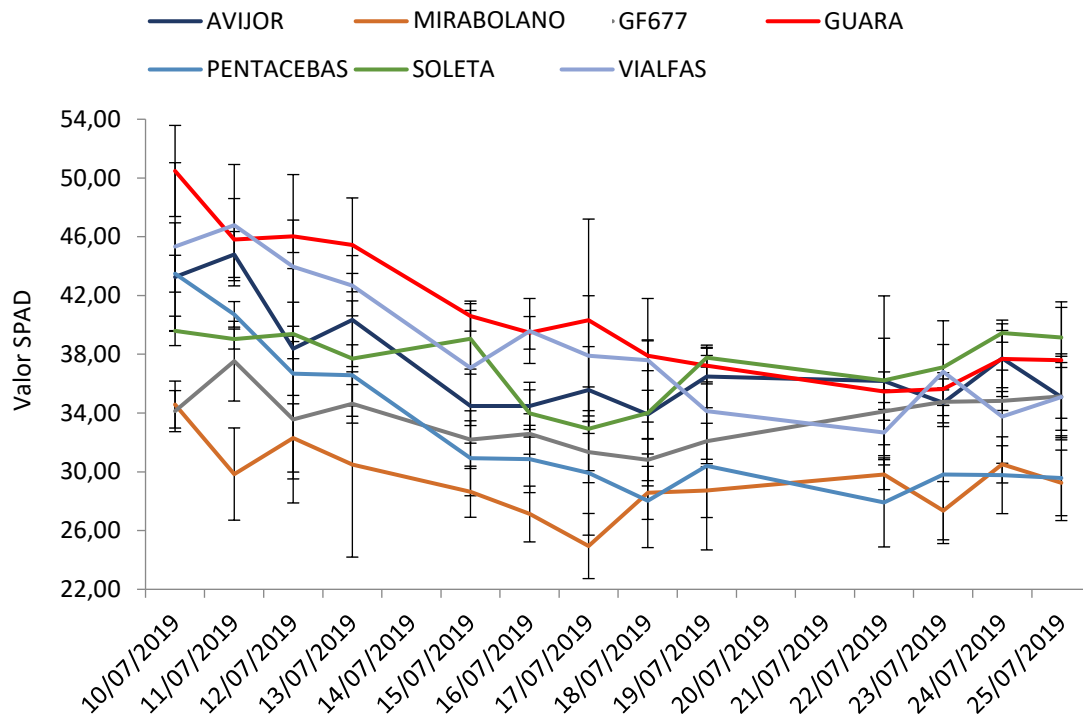


Figura 12. Evolución temporal de las medidas SPAD de todas las variedades, en tratamiento Testigo (T0). En unidades SPAD.

Los valores del índice de verdor son diferentes entre las variedades, también a lo largo del tiempo (para cada variedad) y además se observa interacción positiva entre SPAD del control y de la variedad ($p= 0,0005$; $F= 1,871$), por lo que se decide hacer un análisis individualizado de la evolución del SPAD para cada una de ellas.

Comparando el contenido en clorofila de las variedades constantemente encharcadas con las plantas testigo, se observa que la variedad que presenta unos valores más homogéneos a lo largo de todo el estudio, es el patrón “Mirabolano” (figura 13a). Cabe resaltar que los valores SPAD son mayores en plantas de “Mirabolano” y “GF 677” (figura 13b) encharcadas que en las plantas control, con una diferencia de 7 unidades SPAD en las 360 y 144 horas de encharcamiento, respectivamente. Este comportamiento puede explicarse con los estudios realizados por Martinazzo *et al.* (2013), concluyeron que las plantas de ciruelo eran más susceptibles a déficit hídrico que a exceso de agua por inundación, ya que plantas en condiciones de déficit mostraban valores de SPAD inferiores expresando diferencias en la eficiencia en el uso del agua.

El resto de variedades, al acercarse a las 168 h de encharcamiento constante, presentan un aumento del valor de las unidades SPAD (figuras 13ab, 14ab, 15ab y 16). Este comportamiento es atípico, ya que cuando se produce la senescencia de las hojas, hay una degradación de los pigmentos fotosintéticos. Sin embargo, según los gráficos parece que este incremento en el valor del SPAD puede ser significativamente diferente del valor de las plantas control. Todas las variedades excepto el “Mirabolano” están muertas en su totalidad a las 168 h de encharcado (7 días inundadas). Dentro de este grupo de variedades los valores que registran antes del punto de marchitez permanente, son diferentes, en el siguiente orden decreciente, respectivamente: “Guara” (53 uds.s), “GF 677” (47 uds. SPAD), “Vialfas” (46 uds. SPAD), “Soleta” y “Avijor” (45 uds. SPAD), por último, “Pentacebas” (36 uds. SPAD).

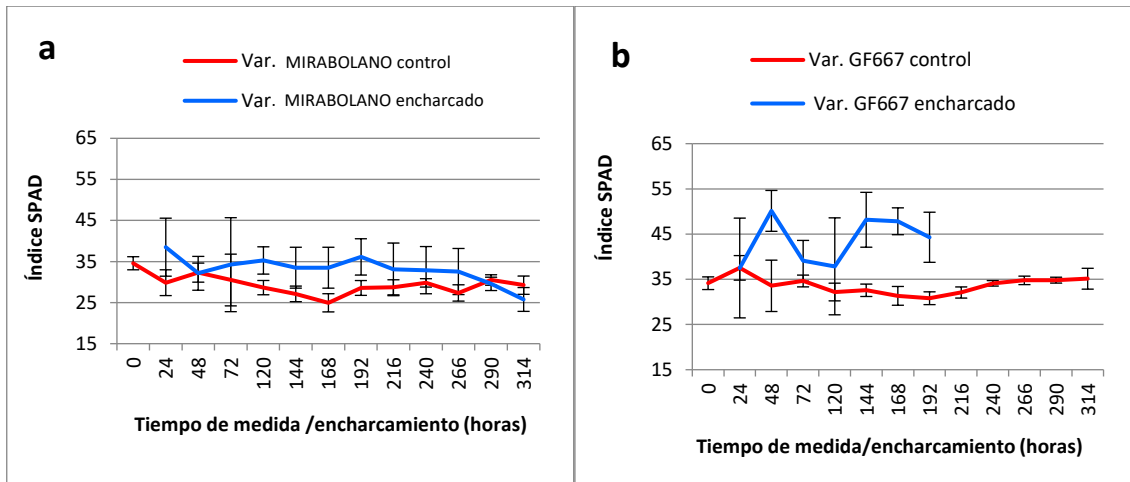


Figura 13. Evolución temporal SPAD de los patrones en E1, “Mirabolano” (a) y “GF677” (b). En unidades SPAD.

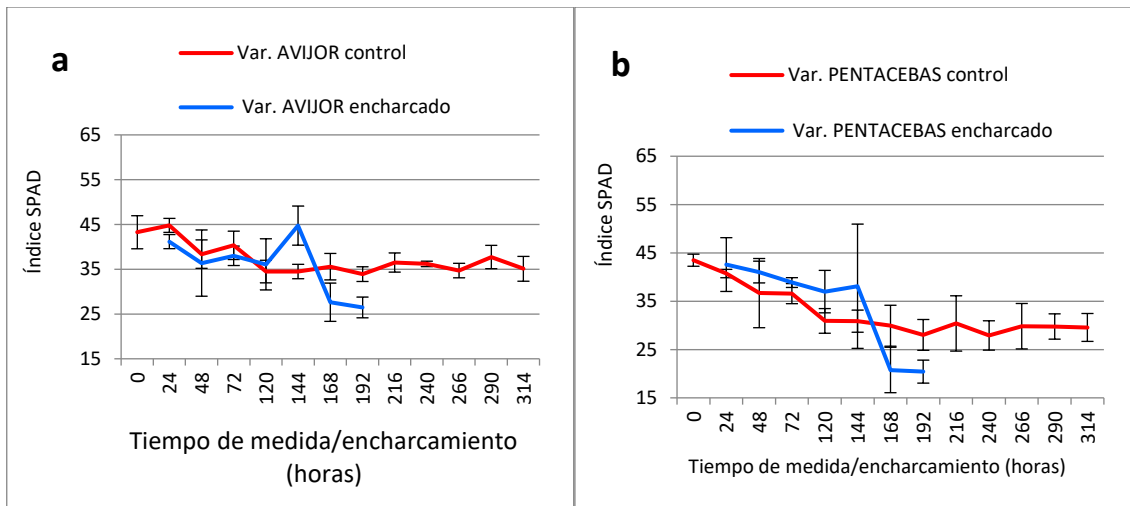


Figura 14. Evolución temporal SPAD de variedades “Avijor” (a) y “Penta” (b) en E1. En unidades SPAD.

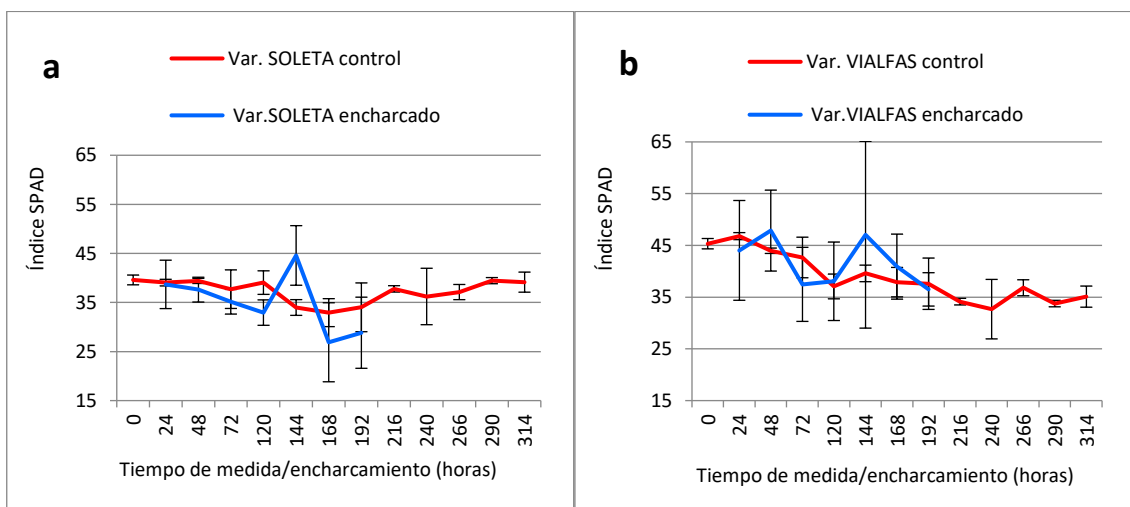


Figura 15. Evolución temporal SPAD de variedades “Soleta” (a) y “Vialfas” (b) en E1. En unidades SPAD.

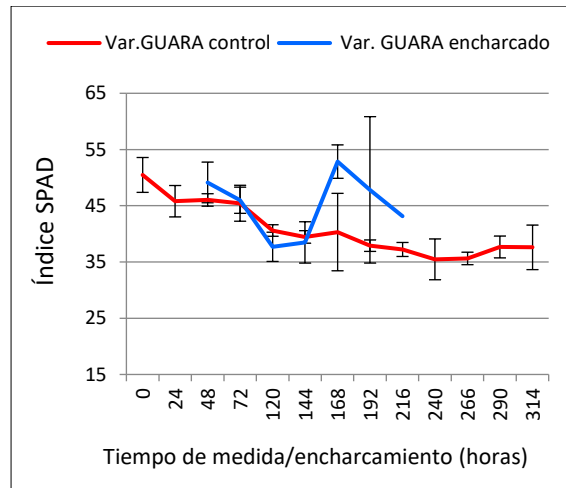


Figura 16. Evolución temporal SPAD de variedad “Guara”, autorradicada, en E1. En unidades SPAD.

La tabla 5, muestra que la variedad “Soleta” es la que presenta un rango de variación menor del valor de SPAD con valores comprendidos entre 33 y 39,5, en “GF 677” varía entre 30,8 y 37,5 y en “Pentacebas” entre 27,9 y 43,4 durante los 15 días de tratamiento control (314 h). Las variedades restantes muestran valores más heterogéneos, siendo la más heterogénea la variedad “Vialfas”.

Desde el día de inicio de las mediciones, las medias de los valores SPAD, sufren una disminución lineal y progresiva, en todas las variedades. Por lo que hay diferencias significativas entre valores de la misma variedad en diferente momento de medición (expresado en horas), posiblemente ocasionado por factores climáticos.

Tabla 5. Valores medios del índice SPAD por variedad en tratamiento control (T0). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medidas temporales para la misma variedad ($p < 0,01$), en el momento de medición (horas).

Variedad	Periodicidad de las medidas (horas)													
	0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	266	290	314
MIRABOLANO	34,58 ±1,60 a	29,85 ±3,14 abc	32,31 ±2,32 ab	30,50 ±6,30 abc	n.d	28,65 ±1,74 bc	27,1 3±1,74 bc	24,95 ±1,90 c	28,57 ±2,22 bc	28,72 ±1,81 abc	29,81 ±1,83 abc	27,35 ±1,02 bc	30,51 ±1,98 abc	29,25 ±1,27 abc
GF677	34,13 ±1,40 ab	37,53 ±2,71 a	33,56 ±5,68 ab	34,63 ±1,31 a	n.d	32,19 ±1,96 b	32,57 ±1,38 b	31,34 ±2,08 b	30,81 ±1,41 b	32,08 ±1,23 b	34,11 ±0,60 ab	34,77 ±0,94 ab	34,82 ±0,64 ab	35,13 ±2,30 ab
AVIJOR	43,25 ±3,69 ab	44,79 ±1,56 a	38,37 ±3,17 bc	40,33 ±3,17 bc	n.d	34,47 ±2,52 c	34,49 ±1,61 bc	35,57 ±2,96 bc	33,91 ±1,64 c	36,49 ±2,13 bc	36,19 ±0,61 bc	34,70 ±1,62 bc	37,73 ±2,60 b	35,09 ±2,77 bc
GUARA	50,48 ±3,10 a	45,81 ±2,79 bc	46,03 ±1,11 ab	45,45 ±3,19 bcd	n.d	40,60 ±1,02 cd	39,46 ±1,11 cde	40,32 ±6,89 cde	37,90 ±1,01 de	37,23 ±1,25 e	35,47 ±3,63 e	35,63 ±1,11 e	37,67 ±1,95 de	37,61 ±3,96 de
PENTACEBAS	43,49 ±1,25 a	40,72 ±0,87 b	36,67 ±7,16 bc	36,57 ±2,08 c	n.d	30,92 ±2,55 c	30,87 ±2,29 c	29,93 ±4,24 c	28,03 ±3,19 c	30,40 ±5,72 c	27,91 ±3,03 c	29,82 ±4,70 c	29,77 ±2,61 c	29,57 ±2,89 c
SOLETA	39,59 ±1,00 a	39,04 ±0,68 abc	39,39 ±0,52 ab	37,71 ±3,93 bc	n.d	39,05 ±2,40 abc	33,97 ±1,60 c	32,93 ±2,85 c	34,01 ±4,97 bc	37,77 ±0,64 bc	36,22 ±5,75 bc	37,12 ±1,55 bc	39,45 ±0,63 ab	39,15 ±2,05 abc
VIALFAS	45,33 ±5,71 a	46,79 ±4,13 a	43,97 ±6,27 ab	42,67 ±2,05 abc	n.d	37,07 ±3,92 bcde	39,59 ±2,21 abcd	37,89 ±4,09 bcde	37,59 ±4,21 bcde	34,13 ±3,79 de	32,67 ±1,57 e	36,81 ±3,47 cde	33,75 ±3,17 de	35,10 ±2,93 cde

Tabla 6. Comparativa de las medias SPAD por variedad y tratamiento control (T0), letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores de la misma variedad ($p < 0,01$), en el momento de medición (horas).

