

INUNDACIÓN DE UN MONTE FRUTAL DE DURAZNEROS: RESPUESTAS FISIOLÓGICAS Y DE CRECIMIENTO

Víctor H. Ziegler^{1*}, Edmundo Ploschuk² y Pedro Insausti^{1 y 3}

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Fruticultura, Argentina

*E-mail: vziegler@agro.uba.ar

²Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Cátedra de Cultivos Industriales, Argentina

³ Universidad de Buenos Aires - CONICET, Facultad de Agronomía, IFEVA - Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura, Argentina

Recibido: 01/04/2023

Aceptado: 15/02/2024

RESUMEN

El duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] es una especie frutal que no tolera inundaciones. Aunque la inundación es un factor de estrés que afecta a montes frutales, la mayor parte de los antecedentes se circunscriben a sus efectos sobre plantas menores a dos años de edad, principalmente portainjertos. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de una inundación sobre las respuestas fisiológicas y de crecimiento de árboles adultos de durazneros cv. Red Globe. Los tratamientos fueron: (i) testigo y (ii) inundación durante 32 días, durante el período de crecimiento de los frutos. La concentración de clorofila, el potencial hídrico, la conductancia estomática y la fotosíntesis neta de las hojas fueron afectadas negativamente por la inundación del suelo. Sin embargo, la concentración interna de CO₂ fue similar en ambos tratamientos, lo cual indica que factores estomáticos y no estomáticos incidieron sobre la fotosíntesis. El crecimiento en longitud y diámetro de los brotes, el peso fresco y el peso seco de las hojas y el área foliar fueron significativamente menores en el tratamiento de inundación respecto al testigo. Las respuestas de crecimiento estarían relacionadas directamente con la afectación por la inundación del metabolismo del carbono y del potencial hídrico a través de su componente de presión. El significado agronómico de las respuestas fisiológicas y de crecimiento del duraznero a la inundación, evaluadas en este trabajo, es que podrían incidir sobre el rendimiento o "performance" productiva del monte frutal de esta especie.

Palabras clave: estrés abiótico, hipoxia radical, Amigdaloidae.

FLOODING OF A PRODUCTIVE PEACH ORCHARD: PHYSIOLOGICAL AND GROWTH RESPONSES

ABSTRACT

The peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] is an intolerant flooding species. While floods are a well-known stress factor affecting productive orchards, most of the available research focuses on its impact on plants younger than two years old, particularly rootstocks. The objective of this work was to assess the effects of flooding on physiological and growth responses of mature peach trees cv. Red Globe. The treatments were: (i) control, and (ii) 32 days of flooding during the fruit growth period. At the end of the experiment, the chlorophyll concentration, water potential, stomatal conductance, and leaves net photosynthesis rate were negatively affected by soil flooding. However, the internal CO₂ concentration was similar in both treatments, indicating that stomatal and non-stomatal factors affected photosynthesis. Shoot's growth in length and diameter, fresh weight, dry weight, and leaf area were significantly lower in flooding treatment than the control. The growth responses would be directly related to the impact of flooding on carbon metabolism and water potential, through its pressure component. The agronomic significance of physiological and growth responses of peach tree to flooding, as evaluated in this study, lies in their very direct relationship with the productive performance of this fruit species orchards.

Key words: abiotic stress, Amigdaloidae, radical hypoxia.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones afectan a grandes áreas en todo el mundo y generalmente el daño sobre los cultivos está relacionado con un drenaje deficiente del suelo combinado con precipitaciones y/o mal manejo del riego y el ascenso de la napa freática (Holzapfel *et al.*, 2009). Las inundaciones suelen ocurrir de forma inesperada y con intensidad variable, y son cada vez más frecuentes debido a los efectos del cambio climático global (Alpert *et al.*, 2002; Hirabayashi *et al.*, 2013; IPCC, 2019). Este factor de estrés en cultivos agrícolas conduce a pérdidas económicas significativas al afectar la cantidad y la calidad de los productos cosechados (Sullivan *et al.*, 2001; Horchani *et al.*, 2008; Horchani *et al.*, 2010; Insausti y Gorjón, 2013).

Durante los episodios de inundación, el agua desplaza al oxígeno de los poros del suelo, lo cual sumado a su muy baja difusión en el agua (aproximadamente 10.000 veces más lenta que en el aire) y a la respiración microbiana y de las raíces, provoca la disminución en su concentración y conduce a una situación de hipoxia o anoxia (Parent *et al.*, 2008). La baja concentración de oxígeno provoca la inhibición de la respiración mitocondrial de las células radicales y disminuye el pH citoplasmático. En consecuencia, cambia la configuración de las acuaporinas (proteínas de membrana que funciona conformando canales que permiten el pasaje de agua), lo que redundaría en una reducción significativa de la conductividad hidráulica de la raíz (Tournaire-Roux *et al.*, 2003; Kreuzwieser y Rennenberg, 2014). Asimismo, la inundación provoca en el suelo condiciones reductoras que derivan en la acumulación de compuestos tóxicos como, por ejemplo, ácido sulfhídrico (H_2S), ion manganeso (Mn^{+2}) e ion ferroso (Fe^{+2}) (Ponnamperuma, 1972).