	Mirobolano	GF667	Avijor	Guara	Pentacebas	Soleta	Vialfas
Control	29,39 ± 3,17 e	33,67 ± 2,56 d	37,34 ± 3,96 c	40,74 ± 5,20 a	32,66 ± 5,76 d	37,34 ± 3,23 c	38,78 ± 5,52 b

Analizando el valor medio del índice SPAD a lo largo del ensayo, se observan diferencias significativas entre las variedades (tabla 6). Es importante comprender las respuestas fisiológicas de diferentes genotipos al estrés hídrico con el fin de determinar el umbral de los niveles de estrés, pero también para identificar cultivares sensibles y resistentes para programas de mejora en almendros. Tales mecanismos de respuesta pueden ser producidos por ajuste osmótico, disminución de la conductancia de los estomas, pérdida de transpiración, aceleración del desprendimiento de hojas, síntesis de lenticelas hipertrofiadas en el tallo y raíces adventicias. Todos ellos, mecanismos de respuesta fisiológica de las plantas dependiendo de la componente genética de cada variedad, en los que hojas y raíces están directamente implicados (Yadollahi *et al.*, 2011).

En el tratamiento encharcado constante (E1), se advierte una homogeneización de los valores del índice de verdor a lo largo del tiempo (tabla 7), siendo 'GF 677' y 'Vialfas' las variedades más estables en sus valores SPAD. La única variedad que sobrevive a lo largo de todo el tratamiento E1, es el patrón "Mirabolano", ya que las restantes variedades murieron aproximadamente en el día 7 de estudio.

Tabla 7. Comparativa de las medias SPAD por variedad en E1, letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores de la misma variedad ($p < 0,01$), en el momento de medición (horas).

VARIEDAD	Tiempo de encharcamiento (horas)											
	24	48	72	120	144	168	192	216	240	266	290	314
MIRABOLANO	38,50 ±7,06 a	32,13 ±4,12 b	34,23 ±11,44 ab	35,27 ±3,32 ab	33,50 ±4,98 ab	33,50 ±4,98 ab	36,13 ±4,42 ab	33,10 ±6,42 b	32,90 ±5,75 b	32,57 ±5,62 b	29,57 ±1,63 b	25,77 ±2,90 b
GF677	37,50 ±11,04 a	50,13 ±4,52 a	39,10 ±4,50 a	37,87 ±10,72 a	48,17 ±6,07 a	47,83 ±2,97 a	44,30 ±5,54 a					
AVIJOR	41,17 ±1,58 a	36,37 ±7,39 ab	38,00 ±2,17 a	36,08 ±5,71 ab	44,75 ±4,37 a	27,63 ±4,28 b	26,47 ±2,33 b					
GUARA	49,15 ±0,58 a	45,98 ±3,62 abc	37,70 ±2,33 c	38,48 ±2,60 bc	52,85 ±,67 a	47,83 ±2,97 ab	43,17 ±13,01 abc					
PENTACEBAS	42,58 ±5,57 a	41,03 ±,25 ab	38,86 ±1,01 ab	36,98 ±4,39 bc	38,10 ±12,86 abc	20,77 ±4,70 c	20,43 ±2,38 c					
SOLETA	38,68 ±4,93 ab	37,62 ±2,53 ab	35,15 ±2,51 ab	32,93 ±2,59 b	44,58 ±6,07 a	26,88 ±8,05 b	28,83 ±7,25 b					
VIALFAS	44,03 ±9,64 a	47,87 ±7,82 a	37,47 ±7,16 a	38,07 ±7,59 a	47,07 ±18,05 a	40,90 ±6,29 a	36,50 ±3,22 a					

En la tabla 7, aunque con algunos valores atípicos, no se observa una disminución en el contenido de clorofila de todas las variedades encharcadas, en comparación con las plantas control (tabla 6). Varios autores concluyen que el contenido de clorofila disminuye en las hojas de las plantas cultivadas en suelos saturados debido al efecto anaeróbico de una inundación continuada (Webb y Fletcher, 1996; Yordanova y Popova, 2001). Los resultados obtenidos en este estudio (E1) difieren de las conclusiones de los autores citados, ya que antes del marchitamiento de "GF 677", por ejemplo, los valores SPAD tienen una tendencia creciente, hasta el drástico descenso a partir del día 7 de estudio, en el que los valores descienden hasta < 15 unidades (tabla 7), sin embargo, dichos valores no se pudieron registrar debido al estado de desecación de las hojas a partir del día 7 de estudio.

Insausti *et al.* (2013), dicen que la clorosis generalizada de las plantas es debido a la destrucción de clorofila de las hojas, ocasionada por el efecto negativo del encharcamiento, en la capacidad fotosintética de la planta. Tras la revisión bibliográfica se fija la muerte de la planta cuando la medida es inferior a 15 unidades SPAD, cuando las plantas presentan un

aspecto de marchitez y muerte por asfixia radicular (imposible medir por el estado de desecación de la hoja en dicho momento).

Tabla 8. Valores medios SPAD por cada variedad y tratamiento de encharcado (E1). Letras diferentes indican diferencias significativas entre variedades para un mismo tratamiento ($p < 0,01$).

	Mirabolano	GF667	Avijor	Guara	Pentacebas	Soleta	Vialfas
Encharcamiento continuado	33,64 ± 6,04 b	43,56 ± 7,82 a	35,78 ± 7,34 b	45,15 ± 8,24 a	28,56 ± 15,60 c	34,95 ± 7,72 b	41,70 ± 9,14 a

Tabla 9. Efecto del encharcamiento continuado en el índice de verdor de las variedades de almendras estudiadas.

VARIEDAD	Tratamiento	Persistencia del tratamiento de encharcamiento (horas)											
		24	48	72	120	144	168	192	216	240	266	290	314
MIRABOLANO	Control	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	a	a
	Encharcado	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	b	b
GF667	Control	n.s	b	n.s	b	b	n.s	n.s					
	Encharcado	n.s	a	n.s	a	a	n.s	n.s					
AVIJOR	Control	a	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	a					
	Encharcado	b	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	b					
GUARA	Control	n.s	n.s	n.s	n.s	b	n.s	n.s					
	Encharcado	n.s	n.s	n.s	n.s	a	n.s	n.s					
PENTACEBAS	Control	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s					
	Encharcado	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s					
SOLETA c	Control	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s					
	Encharcado	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s					
VIALFAS c	Control	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s					
	Encharcado	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s					

En la tabla 8 se muestran los valores medios SPAD por cada variedad durante el ensayo de encharcamiento continuado. Destaca “Guara” como la variedad que presenta unos valores medios de clorofila superiores al resto de variedades con una media de 45,15 unidades. La variedad que presenta los valores medios más bajos es “Pentacebas” con medias de 28,56 unidades.

Si se comparan los valores medios del índice de verdor, de las variedades sometidas a encharcamiento continuado (E1) se observan diferencias estadísticamente significativas en las variedades “Pentacebas”, “Soleta” y “Vialfas”. El resto de variedades, muestra diferencias superiores en algunos días de encharcamiento continuado. El “Mirabolano”, es la variedad que se mantiene viva durante más tiempo y es en los últimos días cuando presenta diferencias de verdor entre las plantas encharcadas de forma continuada y las plantas control. Este comportamiento también se observa en la variedad “Avijor”, mientras que “Guara” muestra a las 144 h de encharcamiento continuado, diferencias estadísticamente superiores (tabla 9).

La variedad GF677 es la única que presenta valores de índice SPAD significativamente superiores en condiciones de encharcamiento continuado (a las 48, 120 y 144 horas)

5.1.2 Conductancia estomática de las variedades sometidas a encharcamiento constante (E1).

Varios autores emplean las mediciones de conductancia estomática, para estudiar la respuesta de cada variedad a diferentes tratamientos de inundación, ya sea a corto plazo o largo plazo (Amador, *et al.*, 2012), incluyendo un periodo de recuperación (Jiménez, *et al.*, 2017) y mediante distintos tratamientos de estrés hídrico (Klumb, *et al.*, 2016). Utilizaremos dicha medida para obtener la evolución de cada variedad durante el procedimiento de estudio.

Las plantas sometidas al tratamiento 'Control' para todas las variedades, desde la hora 72 (día 3 de estudio) hasta la hora 288 (día 10 de estudio) sufren una disminución de la conductancia estomática y después vuelve a recuperarse a valores iniciales. También se aprecia que a partir del séptimo día de estudio (168 horas) en todas las variedades sometidas a encharcamiento continuado, no es posible registrar valores de conductancia estomática debido a la muerte de todas las plantas, excepto el "Mirabolano".

Varios autores coinciden en que los síntomas más típicos de las plantas sensibles asociados al estrés por hipoxia, son la senescencia y necrosis de las hojas (Kozłowski, 1997; Pezeshki, 2001; Pimentel, 2014; Yin *et al.*, 2009). Según los resultados obtenidos, podemos considerar la variedad "Mirabolano" como tolerante a la asfixia radicular, ya que los valores de la conductancia estomática no llegan a descender hasta 0 $\text{mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$, clasificando al resto de variedades como sensibles a la asfixia radicular, ya que en este grupo de variedades llegan a valores gs de 0 $\text{mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Comparando con la bibliografía citada anteriormente, los resultados son similares, sin embargo, la muerte de las plantas sensibles en nuestro estudio parece ser más prematura que en comparación con dichos autores (a los 3 días y 7 días respectivamente). Estos resultados reflejan que la conductancia estomática es buen indicador de estrés por asfixia radicular.

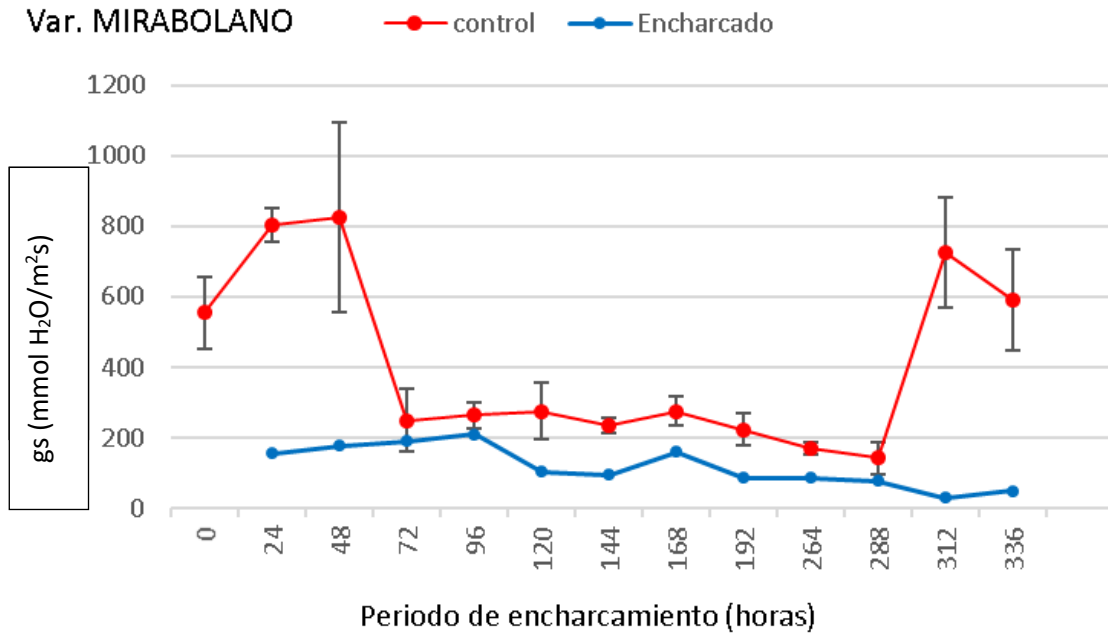


Figura 17. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad “Mirabolano”.

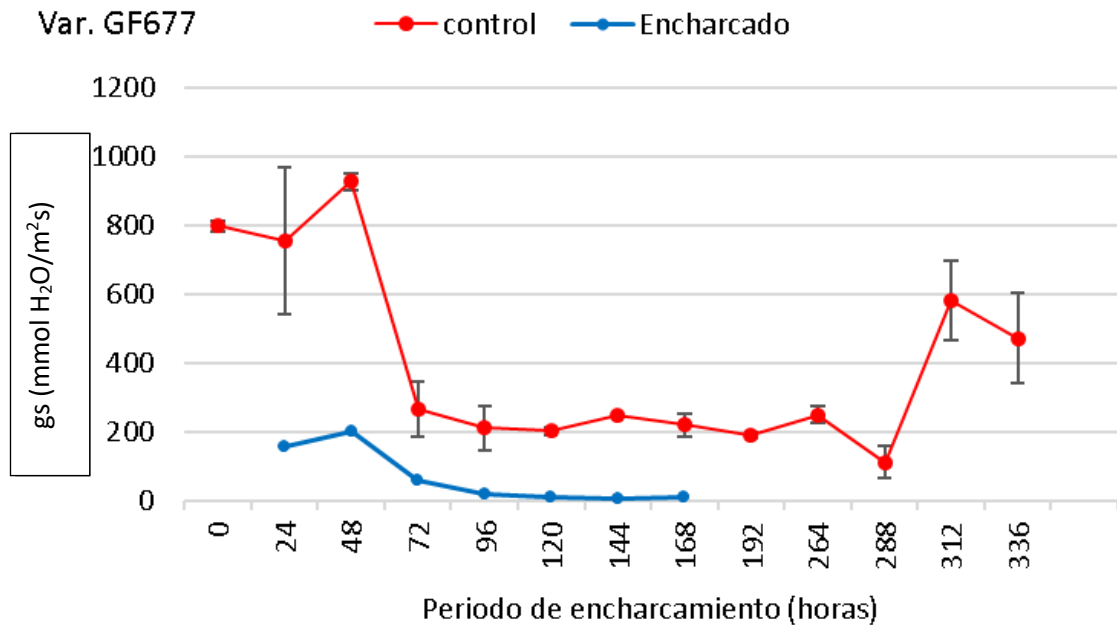


Figura 18. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad “GF677”.

En la figura 17 se observa que la diferencia entre “Mirabolano” encharcado y control es pequeña salvo los dos picos de transpiración a los días 3 y 7.

La figura 18 el “GF677” tiene una rápida caída en la transpiración, en las plantas encharcadas el nivel desciende a partir de las 48 hasta valores cercanos al ‘0’.

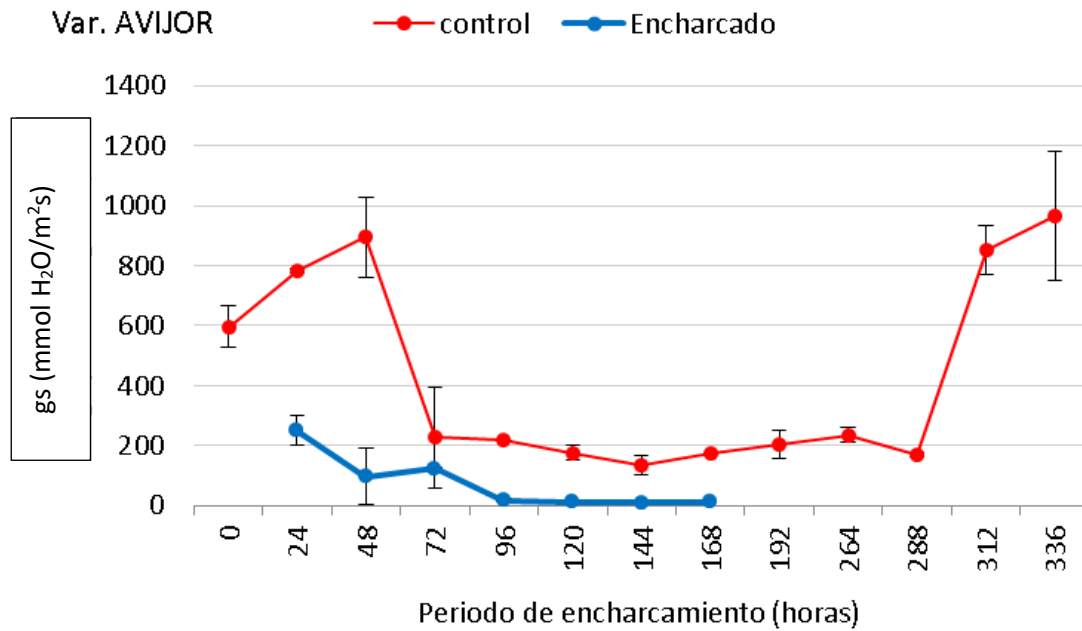


Figura 19. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Avijor".

La variedad "Avijor" (figura 19), muestran una tendencia similar al resto de variedades sensibles a la asfixia radicular continuada, sin embargo, las plantas encharcadas muestran un repunte en la transpiración de las hojas entre las 48 y 72 h.

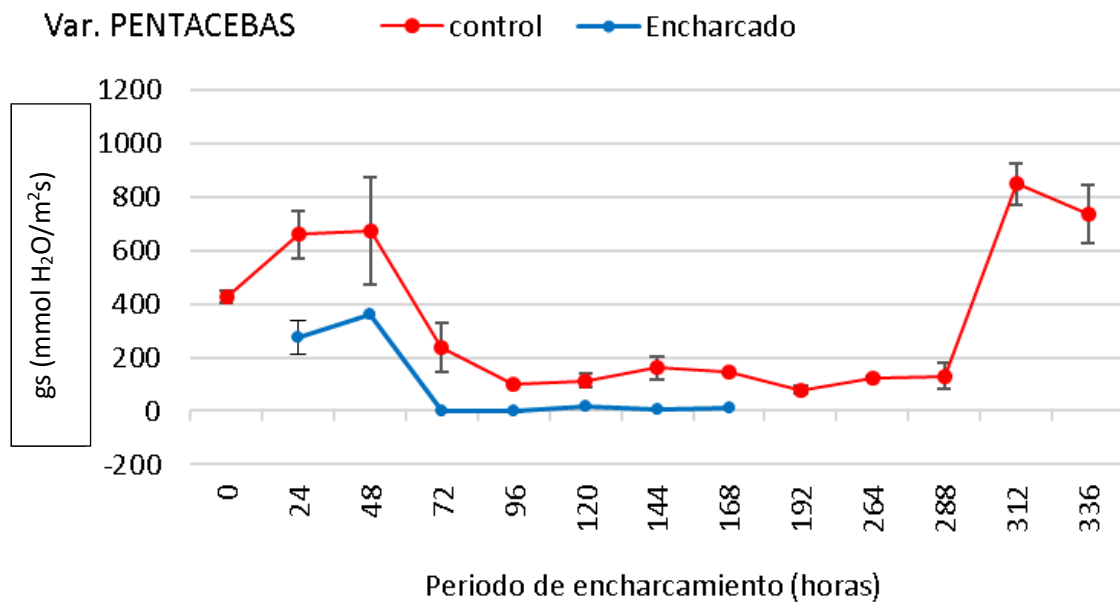


Figura 20. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Pentacebas".

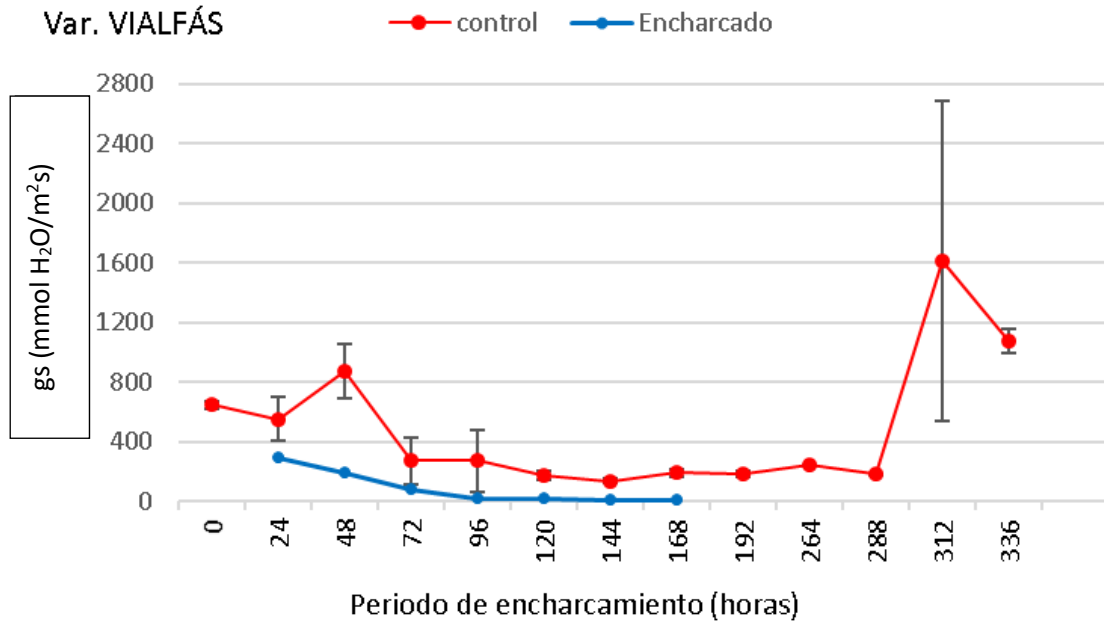


Figura 21. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad “Vialfás”.

Las figuras 20 y 21 muestran una tendencia similar al resto de variedades por parte de “Pentacebas” y “Vialfas”, sin embargo, “Vialfas” muestra un descenso hasta la marchitez más lineal y homogéneo en el grupo de plantas encharcadas que el resto.

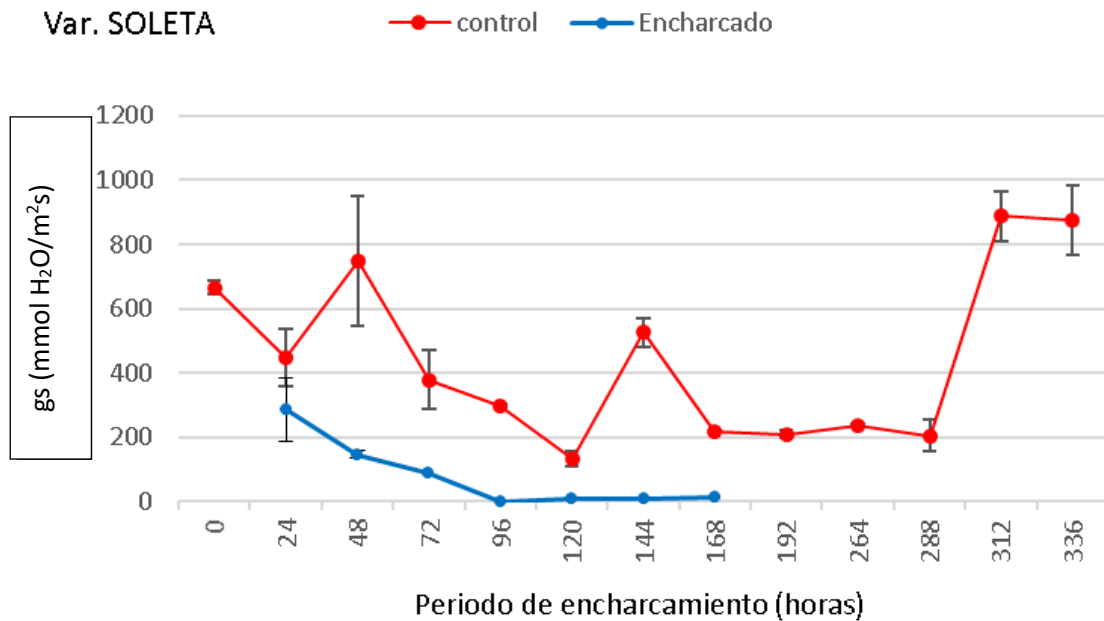


Figura 22. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad “Soleta”.

Las plantas de “Soleta” (figura 22), bajo condiciones normales, muestran una única diferencia al resto de variedades estudiadas, entre las 120 y 144 h tiene un pico en la ‘gs’ indicativo del aumento de la transpiración de las hojas.

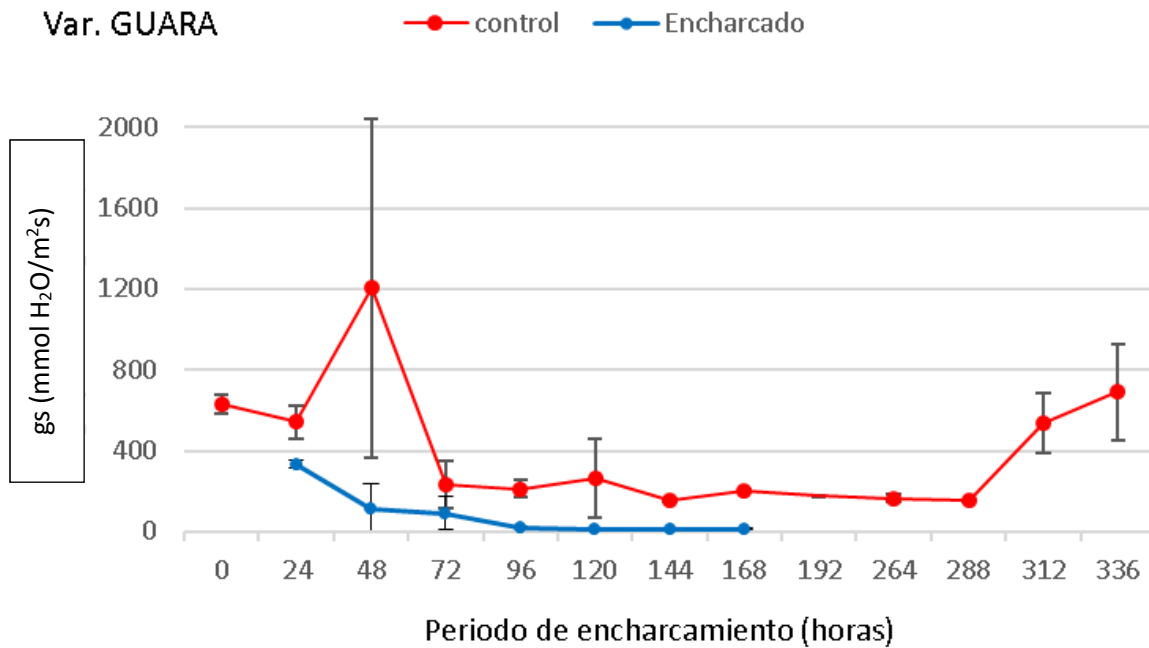


Figura 23. Evolución de la conductancia estomática, en el tratamiento E1 y Control, para la variedad "Guara".

Al comparar la información que nos aportan estos datos de conductancia estomática con la gráfica de vida de las plantas (figura 24), vemos una diferencia de 3 días desde que la conductancia estomática llega a 0 y todas las plantas, menos el "Mirabolano", mueren por asfixia. Según Pimentel *et al.* (2014), que estudia tolerancia a la asfixia, coincide con que la conductancia estomática, disminuye hasta la muerte entre aquellos patrones-variedades sensibles bajo encharcamiento continuado, presentando valores inferiores a 20 mmoles m⁻²s⁻¹ (marchita), también que el patrón de "ciruelo Mariana" (en este caso), sobrevive a los 21 días de encharcado, clasificándolo como tolerante a la asfixia radicular con valores de 500 mmoles m⁻²s⁻¹ a los 7 días de encharcado y 200 mmoles m⁻²s⁻¹ a los 14 días, valores muy parecidos a los que obtiene de la misma variedad tolerante en condiciones control, durante el mismo lapso de tiempo.

La figura 24, muestra el número de plantas vivas en los días de desarrollo del ensayo. Al inicio del tratamiento de encharcamiento permanente (E1), el número de plantas de las variedades "Avijor", "Pentacebas", "Soleta" y "Guara", era de 24; 10 plantas de las variedades "Mirabolano" y "Vialfás" junto con 8 plantas de la variedad "GF677". La primera variedad que registra muertes es la variedad "Avijor", a partir de las 48h de estudio, seguida de "Soleta", "Vialfás" y "GF677" a las 72h. En último lugar la variedad "Guara" que empieza a sufrir bajas desde las 96h de encharcamiento continuado.

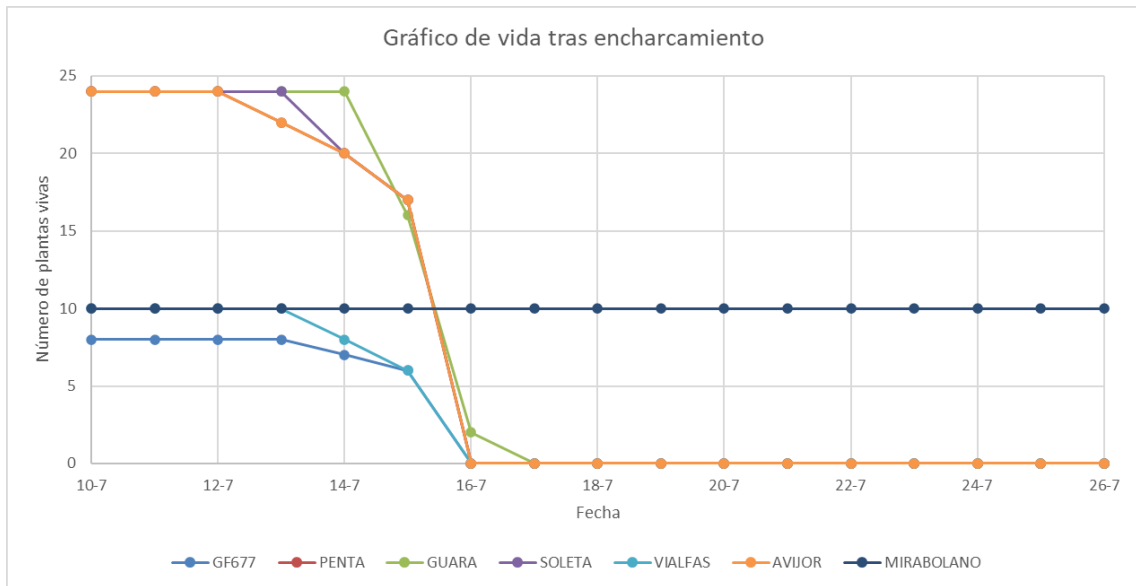


Figura 24. Gráfico de vida de las variedades de estudio durante el encharcamiento E1.