La reducción de la concentración de oxígeno en el suelo inundado perjudica de manera significativa a muchas especies vegetales (Voisenek y Bailey-Serres, 2015), las cuales manifiestan respuestas morfológicas y/o fisiológicas, como así también alteraciones de la expresión génica, que afectan su metabolismo, su crecimiento y desarrollo (Larson *et al.*, 1991; Kozlowski, 1997). Sin embargo, la susceptibilidad de una determinada especie a este estrés varía, entre otros factores, con la edad de la planta y del momento y la duración de la inundación (Bailey-Serres y Voisenek, 2008). Por su parte, en los árboles frutales la tolerancia a la inundación estaría en parte determinada por el portainjerto, debido a que sus raíces están en relación directa con la inundación. Por ejemplo, un corto período de inundación

provoca en los portainjertos jóvenes de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch], cultivares Monegro y Nemared, una reducción significativa de la fotosíntesis, del potencial hídrico de las hojas, de la conductancia estomática y del crecimiento vegetativo (Ziegler *et al.*, 2017). En cambio, los portainjertos de duraznero basados en ciruelo cv. Mirabolano presentan mayor tolerancia a la inundación que los cultivares Monegro y Nemared, al evaluar las variables de respuesta mencionadas (Muleo *et al.*, 2006; Amador *et al.*, 2012; Pistelli *et al.*, 2012; Iacona *et al.*, 2013; Ziegler *et al.*, 2017).

Si bien el duraznero es una especie intolerante a la inundación (Insausti y Gorjón, 2013; Ziegler *et al.*, 2017), el único antecedente a la fecha sobre el efecto de la inundación en plantas adultas es el de Insausti y Gorjón (2013). Dichos autores obtuvieron que pulsos diarios de 12 h de inundación afectan negativamente la conductancia estomática, el contenido de clorofilas de las hojas, el potencial hídrico de las hojas y el crecimiento de brotes y frutos. Actualmente, no existen antecedentes del efecto continuo de este factor de estrés en árboles de duraznero adultos sobre la fotosíntesis neta y los componentes que la determinan, como así tampoco se conoce qué impacto tiene sobre el estado hídrico y el crecimiento vegetativo. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de una inundación del suelo sobre dichas variables, en árboles adultos de durazneros, en un monte frutal en producción.

METODOLOGÍA

Material vegetal y tratamientos

El experimento se instauró en el monte frutal experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (Argentina) ($34^{\circ} 35' S - 58^{\circ} 29' O$). Se utilizaron árboles de duraznero de 15 años del cv. Red Globe injertados sobre el portainjerto cultivar Cuaresmillo y plantados a una distancia de 3 m dentro de la fila y 4 m entre filas. El suelo se clasificó como Argiudol con un horizonte B textural a los 30 cm de profundidad y un contenido de arcilla de 38%.

Se seleccionaron 12 árboles similares, en términos de vigor y tamaño, utilizando seis árboles para cada tratamiento. A fin de evitar el efecto de bordura, no se utilizaron las filas de árboles ubicadas sobre la periferia. Se realizaron los siguientes tratamientos: (i) testigo (donde el aporte de agua solo provino de las lluvias y del riego complementario) y (ii) inundado (donde se mantuvo el nivel de agua de 5 cm por encima de la superficie del suelo de forma continua durante todo el

experimento). El tratamiento de inundación en (ii) se realizó de forma continua durante un período de 32 días (desde el 22 de noviembre al 23 de diciembre de 2018), comprendidos entre el comienzo de la lignificación del carozo (*i.e.* etapa II del crecimiento de los frutos; De-Jong y Goudriaan, 1989) hasta el momento de comenzar la cosecha de los frutos. La lignificación del carozo se determinó utilizando frutos cosechados del mismo lote de árboles. Para determinar que el carozo de los frutos estaba lignificado se cortaron los mismos por su zona ecuatorial utilizando una navaja; si la navaja no cortaba al fruto se consideró que el mismo tenía el carozo lignificado.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completo aleatorizado. El riego complementario de los árboles testigos y el mantenimiento del nivel de agua de los árboles inundados se realizó mediante el uso de goteros. Para evitar el movimiento lateral de agua, se colocó durante el período de reposo invernal, un film de polietileno de 150 micrones de espesor alrededor de cada árbol hasta una profundidad de 1 m y una distancia de 1,5 m desde el fuste del árbol. El film de polietileno también se colocó alrededor de los árboles testigo. El estado de oxigenación del suelo se caracterizó al final del experimento, sobre todas las repeticiones de ambos tratamientos, a través de la medición de la tasa de difusión de oxígeno en el suelo a una profundidad de 10 cm y a 50 cm de la planta. Para ello, se utilizó un microelectrodo de platino y un electrodo de calomel como referencia (Letey y Stolzy 1964; Striker *et al.*, 2007).

Respuestas fisiológicas

Se determinó la conductancia estomática (g_s), la tasa de intercambio neto de carbono (P_n) y la concentración de CO_2 intercelular (c_i) sobre hojas jóvenes totalmente expandidas, ubicadas en el tercio medio del brote del año, con similar orientación (hacia el oeste) y con similar ubicación dentro de la copa del árbol. Para medir la P_n y la c_i se utilizó un analizador infrarrojo de gases portátil (IRGA, según su sigla en inglés) modelo Li-Cor 6200 (Li-Cor Inc., Nebraska, Estados Unidos) y para medir la g_s se utilizó un porómetro de difusión (Delta T AP4, Delta-T Devices, Cambridge). Ambas determinaciones fueron realizadas al mediodía [PPFD (densidad de flujo de fotones fotosintéticos) = $1954 \pm 46 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, en promedio] utilizando una hoja por planta (seis repeticiones por tratamiento). El potencial hídrico de las hojas (Ψ_h) se determinó al mediodía, sobre las mismas hojas que se utilizaron para medir g_s , P_n y c_i .