Domingo *et al.* (2002), en un estudio de asfixia radicular durante 3 y 6 días, observaron que la variedad injertada en patrón de ciruelo se mantenía viva a lo largo del estudio mientras que el patrón de albaricoquero murió por asfixia radicular después de los 3 días de inundación continua. En este estudio, también la variedad que se mantiene viva a lo largo del estudio, es “Mirabolano”, definido como resistente a la asfixia radicular, ya que permanecen vivas la totalidad de las plantas durante los 15 días de tratamiento (E1).

5.1.2.1 Relación de los parámetros fisiológicos con las variables ambientales en E1 y Control.

Debido a la posible relación entre las variedades y las condiciones climáticas en esas fechas, se estudió la correlación con las temperaturas mínimas, máximas, medias y la pluviometría para ambos tratamientos E1 y ‘Control’, para las medidas SPAD y conductancia estomática.

Al observar las matrices de correlación, se aprecia que las variedades evolucionan de maneras diferentes en respuesta a las temperaturas (Tablas 10, 11, 12):

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 10. Matrices de correlación por cada variedad sometida a encharcamiento continuado (E1), junto con las condiciones climáticas durante el estudio.

SPAD "Mirabolano" Encharcado (E1)						gs "Mirabolano" Encharcado (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	-0,399	-0,261	-0,238	0,084	gs	1,000	-0,495	-0,500	-0,258	0,394
Tª med		1,000	0,924	0,571	-0,476	Tª med		1,000	0,954	0,555	-0,470
Tª max			1,000	0,388	-0,536	Tª max			1,000	0,400	-0,526
Tª min				1,000	0,115	Tª min				1,000	0,129
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,33$						$\alpha 0,05 = 0,632$					
$\alpha 0,01 = 0,425$						$\alpha 0,01 = 0,765$					
SPAD "GF677" Encharcados (E1)						gs "GF677" Encharcados (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	-0,016	0,020	-0,283	-0,304	gs	1,000	0,749	0,744	0,226	-0,100
Tª med		1,000	0,928	0,409	-0,561	Tª med		1,000	0,925	0,432	-0,544
Tª max			1,000	0,117	-0,634	Tª max			1,000	0,137	-0,619
Tª min				1,000	0,249	Tª min				1,000	0,244
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,433$						$\alpha 0,05 = 0,811$					
$\alpha 0,01 = 0,549$						$\alpha 0,01 = 0,917$					
SPAD "Avijor" Encharcados (E1)						gs "Avijor" Encharcados (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	0,034	-0,028	-0,212	0,009	gs	1,000	0,469	0,431	0,169	0,187
Tª med		1,000	0,928	0,409	-0,561	Tª med		1,000	0,925	0,432	-0,544
Tª max			1,000	0,117	-0,634	Tª max			1,000	0,137	-0,619
Tª min				1,000	0,249	Tª min				1,000	0,244
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,433$						$\alpha 0,05 = 0,576$					
$\alpha 0,01 = 0,549$						$\alpha 0,01 = 0,708$					
SPAD "Guara" Encharcados (E1)						gs "Guara" Encharcados (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	-0,138	-0,073	-0,448	-0,341	gs	1,000	0,209	0,172	0,233	0,357
Tª med		1,000	0,928	0,409	-0,561	Tª med		1,000	0,925	0,432	-0,544
Tª max			1,000	0,117	-0,634	Tª max			1,000	0,137	-0,619
Tª min				1,000	0,249	Tª min				1,000	0,244
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,433$						$\alpha 0,05 = 0,576$					
$\alpha 0,01 = 0,549$						$\alpha 0,01 = 0,708$					
SPAD "Soleta" Encharcados (E1)						gs "Soleta" Encharcados (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	0,092	-0,004	-0,168	-0,122	gs	1,000	0,440	0,379	0,061	0,113
Tª med		1,000	0,928	0,409	-0,561	Tª med		1,000	0,914	0,324	-0,681
Tª max			1,000	0,117	-0,634	Tª max			1,000	-0,076	-0,816
Tª min				1,000	0,249	Tª min				1,000	0,176
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,433$						$\alpha 0,05 = 0,632$					
SPAD "Pentacebas" Encharcados (E1)						gs "Pentacebas" Encharcados (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	-0,248	-0,300	-0,206	0,223	gs	1,000	0,842	0,999	0,094	-0,592
Tª med		1,000	0,928	0,409	-0,561	Tª med		1,000	0,845	0,605	-0,067
Tª max			1,000	0,117	-0,634	Tª max			1,000	0,101	-0,589
Tª min				1,000	0,249	Tª min				1,000	0,737
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,433$						$\alpha 0,05 = 0,707$					
$\alpha 0,01 = 0,549$						$\alpha 0,01 = 0,834$					
SPAD "Vialfas" Encharcados (E1)						gs "Vialfas" Encharcados (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	0,043	0,064	-0,276	-0,170	gs	1,000	0,751	0,738	0,189	-0,091
Tª med		1,000	0,928	0,409	-0,561	Tª med		1,000	0,925	0,432	-0,544
Tª max			1,000	0,117	-0,634	Tª max			1,000	0,137	-0,619
Tª min				1,000	0,249	Tª min				1,000	0,244
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,433$						$\alpha 0,05 = 0,811$					

Al observar la matriz de correlación de las variedades encharcadas (tabla 10), "Pentacebas" muestra una correlación positiva, altamente significativa entre los valores de conductancia estomática y las temperaturas media y máxima, lo que nos indica que, al subir la temperatura, también lo hace la transpiración de vapor de agua hacia la atmosfera por parte de las hojas, se puede interpretar como una respuesta de la planta al exceso de agua en la parte radicular. También cabe destacar los valores de clorofila de las variedades "Mirabolano" y "Guara" presentan una correlación negativa, moderadamente significativa con los datos de temperatura media y mínima respectivamente. La precipitación no parece tener ninguna relación con el contenido de clorofila ni con la conductancia estomática de las variedades encharcadas.

Tabla 11. Matrices de correlación por cada variedad de las plantas control (E1), junto con las plantas control, y las condiciones climáticas durante el estudio.

SPAD "Mirabolano" Control (E1)						gs "Mirabolano" Control (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	0,114	0,083	-0,024	-0,070	gs	1,000	0,324	0,344	0,224	-0,153
Tª med		1,000	0,929	0,625	-0,416	Tª med		1,000	0,955	0,572	-0,443
Tª max			1,000	0,447	-0,491	Tª max			1,000	0,375	-0,479
Tª min				1,000	0,138	Tª min				1,000	0,103
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,317$						$\alpha 0,05 = 0,335$					
SPAD "GF677" Control (E1)						gs "GF677" Control (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	0,382	0,398	0,076	-0,174	gs	1,000	0,328	0,303	0,321	-0,140
Tª med		1,000	0,929	0,625	-0,416	Tª med		1,000	0,937	0,571	-0,429
Tª max			1,000	0,447	-0,491	Tª max			1,000	0,312	-0,441
Tª min				1,000	0,138	Tª min				1,000	0,051
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,317$						$\alpha 0,05 = 0,367$					
$\alpha 0,01 = 0,409$						$\alpha 0,01 = 0,470$					
SPAD "Avijor" Control (E1)						gs "Avijor" Control (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	0,023	0,139	-0,255	-0,216	gs	1,000	0,500	0,475	0,445	-0,189
Tª med		1,000	0,929	0,625	-0,416	Tª med		1,000	0,955	0,591	-0,435
Tª max			1,000	0,447	-0,491	Tª max			1,000	0,397	-0,462
Tª min				1,000	0,138	Tª min				1,000	0,079
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,317$						$\alpha 0,05 = 0,388$					
$\alpha 0,01 = 0,496$						$\alpha 0,01 = 0,496$					
SPAD "Guara" Control (E1)						gs "Guara" Control (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	-0,173	-0,010	-0,333	-0,011	gs	1,000	0,332	0,307	0,290	-0,133
Tª med		1,000	0,929	0,625	-0,416	Tª med		1,000	0,939	0,565	-0,435
Tª max			1,000	0,447	-0,491	Tª max			1,000	0,318	-0,455
Tª min				1,000	0,138	Tª min				1,000	0,083
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,317$						$\alpha 0,05 = 0,326$					
SPAD "Soleta" Control (E1)						gs "Soleta" Control (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	0,260	0,210	0,174	0,150	gs	1,000	0,393	0,272	0,640	-0,082
Tª med		1,000	0,929	0,625	-0,416	Tª med		1,000	0,938	0,571	-0,432
Tª max			1,000	0,447	-0,491	Tª max			1,000	0,314	-0,441
Tª min				1,000	0,138	Tª min				1,000	0,046
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,317$						$\alpha 0,05 = 0,374$					
$\alpha 0,01 = 0,478$						$\alpha 0,01 = 0,478$					
SPAD "Pentacebas" Control (E1)						gs "Pentacebas" Control (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	-0,094	0,052	-0,272	-0,092	gs	1,000	0,387	0,229	0,566	-0,099
Tª med		1,000	0,929	0,625	-0,416	Tª med		1,000	0,928	0,593	-0,436
Tª max			1,000	0,447	-0,491	Tª max			1,000	0,319	-0,458
Tª min				1,000	0,138	Tª min				1,000	0,053
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,317$						$\alpha 0,05 = 0,388$					
$\alpha 0,01 = 0,496$						$\alpha 0,01 = 0,496$					
SPAD "Vialfas" Control (E1)						gs "Vialfas" Control (E1)					
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	-0,090	0,079	-0,210	-0,088	gs	1,000	0,517	0,485	0,503	-0,144
Tª med		1,000	0,929	0,625	-0,416	Tª med		1,000	0,949	0,614	-0,436
Tª max			1,000	0,447	-0,491	Tª max			1,000	0,401	-0,464
Tª min				1,000	0,138	Tª min				1,000	0,063
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
$\alpha 0,05 = 0,317$						$\alpha 0,05 = 0,381$					
$\alpha 0,01 = 0,487$						$\alpha 0,01 = 0,487$					

En la tabla 11 todas las variedades testigo excepto "GF677", muestran una correlación positiva moderada entre los datos de temperatura y la conductancia estomática. Por otro lado, el índice de verdor de las plantas control muestra una correlación positiva entre "GF677" y las temperaturas media y máxima, junto con una correlación negativa de "Guara" con la temperatura mínima, esta relación inversa también se observa cuando se trabajan todos los datos en conjunto (tabla 12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 12. Matrices de correlación entre las variedades sometidas a encharcamiento continuado (E1), junto con las plantas control, y las condiciones climáticas durante el estudio.

	SPAD Control (E1)						gs Control (E1)				
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	0,008	0,080	-0,120	-0,053	gs	1,000	0,396	0,352	0,407	-0,133
Tª med		1,000	0,929	0,625	-0,416	Tª med		1,000	0,943	0,581	-0,435
Tª max			1,000	0,447	-0,491	Tª max			1,000	0,345	-0,457
Tª min				1,000	0,138	Tª min				1,000	0,067
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
				$\alpha 0,05 = 0,119$						$\alpha 0,05 = 0,139$	
										$\alpha 0,01 = 0,180$	
	SPAD Encharcados (E1)						gs Encharcados (E1)				
	SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)		SPAD	Tª med	Tª max	Tª min	P (mm)
SPAD	1,000	-0,132	-0,109	-0,224	-0,029	gs	1,000	0,443	0,423	0,125	0,062
Tª med		1,000	0,925	0,455	-0,541	Tª med		1,000	0,923	0,455	-0,540
Tª max			1,000	0,185	-0,615	Tª max			1,000	0,150	-0,630
Tª min				1,000	0,215	Tª min				1,000	0,192
P (mm)					1,000	P (mm)					1,000
				$\alpha 0,05 = 0,150$						$\alpha 0,05 = 0,247$	
				$\alpha 0,01 = 0,201$						$\alpha 0,01 = 0,317$	

Al analizar todas las variedades en conjunto (tabla 12), la conductancia estomática de las plantas control está correlacionada con todas las temperaturas, mientras que la conductancia estomática de las plantas encharcadas también se relaciona de manera moderadamente significativa con la temperatura media y la temperatura máxima.

5.1.3 Peso seco de las variedades sometidas a encharcamiento constante (E1).

Al finalizar el estudio se comparó el peso seco de la parte radicular y aérea en las variedades bajo condiciones de encharcamiento constante y las 'control'. Destaca la variedad "Vialfas" por ser la que tiene mayor peso seco de la raíz en presencia y en ausencia de estrés por hipoxia (4,5 y 8,1g respectivamente), mientras que el "Mirabolano" presenta un peso seco radicular menor en ambos tratamientos 'E1' y 'control' (1,4 y 3,85 g respectivamente). Bajo condiciones de estrés las variedades que han mostrado un peso seco más elevado han sido "Guara" y "Vialfas" con valores de 7,5g en ambos casos, en ausencia de estrés ('Control') también son "Guara" y "Vialfas" las variedades que presentan valores superiores de 19,6 y 14,5g respectivamente (figura 25 y 26).

Nicolás, *et al.* (2005), al analizar la parte aérea y radicular pudo comparar con los datos obtenidos de raíces y hojas después de un periodo de 18 días de recuperación, en nuestro caso obtendremos resultados durante el transcurso del estudio para los distintos tratamientos. Pimentel, *et al.* (2014), analizan diferentes acumulaciones químicas y modificaciones morfológicas en raíces, tallos y hojas de plantas del estudio. Las muestras para el análisis químico se han conservado en frío para futuros estudios, ya que representa una parte importante para comprender las respuestas de las variedades al estrés por encharcamiento.