Para ello, se utilizó una cámara de presión tipo Schölander (Bio-Control, modelo 6, Buenos Aires, Argentina). El contenido de clorofilas de las hojas se estimó el día 32 de inundación utilizando un medidor SPAD 502 Konica Minolta (SPAD-502, Minolta Tokio, Japón). Para ello, se utilizaron cinco hojas de cada árbol, ubicadas en el tercio medio del árbol orientadas hacia el norte. Todas las mediciones fisiológicas fueron realizadas al comienzo del experimento y a los 32 días de aplicar los tratamientos.

Crecimiento de brotes, área foliar, peso fresco y peso seco de hojas

En cada árbol, al inicio del experimento se seleccionaron y marcaron 10 brotes del año de igual vigor, ubicados en el tercio medio del árbol, a los que se les midieron su longitud y diámetro basal empleando una cinta métrica y un calibre digital respectivamente. Las mediciones se realizaron a los 0, 9, 16, 26 y 32 días de haber iniciado el tratamiento de inundación. Al final del período de inundación se cosecharon 25 hojas por árbol ubicadas en el tercio medio de los brotes, para realizar las mediciones de área foliar, peso fresco y peso seco de hojas. Para determinar el peso fresco, las hojas fueron cosechadas e inmediatamente pesadas utilizando una balanza analítica (Ohaus, Estados Unidos). Posteriormente, para estimar su área, se midió el largo y el ancho de cada hoja con una regla. Luego, las hojas fueron cosechadas y secadas en una estufa a 75°C hasta alcanzar peso constante, determinado con una balanza analítica (Ohaus, Estados Unidos).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados a través del análisis de la varianza (ANOVA). La homogeneidad y la normalidad de la varianza fueron verificadas previamente utilizando las pruebas de Levene y Shapiro-Wilk. Se utilizó una prueba de medidas repetidas en el tiempo para el análisis de las variables de respuesta entre tratamientos y días ($P < 0,05$). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete STATISTICA para Windows (StatSoft, Tulsa, OK, Estados Unidos). Todos los resultados se presentan como promedio y error estándar.

RESULTADOS

Tasa de difusión de oxígeno en el suelo

Al cabo de 32 días de inundación continua la tasa de difusión de oxígeno en el suelo inundado fue significativamente menor ($P < 0,001$) respecto al testigo. Los

valores promedio fueron de $0,5 \mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $900 \mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ para el suelo inundado y el testigo, respectivamente.

Potencial hídrico de las hojas

Al inicio del experimento, los árboles de duraznero de ambos tratamientos comenzaron con igual condición hídrica en las hojas. Sin embargo, luego de 32 días el potencial hídrico (ψ_h) de las hojas fue significativamente mayor en los árboles del tratamiento testigo respecto de aquellos expuestos a la inundación ($P < 0,05$) (Figura 1).

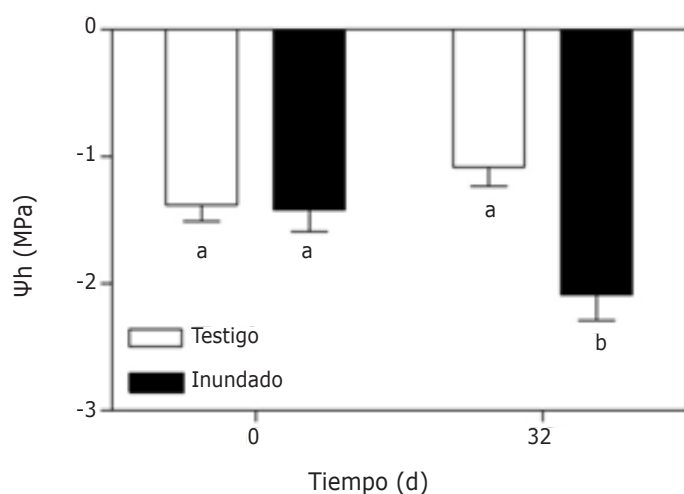


Figura 1. Potencial hídrico de las hojas (ψ_h) de árboles de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] mantenidos en condiciones de capacidad de campo (testigo) o sujetos a inundación continua del suelo (inundado) durante 32 días. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). Las columnas representan la media y las barras indican el error estándar.

Conductancia estomática (g_s), concentración intercelular de CO_2 (c_i) y fotosíntesis neta (P_n)

El tratamiento de inundación afectó negativamente la g_s luego de 32 días, registrando una diferencia significativa del 80% con respecto al testigo ($P < 0,05$) (Figura 2A). Sin embargo, la c_i no varió significativamente ($P > 0,05$) entre tratamientos durante el experimento (Figura 2B). La P_n tuvo una respuesta similar a la g_s con una diferencia significativa del 60% en la asimilación neta de carbono a favor del testigo ($P < 0,05$) (Figura 2C).

Contenido de clorofila en hojas

Luego de 32 días de inundación continua el contenido de clorofilas de las hojas fue significativamente menor al registrado en el testigo ($P < 0,05$) (Figura 3). Este hecho también se comprobó visualmente ya que

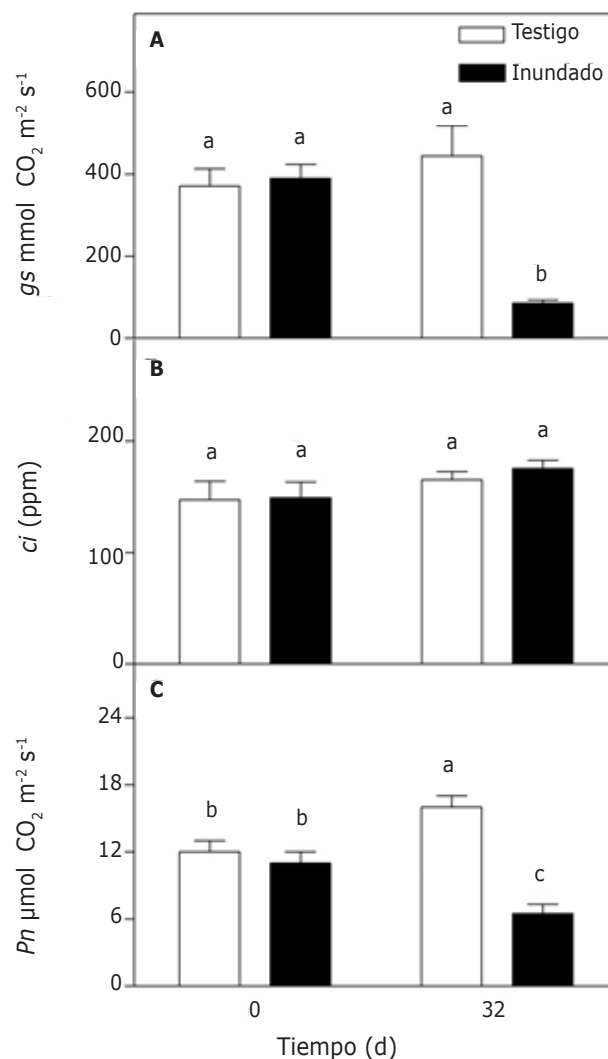


Figura 2. (A) Conductancia estomática (g_s), (B) concentración intercelular de CO_2 (c_i) y (C) fotosíntesis neta (P_n) en hojas de árboles de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] mantenidos en condiciones de capacidad de campo (testigo) o sujetos a inundación continua del suelo (inundado) durante 32 días. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). Las columnas representan la media y las barras indican el error estándar.

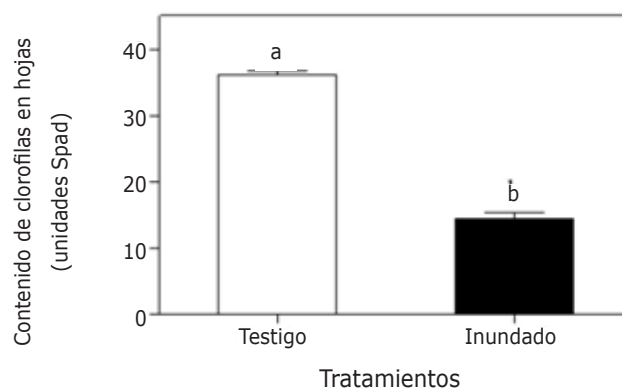


Figura 3. Contenido de clorofilas en hojas de árboles de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] mantenidos en condiciones de capacidad de campo (testigo) o sujetos a inundación continua del suelo (inundado) durante 32 días. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). Las columnas representan la media y las barras indican el error estándar.

los árboles inundados presentaban clorosis generalizada en las hojas.

Crecimiento de los brotes, peso fresco, peso seco de hojas y área foliar

El crecimiento de los brotes de los árboles de duraznero expuestos al tratamiento de inundación fue afectado significativamente ($P < 0,05$), tanto en su longitud (Figura 4A) como en su diámetro (Figura 4B). Las diferencias entre los tratamientos (*i.e.* testigo vs inundado), con respecto al crecimiento del diámetro basal del brote, se observaron a partir del noveno día de iniciada la inundación, mientras que, para el crecimiento en longitud, a partir del día 26. El crecimiento en diámetro de los brotes fue de apenas un 9% respecto al valor medido al comienzo del experimento (sugiero recordar fecha), mientras que el testigo aumentó su tamaño un 40% respecto al valor inicial (Figura 4).

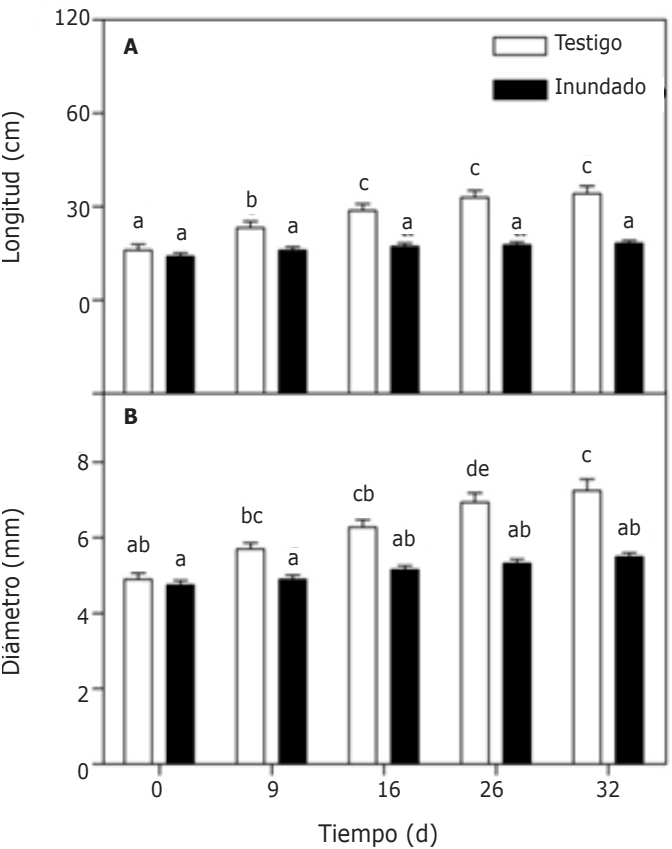


Figura 4. (A) Crecimiento en longitud. y (B) diámetro de brotes de árboles de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] mantenidos en condiciones de capacidad de campo (testigo) o sujetos a inundación continua del suelo (inundado) durante 32 días. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). Las columnas representan la media y las barras indican el error estándar.