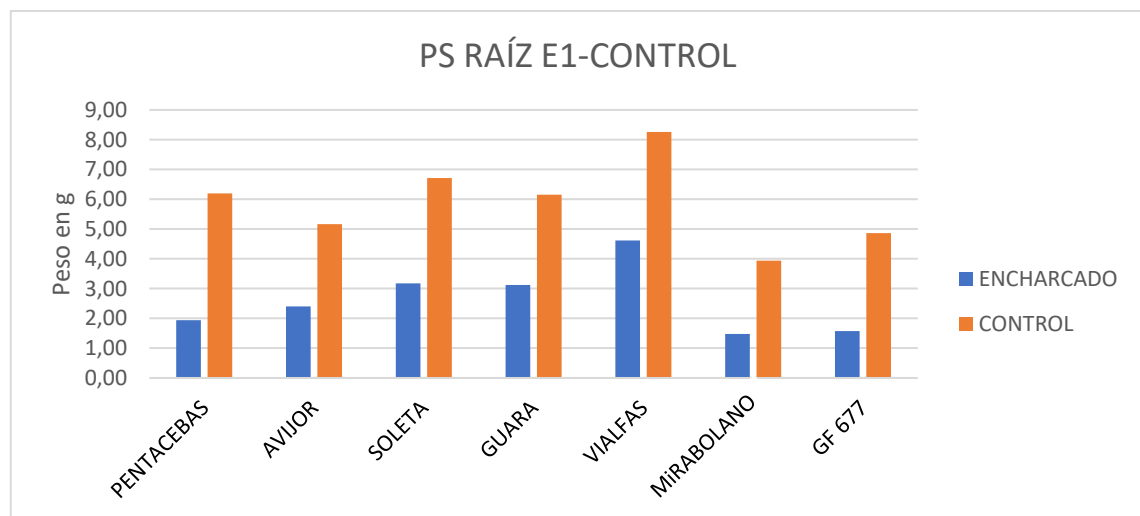


Figura 25. Tendencia de variedades encharcadas durante 360h y las variedades control. Peso seco de la raíz.

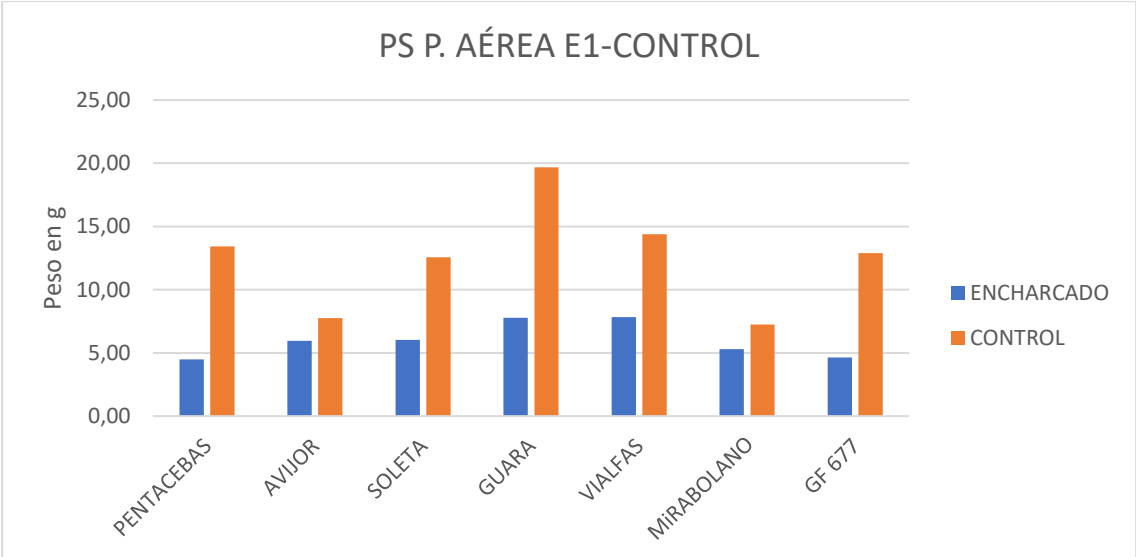


Figura 26. Tendencia de variedades encharcadas durante 360h y las variedades control. Peso seco de la parte aérea.

5.2 Respuesta al encharcamiento intermitente (E2)

5.2.1 Índice de verdor, medida de la clorofila (SPAD) de las variedades inundadas intermitentemente (E2).

Este ensayo consiste en someter a las plantas a un encharcamiento intermitente cada 24 horas, los valores SPAD son diferentes entre las variedades y también a lo largo del tiempo, por lo que se realizará un estudio para cada una de ellas.

En el comportamiento del contenido de clorofila de las variedades, a lo largo del tiempo de ensayo se comprueba que los valores más bajos en clorofila durante el transcurso de la tesis son los del “Mirabolano”, a pesar de que se mantiene estable durante los 15 días del experimento (360 h), cada vez le cuesta más recuperar los valores normales (figura 27).

El 5º día de estudio (96h), no se muestran los valores, ya que se produjeron precipitaciones en Huesca y no se realizó la medición del contenido de clorofila. En esa fecha las plantas se encontraban en situación de recuperación y drenaje. También cabe destacar que el día 12 de estudio (288 h) las plantas habían permanecido en recuperación dos días seguidos (48h en drenaje y recuperación), tal y como se muestra en las siguientes figuras de la evolución SPAD por cada variedad, a lo largo del tiempo, para las plantas de E2 y Testigo.

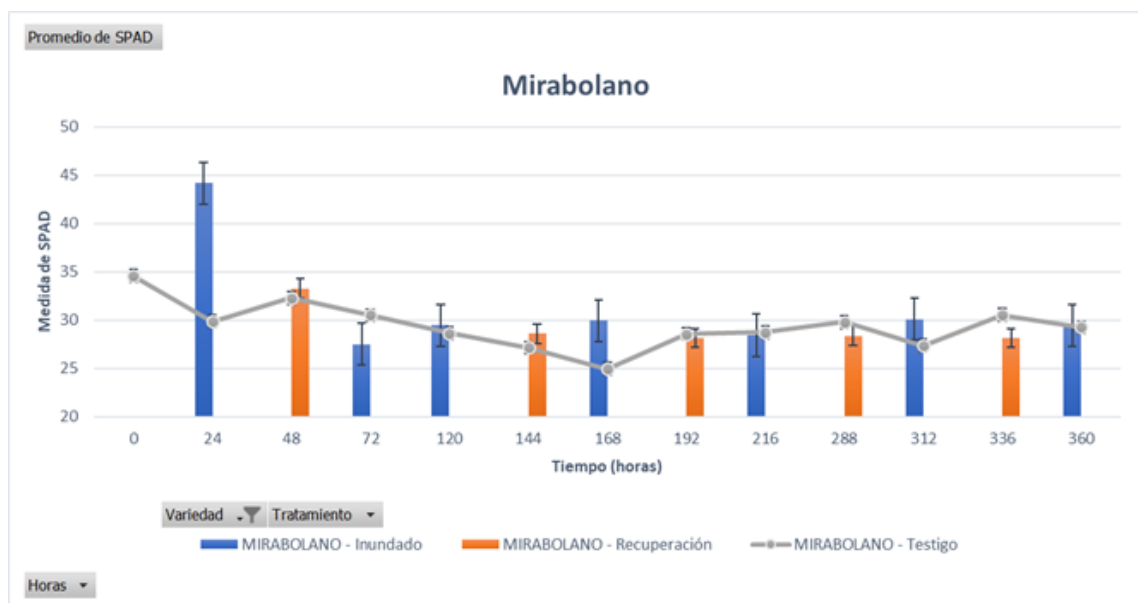


Figura 27. Evolución SPAD de la variedad “Mirabolano”. E2 y Control. 24h inundado-24h en recuperación.

El patrón “GF 677” muestra unos valores homogéneos, pero hacia el desenlace del ensayo, también le cuesta recuperar los valores normales SPAD (figura 28).

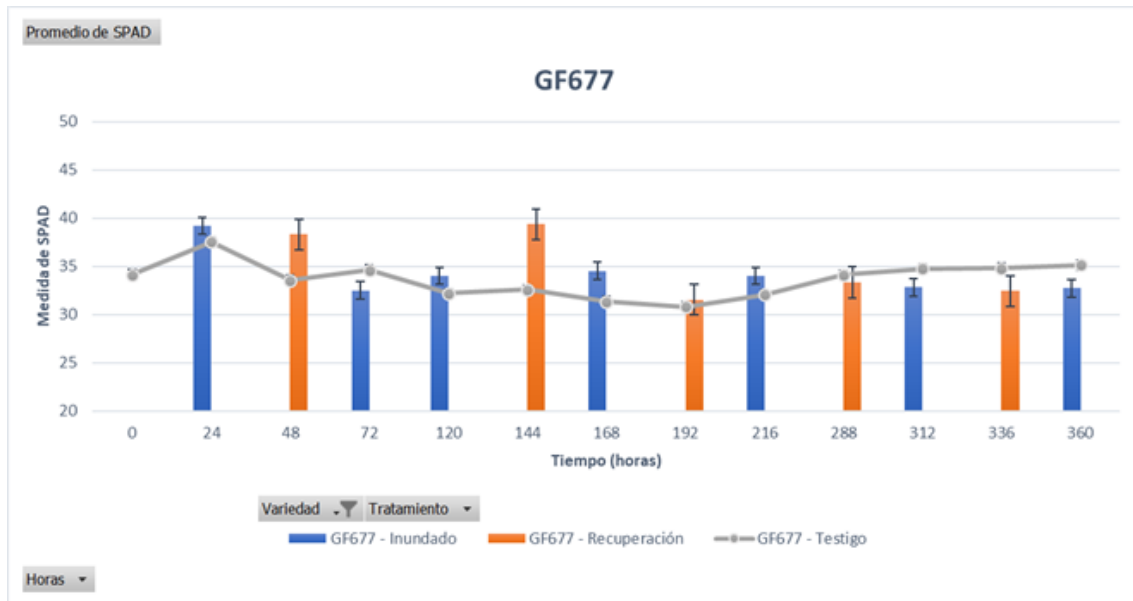


Figura 28. Evolución SPAD de la variedad "GF 677". E2 y Control. 24h inundados-24h en recuperación.

La variedad "Avijor", junto con "Guara", muestran valores más homogéneos durante el desarrollo del ensayo 'E2', no presentan tantas diferencias entre los distintos días de estudio (figuras 29 y 30, respectivamente), destacar que "Guara", muestra los valores más elevados en contenido de clorofila en hoja, junto con la variedad "Soleta", por lo que se deduce que tienen una actividad fotosintética mayor al resto.

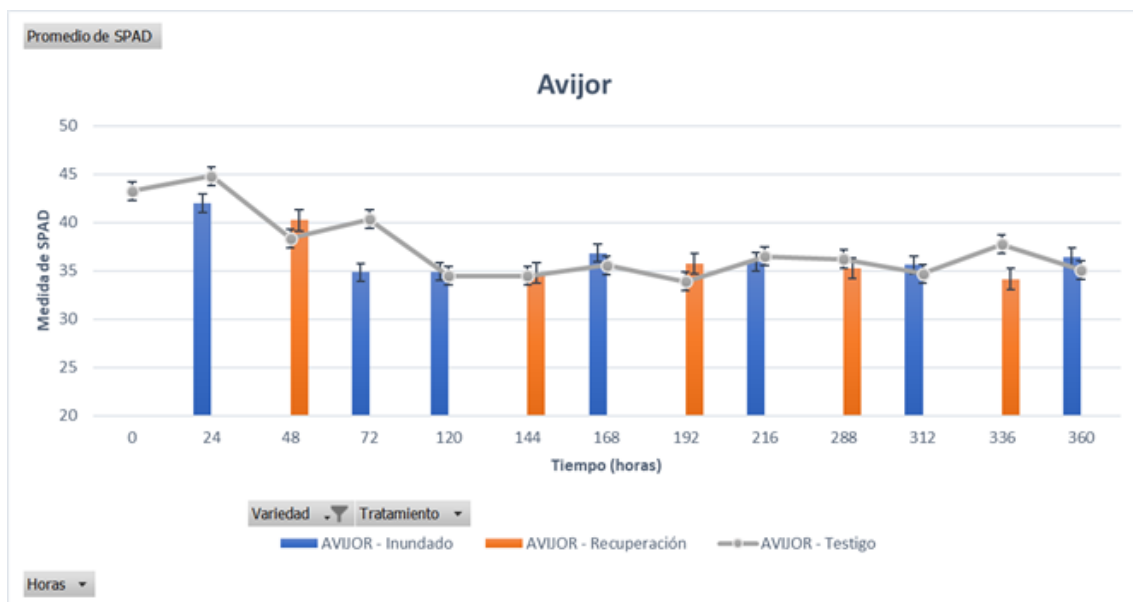


Figura 29. Evolución SPAD de la variedad "Avijor". E2 y Control. 24h inundadas-24h en recuperación.

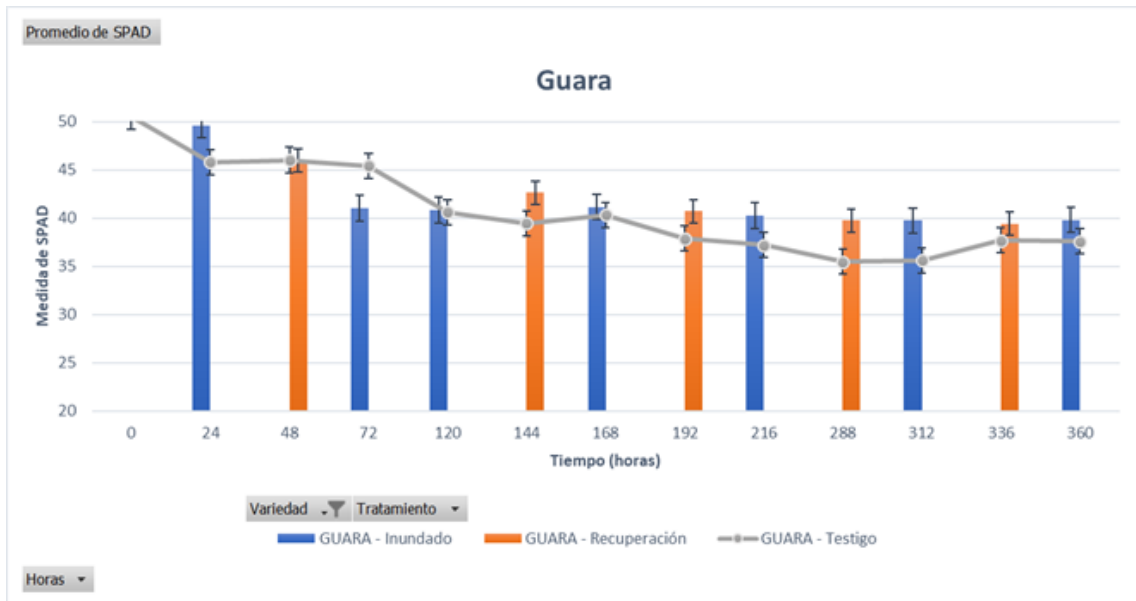


Figura 30. Evolución SPAD de la variedad "Guara". E2 y Control. 24h inundadas-24h en recuperación.

Las plantas de la variedad "Pentacebas", muestra un patrón más heterogéneo en contenido de clorofila, sin embargo, al final del estudio tampoco logran alcanzar los valores testigo (Figura 31).