El peso fresco, el peso seco de las hojas y el área foliar fueron afectados de forma significativa por la inundación ($P < 0,05$) (Figura 5). En este sentido, las hojas provenientes del tratamiento testigo tuvieron 12 y 25% más peso fresco y peso seco, respectivamente, que aquellas cosechadas del tratamiento de inundación (Figura 5A y B, respectivamente). Las diferencias respecto al área de las hojas fueron aún mayores. Las hojas provenientes de los árboles testigos tuvieron una superficie 65% mayor que las de los árboles inundados (Figura 5C).

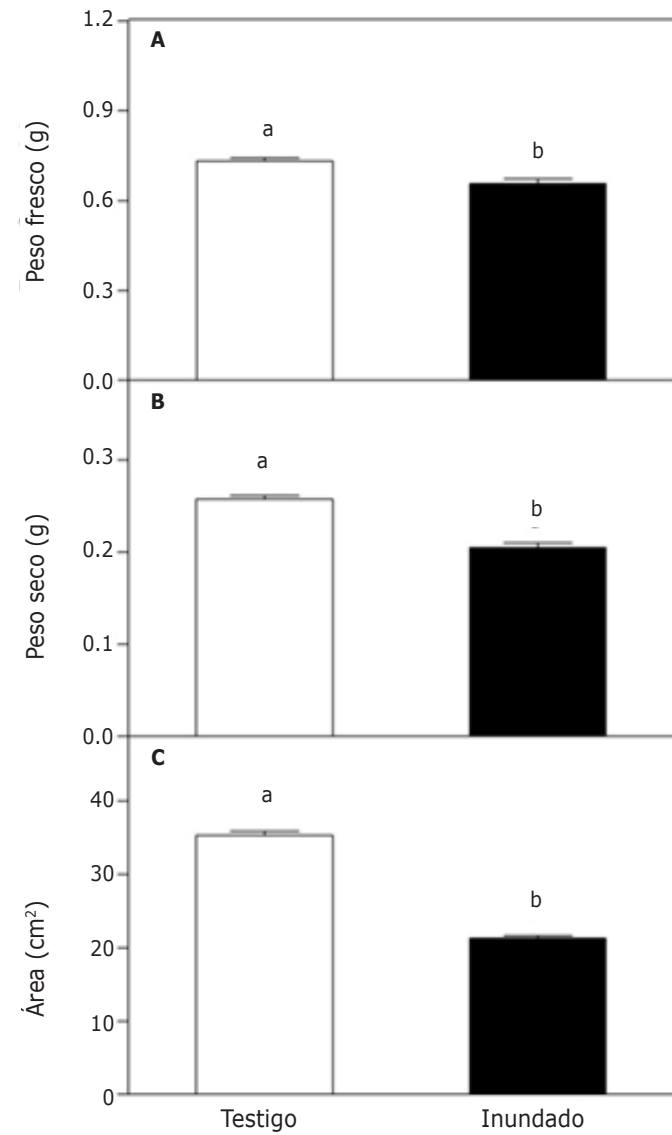


Figura 5. (A) Peso fresco, (B) peso seco y (C) área de las hojas de árboles de duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] mantenidos en condiciones de capacidad de campo (testigo) o sujetos a inundación continua del suelo (inundado) durante 32 días. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). Las columnas representan la media y las barras indican el error estándar.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo indican que una inundación continua del suelo durante un período mayor a un mes puede afectar negativamente tanto las respuestas fisiológicas y las variables de crecimiento en árboles adultos de esta especie frutal. Esto resultaría relevante ya que condiciones similares de inundación suelen ocurrir en determinadas zonas de producción de durazneros en la Argentina.

El efecto observado en el presente trabajo sobre la fotosíntesis neta (P_n), la conductancia estomática (g_s) y el potencial hídrico de las hojas son similares a las respuestas que ocurren en otras especies intolerantes a este tipo de estrés, tales como, por ejemplo, tomate y damasco (Jackson y Drew, 1984; Savé y Serrano, 1986; Jackson *et al.*, 1996; Domingo *et al.*, 2002; Mielke *et al.*, 2003; Parent *et al.*, 2008). El efecto negativo sobre las relaciones hídricas es una respuesta común en las especies intolerantes a la inundación (Domingo *et al.*, 2002; Else *et al.*, 2001; Jackson *et al.*, 1996; Nicolás *et al.*, 2004). La disminución del flujo de oxígeno hacia las raíces del duraznero, en respuesta a la inundación, se probó en este trabajo a través de la menor tasa de difusión de oxígeno en el tratamiento inundado a los 32 días ($0,5 \mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) con respecto al testigo sin inundar ($900 \mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), en coincidencia con lo registrado por otros autores (Armstrong y Drew, 2002; Aroca *et al.*, 2011). Es ampliamente conocido que el poco oxígeno remanente se agota rápidamente por la respiración de los microorganismos del suelo y por las raíces, entrando éstas últimas en una condición de anoxia radical (Hamilton *et al.*, 1995; Hamilton *et al.*, 1997; Megonigal *et al.*, 1996; Seo *et al.*, 2010; Motschenbacher *et al.*, 2015). Esta condición subyace en la inhibición de la respiración mitocondrial, la disminución de la conductibilidad hidráulica de las raíces y, por lo tanto, deprime su absorción de agua. Así, se sigue una cadena causal y en última instancia se ven afectadas por la inundación todas las variables hídricas, tal como ocurrió en las evaluadas en este y otros trabajos (Savé y Serrano, 1986; Parent *et al.*, 2008; Else *et al.*, 2009; Gimeno *et al.*, 2012; Insausti y Gorjón, 2013; Ziegler *et al.*, 2017; Arjona-López *et al.*, 2023; Wiström *et al.*, 2023; Ziegler *et al.*, 2023). No obstante, en este trabajo con inundación continua, el potencial hídrico de las hojas alcanzó valores más bajos que el testigo (Figura 1), de manera más rápida a lo encontrado por Insausti y Gorjón (2013) con pulsos de inundación.

El cierre estomático es otra respuesta muy común en especies intolerantes a la inundación, que se suele expresar muy rápidamente ante este factor de estrés (Mielke *et al.*, 2003; Else *et al.*, 2009; Sanclemente *et al.*, 2013, 2014; Bhatt *et al.*, 2015; Olmo-Vega *et al.*, 2017; Ziegler *et al.*, 2017; McGee *et al.*, 2021; Ziegler *et al.*, 2023). No obstante, el efecto negativo sobre la g_s en este trabajo, medido en plantas adultas de 15 años de edad, se registró más tardíamente en comparación con los trabajos de Ziegler *et al.* (2023), Ziegler *et al.* (2017), Amador *et al.* (2012), Domingo *et al.* (2002) y Martinazzo *et al.* (2011), quienes utilizaron plantas de uno y dos años de edad. Estas diferencias debidas a que la edad de la planta condiciona parte de la respuesta a la inundación (Gill, 1970; Kozlowski, 1997; Siebel y Blom, 1998), apoyan a los argumentos de Kozlowsky (1997), quien hizo referencia a esta variable como un factor de tolerancia diferencial a la inundación.

El efecto sobre la g_s contribuiría al menor valor de la P_n de las hojas (Figura 2A y C), en sintonía con lo registrado en trabajos realizados por otros autores (Domingo *et al.*, 2002; Mielke *et al.*, 2003; Atkinson *et al.*, 2008; Martinazzo *et al.*, 2011; Gimeno *et al.*, 2012; Sanclemente *et al.*, 2013, 2014; Ziegler *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2023). Sin embargo, en este experimento la ci no disminuyó con la inundación, cuando se cerraron los estomas (Figura 2B). Este resultado sugiere que la menor fotosíntesis en el tratamiento de inundación pudo estar asociada a factores no estomáticos, además de los estomáticos (Farquhar y Sharkey, 1982; Larson *et al.*, 1991). La ci es considerada un indicador apropiado de la limitación no estomática de la fotosíntesis (Farquhar y Sharkey, 1982). Este tipo de respuesta fue reportado también por Crane y Davies (1989) en *Vaccinium* sp., donde períodos largos de inundación no solo provocan la disminución de la conductancia estomática sino también de la tasa de carboxilación y el rendimiento cuántico (Davies y Flore, 1986). Por su parte, Beckman *et al.* (1992) reportaron que la disminución temprana de la fotosíntesis en plantas inundadas de cerezo (*Prunus cerasus* L.) se atribuye a una limitación estomática, pero al aumentar la duración de la inundación se vuelven más importantes las limitaciones no estomáticas. Existen antecedentes de estas mismas respuestas en varias especies de clima templado y tropical sujetas a inundación (Pezeshki y Chambers 1985; Larson *et al.*, 1989; Pezeshki y DeLaune, 1998; Mielke *et al.*, 2003). Las causas podrían estar relacionadas principalmente por efectos inhibitorios sobre los procesos fotosintéticos a

nivel bioquímico como, por ejemplo, cambios en la síntesis y actividad de las enzimas de carboxilación, fundamentalmente la enzima rubisco, y sobre la degradación de las clorofilas (Kozlowsky, 1997; Arbona *et al.*, 2009; Else *et al.*, 2009; Martinazzo *et al.*, 2011; De Pedro *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2023). Este último efecto coincidiría con lo encontrado en el presente trabajo, donde la concentración de clorofila en hojas fue significativamente menor en el tratamiento de inundación (Figura 3). Por lo tanto, es factible proponer que la menor fotosíntesis registrada en respuesta a la inundación estuvo relacionada con la degradación de clorofilas (Grichko *et al.*, 2001; Arbona *et al.*, 2009; Bhatt *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2023). Además, coincidiendo con el efecto negativo de la inundación sobre el contenido de clorofila, se manifestó visualmente una clorosis generalizada de las hojas de los árboles de duraznero inundados. Este efecto concuerda con los resultados de Insausti y Gorjón (2013) en árboles de duraznero donde el tratamiento testigo tuvo un contenido de clorofilas tres veces mayor al tratamiento de pulsos de inundación (lo cual consistía en inundar durante 12 h seguidas de 12 h sin inundación). La clorosis generalizada es un síntoma típico de este tipo de estrés que también fue observado en árboles tropicales (Gravatt y Kirby, 1998; Gardiner y Krauss, 2001; Lavinsky *et al.*, 2007).