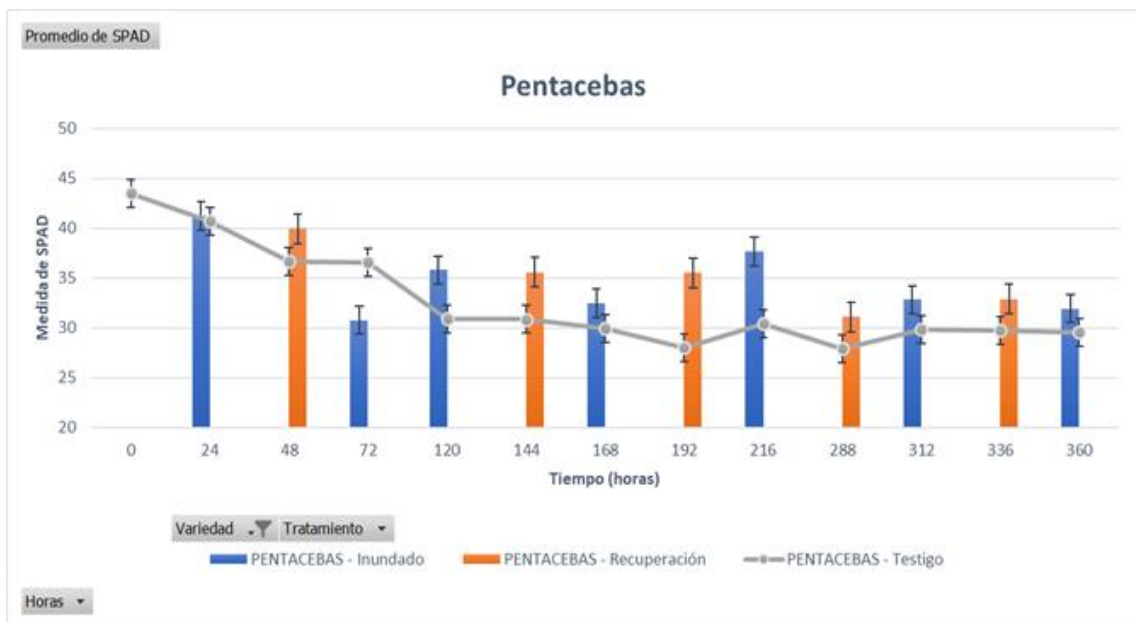


Figura 31. Evolución SPAD de la variedad "Pentacebas". E2 y Control. 24h inundadas-24h en recuperación.



Figura 32. Evolución SPAD de la variedad "Soleta". E2 y Control. 24h inundadas-24h en recuperación.

“Guara” (figura 30), recupera los valores normales en unidades SPAD, al igual que “Pentacebas” y “Vialfas” (figuras 31 y 33, respectivamente). Todas las variedades mantienen una tendencia descendente poco acusada, en su contenido de clorofila en hoja debido al estrés hídrico al que son sometidas, sin embargo, tal y como se aprecia en la evolución de cada variedad, hay variedades que sufren más bajo condiciones de encharcamiento intermitente. Las variedades de estudio muestran un agotamiento a las condiciones establecidas, ya que los valores finales siempre son más bajos que los iniciales en todas ellas.

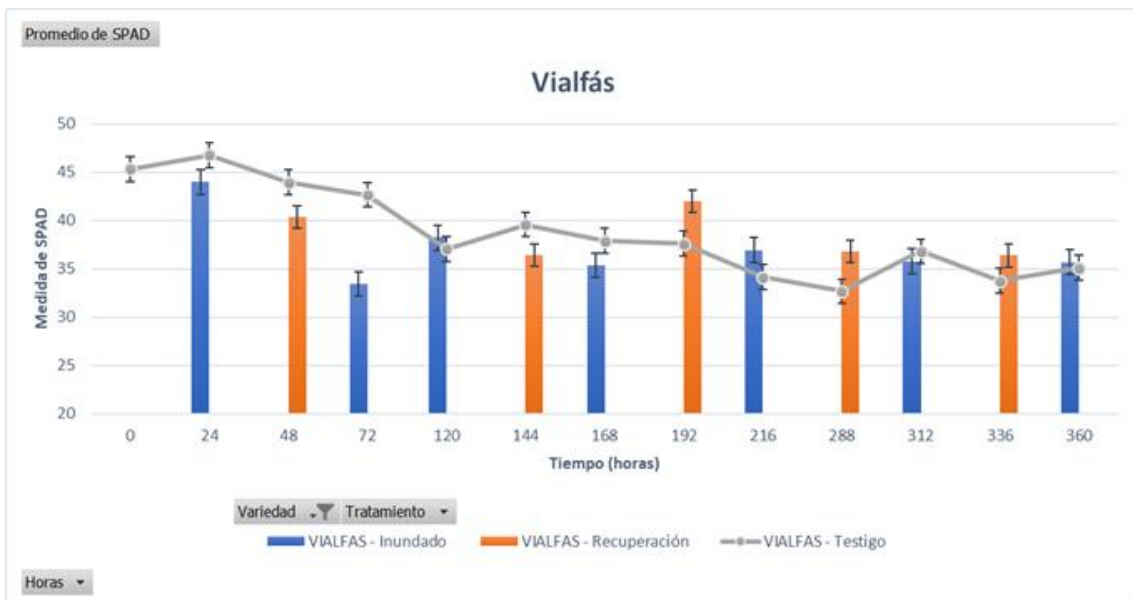


Figura 33. Evolución SPAD de la variedad "Vialfas". E2 y Control. 24h inundadas- 24h en recuperación.

Algunas plantas pueden sobrevivir en condiciones de ausencia de oxígeno en las raíces provocando complejas adaptaciones anatómicas y bioquímicas, principalmente en las raíces y las hojas. Amador *et al.* (2012), al comparar dos mirabolanos y dos híbridos de almendro x melocotón, comprobó que, las mediciones de la clorofila, en un ensayo de 7 días de encharcado y 10 días de recuperación, no mostraron diferencias significativas entre los periodos de anegamiento y recuperación en plantas control o anegadas de los dos mirabolanos. Sin embargo, en los híbridos sensibles a asfixia los valores SPAD fueron más elevados en las plantas control que en las plantas inundadas, donde observó una disminución del índice de verdor, al final del período de recuperación, también en el otro diseño experimental en el que comparó los mismos genotipos, en dos grupos de inundación-recuperación, los de 6h inundadas y 6 h en recuperación, junto con los de 24 h de inundación y 24 h de recuperación, observaron un comportamiento parecido.

En nuestro caso, la mayoría de variedades sensibles a la asfixia radicular, presentan valores superiores durante el tratamiento de inundado intermitente (E2) que las plantas ‘control’ de las mismas, incluido el patrón de “Mirabolano” presentan resultados diferentes a los nuestros, durante los períodos de recuperación los valores son generalmente superiores a los obtenidos durante los momentos de inundación, en relación a los valores testigo, destacan “Pentacebas” y “Soleta” por mostrar en algún momento del estudio, más clorofila en hoja que las plantas testigo.

5.2.1.1 Estadísticos descriptivos de las medidas SPAD, en el ensayo de encharcamiento intermitente (E2).

Durante el ensayo E2, las variedades que resultaron con valores de índice de verdor superiores a 60 son “Guara”, “Avijor” y “Vialfás”, el resto presentan valores máximos entre 50 y 60 unidades SPAD (Tabla 14).

Tabla 13. Estadística descriptiva de las variedades de estudio SPAD en E2.

Estadísticos descriptivos							
Variedades	AVIJOR	GF677	GUARA	MIRABOLANO	PENTACEBAS	SOLETA	VIALFAS
No. de observaciones	375	375	375	375	375	375	375
Mínimo	22,1	15,8	16,0	16,4	17,0	16,3	20,6
Máximo	63,4	57,0	64,9	51,7	55,0	54,7	62,5
1° Cuartil	32,5	29,9	36,0	25,9	26,8	34,5	32,8
Mediana	35,8	33,6	40,7	29,4	32,6	38,7	37,5
3° Cuartil	39,6	36,9	46,1	32,7	40,4	43,3	43,2
Media	36,9	34,1	41,2	29,9	33,7	38,3	38,2
Varianza (n-1)	40,2	38,5	54,4	38,2	71,0	46,8	65,1
Desviación típica (n-1)	6,3	6,2	7,4	6,2	8,4	6,8	8,1

5.2.2 Medida de la Conductancia estomática de las hojas (g) de las variedades inundadas intermitentemente (E2)

La Figura 34 representa las medias de la conductancia estomática por cada variedad sometida a encharcamiento intermitente, muestra valores atípicos muy bajos cercanos a '0', por lo que indica que hay mucha variabilidad en los datos recogidos.

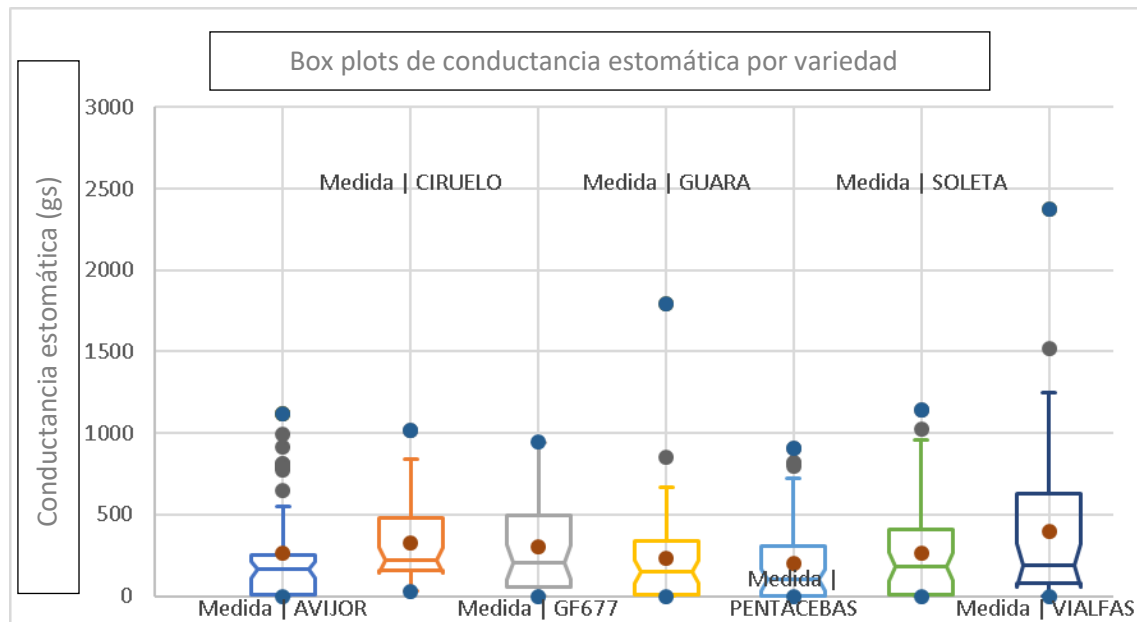


Figura 34. Box Plot de las medidas de conductancia estomática, por variedades sometidas a encharcamiento intermitente (E2). Representando las mínimas, medias, máximas y valores atípicos.

Amador *et al.* (2012) realizaron tratamientos con un período de recuperación a los 7 días de inundación continuada y otro durante períodos intermitentes de inundación-recuperación, con patrones de ciruelo e híbridos de almendro x melocotonero sensibles al encharcamiento. Observando disminución en la conductancia estomática para los 4 genotipos, siendo menor en el caso de los portainjertos tolerantes. Los 4 genotipos mostraron un incremento en la medida de la conductancia estomática durante el periodo de recuperación, sin embargo, las variedades sensibles después del periodo de recuperación acababan muriendo y las tolerantes sobrevivían en ambos tratamientos, mostrando un comportamiento y tendencia similar con las variedades estudiadas en nuestro ensayo. Jimenez *et al.* (2017) registraron experiencias idénticas con variedades de ciruela y cereza, tal y como se informó en estudios previos en *Prunus* por Beckman *et al.* 1992; Domingo *et al.* 2002; Nicolás *et al.* 2005; Insausti y Gorjón 2013; Pimentel *et al.* 2014; Salvatierra *et al.* 2016. En la revisión bibliográfica se concluye que “Mirabolano” mantiene una tendencia lineal y muestra tolerancia al encharcamiento intermitente, mientras que las otras variedades muestran un comportamiento sensible al encharcamiento intermitente, ya que presentan síntomas de estrés por encharcamiento sin llegar a ocasionar la muerte de la planta. Si el período de encharcamiento y recuperación se hubiera establecido en 3 días en vez de 24 horas, el estrés ocasionado a las variedades sensibles habría conllevado la muerte de dichas variedades, coincidiendo con los autores citados anteriormente.

5.2.2.1 Resultado de las medidas de la Conductancia estomática, en las variedades sometidas a encharcamiento intermitente E2.

En la tabla 15, se observa que “Vialfás” y “Guara” son las variedades que presentan valores medios máximos de conductancia estomática superiores al resto (2374 y 1796 $\text{mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$ respectivamente) durante el encharcamiento intermitente, siendo “Mirabolano” la variedad que mantiene los valores mínimos de conductancia $>20 \text{ mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sin embargo, el resto de variedades muestran valores mínimos más cercanos a ‘0’ ($<15 \text{ mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Tanto en la figura 34, como en la tabla 15 se puede deducir que esta medida produce alta cantidad de valores atípicos, sobre todo en “Avijor”

Tabla 14. Estadísticos descriptivos de medidas de conductancia estomática en ensayo de recuperación E2

Estadístico	Avijor	Mirabolano	GF677	Guara	Pentacebas	Soleta	Vialfás
No. de observaciones	54,00	41,00	41,00	54,00	54,00	54,00	41,00
Mínimo	0,00	29,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	1119,30	1014,00	945,10	1796,70	904,10	1139,30	2374,60
1° Cuartil	9,90	156,20	59,40	9,68	1,80	9,30	80,80
Mediana	162,50	220,90	208,50	152,50	100,05	184,80	191,10
3° Cuartil	255,10	483,00	491,80	339,80	304,13	410,13	625,60
Media	263,80	323,70	301,22	232,53	202,01	266,25	395,80
Varianza (n-1)	111736,90	64125,40	88710,10	97799,00	66553,00	94905,40	252362,90
Desviación típica (n-1)	334,30	253,20	297,80	312,70	257,90	308,10	502,4

5.2.2.2 Correlación entre la Conductancia estomática en encharcamiento intermitente (E2) y las horas de ensayo, humedad relativa y temperatura.

Todas las variedades reducen la transpiración a lo largo del tiempo de estudio con una correlación baja pero significativa con el tiempo y la temperatura. En la misma línea se encuentra la correlación con la temperatura media del momento de toma de los datos, salvo para la variedad “Guara”. Las variedades “Vialfás” y “Soleta” están poco correlacionadas con el tiempo y la temperatura, siendo “Soleta” la única que presenta una correlación baja pero significativa con la humedad relativa (tabla 16).