Respecto a la tasa fotosintética (P_n ; Figura 2C), el aumento registrado al final del experimento en el tratamiento testigo respondería a un efecto del incremento del tamaño de los frutos, destinos de los fotoasimilados. Según Chalmers *et al.* (1975), la fotosíntesis de la hoja de duraznero puede variar hasta en un 50% debido a la demanda del destino correspondiente al crecimiento y desarrollo de los frutos. Por otro lado, DeJong (1986) reportó un aumento en la tasa de asimilación de CO_2 en árboles de duraznero con fruta en comparación a árboles de la misma especie sin fruta. La menor cantidad de destinos o su naturaleza generan una acumulación de los productos finales de la fotosíntesis que actúan como un mecanismo de retroalimentación negativa (Iglesias *et al.*, 2002).

Por otro lado, el crecimiento fue caracterizado en este trabajo a través de cambios en el diámetro y la longitud del brote del año (Figura 4). Los resultados sugieren que existió una sensibilidad diferencial a la inundación entre estos parámetros debido a que el crecimiento en diámetro fue afectado antes que el crecimiento en longitud. Según Larson *et al.* (1991), en árboles de mango (*Mangifera indica* L.), el crecimiento en diámetro del brote es el indicador más sensible de los efectos de la inundación. Los resultados mostrados en el presente trabajo, en plantas adultas, coinciden con los de Insausti y Gorjón (2013) también en árboles adultos de duraznero como con los de Andersen *et al.* (1984), quienes obtuvieron igual respuesta en el crecimiento del brote terminal pero en plantas de duraznero de dos años de edad. La disminución del crecimiento provocado por la inundación en especies vegetales poco tolerantes a este tipo de estrés ocurre en plantas jóvenes y adultas, con velocidades diferentes, pero con la misma tendencia. El menor crecimiento en las plantas inundadas podría relacionarse directamente con la afectación del metabolismo del carbono y con el potencial hídrico, a través de su componente de presión, que está directamente relacionado con la expansión celular y el crecimiento (Savé y Serrano, 1986; Smit *et al.*, 1989; Domingo *et al.*, 2002; Mielke *et al.*, 2003; Gimeno *et al.*, 2012; Insausti y Gorjón, 2013; Ziegler *et al.*, 2017; Ziegler *et al.*, 2023).

Los episodios de inundación continua del suelo en árboles adultos de duraznero que afectan negativamente las variables fisiológicas (conductancia estomática, potencial hídrico de las hojas, fotosíntesis neta, contenido de clorofilas) relacionadas directamente con el crecimiento podrían impactar negativamente sobre el rendimiento o la "performance" productiva del monte frutal (Insausti y Gorjón, 2013). Sin embargo, es posible que otros factores que no fueron evaluados en este trabajo, como la producción y acumulación de sustancias autotóxicas en el suelo liberadas por las raíces en situaciones de anoxia radical también podrían estar organizadas en las respuestas de esta especie a la inundación del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., Diodato, L., Ramis, C., Homar, V., Romero, R., Michaelides, S. y Manes, A. (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(11), 31-34. <https://doi.org/10.1029/2001GL013554>
- Amador, M. L., Sancho, S., Bielsa, B., Gomez-Aparisi, J. y Rubio-Cabetas, M. J. (2012). Physiological and biochemical parameters controlling waterlogging stress tolerance in *Prunus* before and after drainage. *Physiologia Plantarum*, 144(4), 357-368. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01568.x>