Respecto a las estrategias aplicadas, se mantienen las bajas correlaciones entre las medidas. La temperatura y la humedad relativa afecta al testigo, sin embargo, no tiene correlación significativa con el tiempo, en cambio, en los procesos de inundado y recuperación, el estrés producido aumenta a medida que pasa el tiempo. Mientras, el efecto de las altas temperaturas exteriores, afectan, pero con menos significancia a las plantas durante el período de inundado. El efecto sobre las plantas en proceso, se reduce posiblemente (tabla 17). Comparando con la bibliografía, observamos que al estudiar diferentes genotipos de *Prunus* bajo condiciones de

encharcado y durante 14 días, los genotipos clasificados como tolerantes (ciruelo, Cab 6P), disminuyeron sus valores de 'gs' y tasa de fotosíntesis a lo largo del tiempo, pero en menor medida que los genotipos sensibles y susceptibles (GxN, Mazzard F12/1), que también redujeron más significativamente dichos parámetros a lo largo del tiempo que los tolerantes (Pimentel *et al.*, 2014).

Tabla 15. Correlación entre las medidas de conductancia estomática (gs) a lo largo del tiempo, con respecto a la temperatura y la humedad relativa (E2).

Variedad	Variables	Tiempo	Temperatura	H. relativa
Avijor	Conductancia estomática	-0,30*	0,23*	-0,16
GF677		-0,28*	0,22*	-0,13
Guara		-0,29*	0,17	-0,11
Mirabolano		-0,30*	0,25*	-0,16
Pentacebas		-0,25*	0,24*	-0,16
Vialfás		-0,11*	0,20*	-0,11
Soleta		-0,10*	0,17*	-0,10*

Los valores con asterisco (*), son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0,05$.

Tabla 16. Correlación testigos y variedades en E2 para el tiempo, la temperatura y la H. relativa.

Variedad	Variables	Tiempo	Temperatura	H. relativa
Testigo	Conductancia estomática	-0,01	0,35*	-0,27*
Inundado		-0,48*	0,17*	-0,16*
Recuperación		-0,30*	0,11	0,01

En este ensayo el descenso en la transpiración de las variedades estudiadas, es generalizada en todas ellas. Sin embargo, la variedad "Guara" es la que reduce de manera más drástica su conductancia hacia el final del estudio, mostrando valores muy bajos. Cabe destacar, que al permanecer dos días en recuperación continuados (48h en drenaje sin riego), todas las plantas aumentan la transpiración cuando después de dicho periodo de 48h de recuperación, sufren un periodo de 24h de estrés por inundación (Figura 35). Por lo que concluimos que las diferencias entre la variedad tolerante y las sensibles no son significativas entre sí, ya que todas tiene un comportamiento similar a lo largo de la tesis de encharcado intermitente.

La variedad que presenta unos valores más estables y homogéneos durante los 14 días es "Pentacebas", siendo las plantas del "Mirabolano", las que muestran los valores más altos de transpiración al final del ensayo E2.

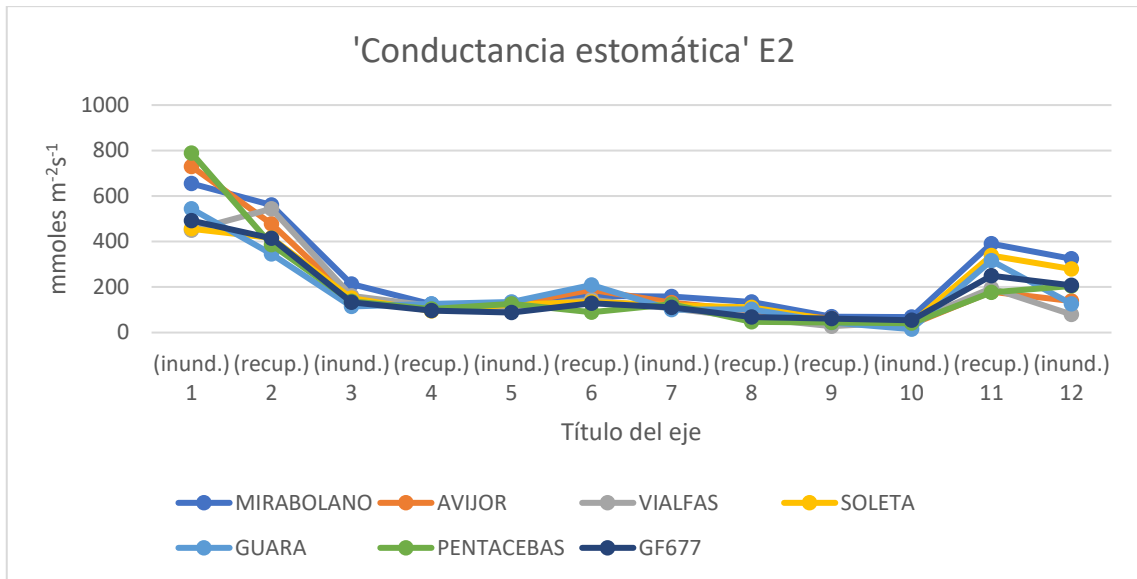


Figura 35. Grafica con las medias de Conductancia estomática, 'gs', de las plantas del ensayo E2, por cada variedad y día de estudio, en el estado en que se encuentra la muestra. mmol/m²s.

5.2.3 Peso Seco de las variedades sometidas a encharcamiento intermitente (E2).

El peso seco de la raíz de las distintas variedades estudiadas en E2 (figura 36), no presenta diferencias significativas antes del encharcamiento. Después de los 14 días de encharcamiento intermitente, se produce una reducción significativa del peso del sistema radicular (PS), de las plantas en comparación con las plantas 'control'. Se observa una disminución de entre el 33% y 62% de la biomasa radicular inicial. Después de este periodo también se ponen de manifiesto diferencias en el peso radicular de las variedades. "Soleta", "Vialfas" y "Pentacebas" tienen una mayor biomasa radicular, "Guara" tiene un valor intermedio y "Avijor" y "GF667" un sistema radicular menor. El "ciruelo" es el que presenta una biomasa radicular inferior al resto de variedades.

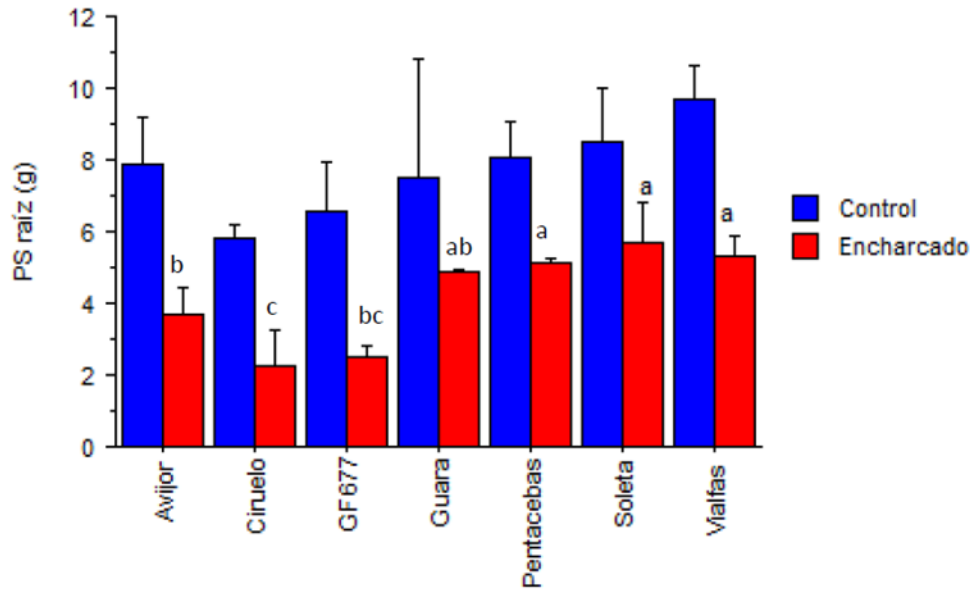


Figura 36. Peso seco de la raíz de las distintas variedades para el tratamiento E2. En gramos.

El peso de la parte aérea de las diferentes variedades (figura 37), no presenta diferencias significativas antes de someterse a encharcamiento a pesar de que el ciruelo y la variedad “Avijor” son las que tienen un peso menor (alrededor de 7 gramos en cada una de ellas). Después de los 14 días de encharcamiento no continuado, se observa una reducción general de la parte aérea de las plantas, aunque analizando las variedades por separado, en ningún caso es una reducción significativa. También se ponen de manifiesto diferencias en los pesos aéreos de las variedades. Las variedades “Guara”, “Vialfas”, “Avijor” y “Pentacebas” tienen una mayor parte aérea, “Soleta” tiene un valor intermedio y “GF667” el menor valor de las variedades de almendra. El “Mirabolano” es el que presenta una parte aérea inferior al resto de variedades.

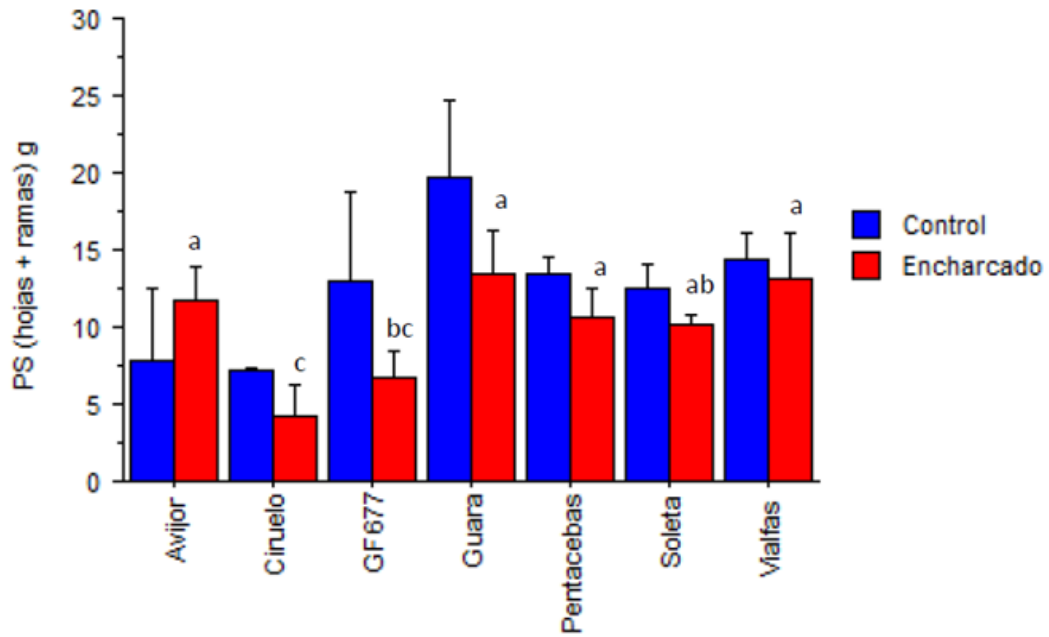


Figura 37. Peso seco (g) de la parte aérea en E2 (hojas + ramas).

El estado de anoxia durante el crecimiento de las plantas tiene el efecto general de reducir la raíz y el crecimiento superior de casi todas las plantas coincidiendo con Alvino *et al.*, (1986). Boynton y Compton (1943) lo confirmaron estudiando el melocotón, comparando con ciruelo y manzano. Morita *et al.* (1952; 1955) tuvo resultados similares y señaló que el crecimiento de la raíz de durazno se redujo particularmente por el bajo contenido de oxígeno.

Rowe (1963; 1966) demostraron la presencia de grandes cantidades de glucósido cianogénico en las raíces de las especies de *Prunus* durante la inundación: dado que este compuesto también se encontró en raíces desprendidas en condiciones de laboratorio, concluyó que la sensibilidad de las muestras está relacionada con la formación de hidrógeno-cianuro y su efecto venenoso sobre el mismo sistema radicular (inhibición de la respiración, absorción de agua y nutrientes).

6. CONCLUSIONES

- Comportamiento de las variedades sometidas a encharcamiento constante (E1):
 1. Todas las variedades sufren una disminución progresiva del contenido de clorofila en hoja hasta 1-2 días antes de la senescencia
 2. Las variedades sensibles incrementan el contenido de clorofila de la muerte y desprendimiento de las mismas (<15 uds. SPAD).
 3. “GF677” y “Guara” presentaron los mayores valores de clorofila en hoja mientras que “Mirabolano” registró los menores. El ciruelo “Mirabolano” es la excepción, ya que sobrevive a lo largo de todo el ensayo (15 días).
 4. La conductancia estomática ('gs') de las variedades muestra valores mínimos entre 0 y 20 $\text{mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$ que se corresponde con las variedades sensibles desarrollando signos de marchitez provocados por asfixia radicular, a diferencia del “Mirabolano”, que no llegó a marchitarse a lo largo del estudio de encharcamiento constante. “Avijor” fue la última variedad sensible en mostrar signos claros de marchitez.
 5. En comparación con las ‘Control’, el peso seco radicular y de la parte aérea de las variedades estudiadas disminuye por igual durante la asfixia radicular continuada, es decir, que afecta negativamente al desarrollo radicular y vegetativo de las variedades. “Vialfas” desarrolló más el sistema radicular en ‘E1’ y ‘Testigo’ mientras que “Mirabolano” presentó un menor desarrollo de sus raíces para ambos tratamientos. Las variedades que desarrollaron mayor parte aérea (hojas+parte leñosa) durante la asfixia radicular fueron “Vialfas”, “Guara” y “Soleta”, en orden decreciente.

- Comportamiento de las variedades sometidas a encharcamiento intermitente (E2):
 6. Todas las variedades evaluadas, excepto el “Mirabolano” fueron recuperando los valores normales o ‘Testigo’ sin llegar a los valores iniciales. Mientras que “Mirabolano” mantiene valores de clorofila bajos en comparación a las variedades restantes, pero mayores durante el período de inundación que el de recuperación. El resto de variedades muestra valores cercanos a los ‘Testigo’ sin embargo es durante el periodo de recuperación que aumentan el contenido de clorofila en las hojas. Las variedades “Soleta” y “Guara” registraron mayor y más homogéneo índice de verdor que el resto durante el ensayo.
 7. Al analizar la conductancia estomática de las variedades durante las condiciones de hipoxia intermitente, concluimos que todas las variedades regulan sus estomas para evitar la transpiración de manera progresiva sin llegar a valores de marchitez, ya que todas las variedades sobrevivieron al estudio gracias al periodo de recuperación. Durante un lapso de 2 días de recuperación todas las variedades, aumentaron significativamente su transpiración hasta que sufrieron la asfixia radicular durante 24 horas, fue entonces que disminuyeron la conductancia de los estomas de manera drástica manteniendo valores bajos pero no inferiores a 20 $\text{mmoles m}^{-2}\text{s}^{-1}$.
 8. El desarrollo radicular de las variedades se ve más afectado que la parte aérea en comparación con las muestras ‘Testigo’. El patrón de ciruelo “Mirabolano” presenta

9. un menor peso de la parte radicular de la planta de las muestras encharcadas intermitentemente en comparación al resto de variedades, siendo "Soleta" la que registró mayores pesos radiculares. El peso de la parte aérea mayor se observó en "Guara" siendo "Mirabolano y GF677" los pesos de la parte aérea inferiores, ambas variedades utilizadas comúnmente como portainjertos.

Como conclusión general, se identifican las variedades "Soleta, Avijor, Penta, Vialfas, Guara y GF677" como variedades sensibles a encharcamiento constante, ninguna variedad presenta rasgos diferentes o significativos en comparación con los patrones tradicionales representados por el patrón híbrido "GF677" en este estudio, siendo "Mirabolano" un ciruelo tolerante a las condiciones de anoxia (E1). Cuando hablemos de condiciones de hipoxia (E2) todas las variedades estudiadas presentan rasgos significativos para determinarlas como tolerantes a encharcamiento intermitente.

Para concluir, en caso de querer implantar las variedades de almendro estudiadas en zonas con pluviometrías elevadas y suelos con mal drenaje y una estructura compuesta principalmente por arcillas, nos decantaríamos por la alternativa productiva de utilizar como portainjerto del almendro el "Mirabolano", siempre y cuando las compatibilidades patrón-variedad hayan sido contrastadas previamente y se haya realizado un estudio detallado de las acumulaciones químicas y sus efectos durante la asfixia radicular en las variedades estudiadas de *Prunus*.

En cambio, si nos encontramos en una zona con baja pluviometría, secano o regadío y suelos bien drenados (Sureste Español), una alternativa productiva, adecuada y rentable podría ser la implantación de las variedades autorradicadas en seto, ya que presentan tolerancia a condiciones de encharcamiento intermitente por periodos no superiores a 2-3 días de asfixia radicular, excepto el "Mirabolano" que tolera hasta 15 días o más.

7. BIBLIOGRAFÍA

Agarway y Grover, (2006). *Genetic Enhancement of Crops for Tolerance to abiotic stress: Mechanisms and approaches*, Vol. 1. Springer Nature Switzerland AG.

Agromillora Iberia S.L., recuperado de (<https://www.agromillora.com/ca/agromillora-especies/atmetllers/>).

Almendrave, 2019. Recuperado de (<https://www.almendrave.com/el-sector/produccion>).

Alpert, P., Simms, E.L. (2002) *The relative advantages of plasticity and fixity in different environments: when is it good for a plant to adjust?*. *Evolutionary Ecology* 16, 285–297 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1019684612767>.

Alvino, A., Magliulo, V., Zerbi, G., (1986). *Problems of peach (prunus persica) tolerance to anaerobic conditions due to excess soil water*. Istituto per lo studio dei problema agronomici dell'irrigazione nel Mezzogiorno. Pubblicazione N. 97, 263-270. Napoli-Ponticelli.

Amador, M. L., Sancho, S., Bielsa, B., Aparisi, J. G., Cabetas, M. J., (2012). *Physiological and biochemical parameters controlling waterlogging stress tolerance in Prunus before and after drainage*. Unidad de Fruticultura, CITA de Aragon. *Physiologia Plantarum* 144: 357-368. Zaragoza, España.

Amador, M.L., Sancho, S. and Rubio-Cabetas, M.J. (2007). *Genetic and biochemical aspects involved in waterlogging tolerance in Prunus rootstocks*. Twelfth Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics. Zaragoza, septiembre. Abstracts, pp. 44.

Armstrong, W., (1980). *Advances in Botanical Research, Aeration in Higher plants*. H.W. Woolhouse. Academic Press, Volume 7. Pages 225-332. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60089-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60089-0).

Blom, C. W. P. M.; Voesenek, L. A. C. J.; *Flooding: the survival strategies of plants*, Trends in Ecology & Evolution, volume 11, Issue 7, 1996, Pages 290-295. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(96\)10034-3](https://doi.org/10.1016/0169-5347(96)10034-3).

Catlin, P.B., Hoffman, G.J., Mead, R.M. and Johnson, R.S. (1993). *Long-term response of mature plum trees to salinity*. *Irrig. Sci.* 13: 171-176.

Clarkson, D. (1996). *Root structure and sites of ion uptake*. En *Plant Roots: The Hidden Half*. New York: Eds. Y Waisel, A Eshel and U Kafkafi. Marcel Dekker Inc.

Colin-Belgrand, M.; Biron, P.; Dreyer, E., (1991). *Photosynthesis and shoot water status of seedlings from different oak species submitted to waterlogging*. Volume 48, Number 2, p. 205-214. <https://doi.org/10.1051/forest:19910207>.

Coutts, M., (2011). *Developmental processes in tree root systems*. *Canadian Journal of Forest Research*. 17. 761-767. 10.1139/x87-122.

Cueto, G., (2002). *Análisis de glucósidos cianogénicos en variedades de almendro: implicaciones en la mejora genética*. Tesis doctoral de la Universidad de Alicante.

Domingo, R., Pérez-Pastor, A. y Ruiz-Sánchez, MC (2002). *Respuestas fisiológicas de plantas de albaricoque injertadas en dos patrones diferentes a condiciones de inundación*. *Revista de fisiología vegetal*, 159 (7), 725–732. doi: 10.1078 / 0176-1617-0670.

- Dong, S., Wang, M., Gao, L.; Sun, Y., Shen, Q., Guo, S. (2017). *Role of silicon on plant-pathogen interactions*. *Frontiers in plant Science*, Volume 8, p. 701. DOI=10.3389/fpls.2017.00701.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of Seed Plants*. 2nd. Ed. John Wiley and Sons. New York.
- Espada J.L., Romero J., Segura J., 2000. *Informaciones técnicas*, Gobierno de Aragón, Centro de Técnicas Agrarias (DGA, SFEA). España. 87-7p.
- Felipe, A. J. (2000). *El Almendro*. Mira Editores, S.A. 24-116.
- Felipe, A.J. y Pascual, M.T. (1990). *Propagación de los nuevos clones de ciruelo 'Pollizo', 'Monpol' y 'Montizo'*. ITEA Vol. Extra 9: 215-220.
- Felipe, A.J., Gómez Aparisi, J., Socias i Company, R. and Carrera, M. (1997). *The almond x peach hybrid rootstocks breeding program at Zaragoza (Spain)*. *Acta Hort.* 451 (1): 259-262.
- Figueras M., 2020. *Evaluación de la tolerancia a la caliza activa de cinco variedades autorradicadas de almendro* (Trabajo Fin de Máster). Escuela Politécnica Superior de Huesca, Huesca.
- Fischer, Gerhard & Orduz, Javier. (2012). *Ecofisiología en frutales*. Manual para el cultivo de frutales en el trópico, G. Fischer ed. Produmedios, Bogotá 2012. 54-72.
- Fitter, A, *Characteristics and functions of root systems, in Plant Roots: The Hidden Half*. Waisel, Y., Eshel, A., and Kafkafi, U. (eds.), 2nd ed., Dekker, New York. 1-20. 1996.
- Gur y Blum (1973). *A model for graft compatibility-incompatibility in higher plants*. *Botanical Society Of America*, Volume 71, Issue 5, p. 752-758. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1984.tb14182.x>
- Hartmann, H.; Kester, D., (1975). *Propagación de las plantas*. México. Compañía editorial Continental S. A. 814.
- Hernández, D. M. S., Moreno, P. M. (2002). *El cultivo del almendro*. Madrid (España), 1ª Edición, A. Madrid Vicente, Ediciones, Mundi Prensa.
- Iacona, C., Cirilli, M., Zega, A., Frioni, E., Silvestri, C., Muleo, R., (2013). *A somaclonal myrobalan rootstock increases waterlogging tolerance to peach cultivar in controlled conditions*. *Universidad de Pisa. Scientia Horticulturae* 156 1-8. Pisa, Italia.
- Insausti P., Gorjón S., (2013) *Floods affect physiological and growth variables of peach trees (Prunus persica (L.) Batsch), as well as the postharvest behavior of fruits*. *Scientia Horticulturae* 152. 56-60.
- Jimenez, M. P., Munuera, M. H., Piñero, M. C., Ortega, G. L., M. del Amor, F., (2017). *Are commercial sweet cherry rootstocks adapted to climate change? Short-term waterlogging and CO2 effects on sweet cherry cv. 'Burlat'*. *Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA)*. DOI: 10.1111/pce.12920.

Klumb, E. K., Rickes, L. N., Braga, E. J. B., Bianchi, V. J., (2016). *Evaluation of gas exchanges in different Prunus Spp. Rootstocks under drought and flooding stress*. Botany Department Rio Grande do Sul, Brasil. DOI: 10.1590/0100-29452017 899.

Kozlowski, T.T. (1997). *Responses of woody plants to flooding and salinity*. Tree Physiol. 1: 1-22.

Kozlowski, TT, (1984). Respuesta de las plantas a las inundaciones del suelo. BioScience 34, 162-167.

Liao, C & Lin, C. (2001). *Physiological adaptation to crop plants to flooding stress*. Proceedings of the National Science Council, Republic of China. Part B, Life sciences. 25. 148-57.

Mapa litológico de España, 1978. Instituto Geográfico Nacional, Gobierno de España. Recuperado de (<http://atlasnacional.ign.es/wane/Suelos>).

Martinazzo, E., Perboni, A., Oliveira, P., Bianchi, V., Becarin, M., (2013). *Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento*. Instituto de Biologia, departamento de Botánica. Ciencia Rural, Santa Maria, v43, n.1, p.35-41.

Mccarthy, M. G., & Stoll, M. Dry, P. R., Loveys, B. R., (2001). *Strategic irrigation management in Australian vineyards*. OENO One, 35(3), 129–139. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2001.35.3.1699>.

Melgarejo, P.; Salazar, D. (2002). *El cultivo del almendro*, Mundi Prensa Libros, España.

Miarnau, X.; Vargas, F.; Montserrat, R.; Alegre, S. (2010). *Aspectos importantes en las nuevas plantaciones de almendro en regadío*. Fruticultura Profesional. IRTA 10. 94-103.

Mitzuani, F., Sugiura, A., Tomana, T., (1978) *Root Cyanogenesis of Prunus S Respiratory Inhibitors and pecies as Affected by Some Chemicals*. College of Agriculture, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606. Received for publication August 17, 1978. 443-446.

Montero Riquelme, F. J. (1993). *Caracterización morfológica del almendro (Amygdalus communis, L.)*. Universidad de Castilla-La Mancha. Escuela técnica superior de Ingenieros Agrónomos. Murcia: COMPOBELL, S.L.

Moore, R. (1984). *Un modelo de compatibilidad-incompatibilidad de injertos en plantas superiores*. American Journal of Botany, 71 (5), 752. doi: 10.2307 / 2443372

Moreno Roblero, M. J., Pineda, J., León, M., Castellanos, J. (2020). *El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas*. Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado de Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas vol. 11, 16 mayo-29 junio. 931-934.

Nicolás, E.; Álvarez, S.; Navarro, A.; Blanco, M., (2011). *Transpiration, photosyntetic responses, tissue water relations and dry mass partitioning in Callistemon plants during drought conditions*, Scientia Horticulturae, Volume 129, Issue 2. Pages 306-312. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.031>.

Oficina del regante, Gobierno de Aragón, 2019.

Paternina, G. A., (2002). *Análisis de glucósidos cianogénicos en variedades de almendro: implicaciones en la mejora genética*. Tesis doctoral de la Universidad de Alicante.

Peña, J. L., Lozano, M. V. (2004). *Las unidades del relieve aragonés*. Universidad de Zaragoza, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Zaragoza (España).

Pezeshki, SR, (2001). *Respuestas de las plantas de los humedales a las inundaciones del suelo*. Reinar. Exp. Larva del moscardón. 46, 299–312.

Pimentel, P., Almada, RD, Salvatierra, A., Toro, G., Arismendi, MJ, Pino, MT., Pinto, M. (2014). *Respuestas fisiológicas y morfológicas de especies de Prunus con diferente grado de tolerancia a la hipoxia radicular a largo plazo*. Scientia Horticulturae, 180, 14-23. doi: 10.1016 /.

Ponnamperuma, F. N., (1984). Flooding and Plant Growth. *Effects of Flooding on Soils*, p. 10-39. Academic press, INC. Orlando, Florida.

Reighard, G.; Loreti, F., (2008). The Peach: Botany, Production and Uses, *Rootstock development*, Pages 193-215. CAB International, London, UK.

Reilly, K., Gómez-Vásquez, R., Buschmann, H. *et al.* (2003). *Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration*. Plant Mol Biol 53, 669–685 (2003). <https://doi.org/10.1023/B:PLAN.0000019076.76614.88>.

Rowe, R.N. and Catlin, P.B. (1971). *Differential sensitivity to waterlogging and cyanogenesis by peach, apricot, and plum roots*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 305-308.

Rubio-Cabetas, M.J., Amador, M.L., Gómez-Aparisi, J., Jaime, J., Sancho, S., 2011. *Physiological and biochemical parameters involved in waterlogging stress in Prunus*. Acta Hortic. 903, 1215–1224.

Sáez, J. L., (2015). *Tipos de suelo de España*. Recuperado de (<http://plantararboles.blogspot.com/2010/12/tipos-de-suelos-en-espana.html>)
Striker, G. G., (2014). *Flooding stresses on plants: Anatomical, Morphological and Physiological responses*. IFEVA_CONICET, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Superficies y producciones anuales de cultivos. (s. f.-b). Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación. Recuperado 21 de octubre de 2020, de <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>

Valero, A. M., 2015. *Respuesta de las características del sistema de raíces y de la vegetación en patrones de almendro frente al aporte de estimulantes de raíz*. Trabajo Final de Máster, Universidad de Valencia.

Vargas, F.; Romero, M.; Clavé J.; Alegre, S.; Miarnau, X. (2009). *Varietades de almendro IRTA*. Institute of Agrifood Research and Technology, Lleida. https://www.recercat.cat/bitstream/id/18521/Vargas_2009.pdf

Vartapetian, B.; Jackson, M., (1997). Annals of Botany, *Plant adaptations to Anaerobic Stress*, Volume 79. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a010303>.

Wong S., Cowan, I., Farquhar, G., 1979. *Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity*. Nature 282, 424–426.

Yadollahi, A., Arzani, K., Ebadi, A., Wirthensohn, M., & Karimi, S. (2011). *The response of different almond genotypes to moderate and severe water stress in order to screen for drought tolerance*. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 403–413. doi: 10.1016/j.scienta.2011.04.007

Yin, D., Chen, S., Chen, F., Guan, Z. y Fang, W. (2009). *Respuestas morfológicas y fisiológicas de dos cultivares de crisantemo que difieren en su tolerancia al anegamiento*. *Botánica ambiental y experimental*, 67 (1), 87–93. doi: 10.1016 / j.envexpbot.2009.06.006.

Yordanova, R.; Popova, L., (2001). *Photosynthetica, Photosynthetic Response of Barley plants to soil flooding*. Volume 39, p. 515-520. <https://doi.org/10.1023/A:1015643710177>.

Zarrouk, O., Gogorcena Y., Gómez-Aparisi J., Betrán J.A. and Moreno M.A. (2005). *Influence of peach x almond hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars*. *Sci. Hortic.* 106: 502-514.

Ziegler, V., (2007). *Respuestas del melocotonero a la inundación del suelo y su relación con la calidad y el comportamiento de los frutos en postcosecha*. Tesis Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.