- Andersen, P. C., Lombard, P. B. y Westwood, M. N. (1984). Leaf conductance, growth, and survival of willow and deciduous fruit tree species under flooded soil conditions. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 109(2), 132-138. <https://doi.org/10.21273/JASHS.109.2.132>
- Arbona, V., López-Climent, M. F., Pérez-Clemente, R. M. y Gómez-Cadenas, A. (2009). Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. *Environmental and Experimental Botany*, 66(1), 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.12.011>
- Arjona-López, J. M., Aparicio-Durán, L., Gmitter, F. G., Jr., Romero-Rodríguez, E., Grosser, J. W., Hervalejo, A. y Arenas-Arenas, F. J. (2023). Physiological Influence of Water Stress Conditions on Novel HLB-Tolerant Citrus Rootstocks. *Agronomy*, 13(1), 63. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010063>
- Armstrong, W. y Drew, M. C. (2002). Root growth and metabolism under oxygen deficiency. En: Waisel, Y., Eshel, A., Beeckman, T. y Kafafi U. (Eds.). *Plant roots: the hidden half* (pp. 729-761), CRC Press.
- Aroca, R., Porcel, R. y Ruiz-Lozano, J. M. (2011). Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. *Journal of Experimental Botany*, 63(1), 43-57. <https://doi.org/10.1093/jxb/err266>
- Atkinson, C. J., Harrison-Murray, R. S. Taylor, J. M. (2008). Rapid-flood-induced stomatal closure accompanies xylem sap transportation of root-derived acetaldehyde and ethanol in Forsythia. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 196-205. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.02.001>
- Bailey-Serres, J. y Voeselek, L. A. (2008). Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 313-339. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092752>
- Beckman, C., Perry R. L., Flore J. A. (1992). Short-term flooding affects gas exchange characteristics of containerized sour cherry trees. *Hortscience*, 27(12), 1297-1301. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1297>
- Bhatt, R. M., Upreti, K. K., Divya, M. H., Bhat, S., Pavithra, C. B. y Sadashiva, A. T. (2015). Interspecific grafting to enhance physiological resilience to flooding stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 182(1), 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.043>
- Chalmers, D. J. y van den Ende, B. (1975). A reappraisal of the growth and development of peach fruit. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2(4), 623-634. <https://doi.org/10.1071/PP9750623>
- Crane, J. H. y Davies F. S. (1989). Flooding responses of *Vaccinium* species. *Hortscience*, 24(2), 203-210. <https://doi.org/10.21273/hortsci.24.2.203>
- Davies, F. S. y Flore, J. A. (1986). Flooding, gas exchange and hydraulic conductivity of highbush blueberry. *Physiologia Plantarum*, 67(4), 545-551. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb05053.x>
- De Pedro, L. F., Mignolli, F., Scartazza, A., Melana Colavita, J. P., Bouzo, C. A. y Vidoz, M. L. (2020). Maintenance of photosynthetic capacity in flooded tomato plants with reduced ethylene sensitivity. *Physiologia Plantarum*, 170(2), 202-217. <https://doi.org/10.1111/ppl.13141>
- DeJong, T. M. (1986). Fruit effects on photosynthesis in *Prunus persica*. *Physiologia Plantarum*, 66(1), 149-153. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb01248.x>
- DeJong, T. M. y Goudriaan, J. (1989). Modeling peach fruit growth and carbohydrate requirements: reevaluation of the double sigmoid growth pattern. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114(5), 800-804. <https://doi.org/10.21273/JASHS.114.5.800>
- Domingo, R., Pérez-Pastor, A. y Ruiz-Sánchez, M. C. (2002). Physiological responses of apricot plants grafted on two different rootstocks to flooding conditions. *Journal of Plant Physiology*, 159(7), 725-732. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0670>
- Else, M. A., Janowiak, F., Atkinson, C. J. y Jackson, M. B. (2009). Root signals and stomatal closure in relation to photosynthesis, chlorophyll a fluorescence and adventitious rooting of flooded tomato plants. *Annals of Botany*, 103(2), 313-323. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn208>
- Else, M. A., Coupland, D., Dutton, L. y Jackson, M. B. (2001). Decreased root hydraulic conductivity reduces leaf water potential, initiates stomatal closure and slows leaf expansion in flooded plants of castor oil (*Ricinus communis*) despite diminished delivery of ABA from the roots to shoots in xylem sap. *Physiologia Plantarum*, 111(1), 46-54. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110107.x>
- Farquhar, G. D. y Sharkey, T. D. (1982). Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33, 317-345. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001533>
- Gardiner, E. S. y Krauss, K. W. (2001). Photosynthetic light response of flooded cherry bark oak (*Quercus pagoda*) seedlings grown in two light regimes. *Tree Physiology*, 21, 1103-1111. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.15.1103>
- Gill, C. J. (1970). The flooding tolerance of woody species-a review. *Forestry Abstracts*, 31(4), 671-688.
- Jimeno, V., Syvertsen, J. P., Simón, I., Martínez, V., Camara-Zapata, J. M., Nieves, M. y García-Sánchez, F. (2012). Interstock of 'Valencia' Orange Affects the Flooding Tolerance in 'Verna' Lemon Trees. *HortScience*, 47(3), 403-409. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.3.403>
- Jimeno, V., Syvertsen, J. P., Simón, I., Nieves, M., Díaz-López, L., Martínez, V. y García-Sánchez, F. (2012). Physiological and morphological responses to flooding with fresh or saline water in *Jatropha curcas*. *Environmental and Experimental Botany*, 78(1), 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.12.014>
- Gravatt, D. A. y Kirby, C. J. (1998). Patterns of photosynthesis and starch allocation in seedlings of four bottomland hardwood tree species subjected to flooding. *Tree Physiology*, 18(6), 411-417. <https://doi.org/10.1093/treephys/18.6.411>
- Grichko, V. P. y Glick, B. R. (2001). Amelioration of flooding stress by ACC deaminase-containing plant growth-promoting bacteria. *Plant Physiology and Biochemistry*, 39(1), 11-17. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(00\)01212-2](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(00)01212-2)
- Hamilton, S. K., Sippel, S. J. y Melack, J. M. (1995). Oxygen depletion and carbon dioxide and methane production in waters of the Pantanal wetland of Brazil. *Biogeochemistry*, 30(1), 115-141. <https://doi.org/10.1007/BF00002727>
- Hamilton, S. K., Sippel, S. J., Melack, C. D. y John, M. (1997). An anoxic event and other biogeochemical effects of the Pantanal wetland on the Paraguay River. *Limnology and Oceanography*, 42(1), 257-272. <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.2.0257>

- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H. y Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), 816-821. <https://doi.org/10.1038/nclimate1911>
- Holzappel, E. A., Pannunzio, A., Lorite, I., Oliveira, A. y Farkas, I. (2009). Design and management of irrigation systems. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(1), 16-25. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392009000500003>.
- Horchani, F., Gallusci, P., Baldet, P., Cabasson, C., Maucourt, M., Rolin, D., Aschi-Smiti, S. y Raymond, P. (2008). Prolonged root hypoxia induces ammonium accumulation and decreases the nutritional quality of tomato fruits. *Journal of Plant Physiology*, 165(13), 1352-1359. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.10.016>.
- Horchani, F., Stammitti-Bert, L., Baldet, P., Brouquisse, R., Rolin, D., Aschi-Smiti, S., Raymond, P. y Gallusci, P. (2010). Effect of prolonged root hypoxia on the antioxidant content of tomato fruit. *Plant Science*, 179(3), 209-218. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.05.003>.
- Iacona, C., Cirilli, M., Zega, A., Frioni, E., Silvestri, C. y Muleo, R. (2013). A somaclonal myrobalan rootstock increases waterlogging tolerance to peach cultivar in controlled conditions. *Scientia Horticulturae*, 156(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.03.014>.
- Iglesias, D. J., Lliso, I., Tadeo, F. y Talon, M. (2002). Regulation of photosynthesis through source: Sink imbalance in citrus is mediated by carbohydrate content in leaves. *Physiologia Plantarum*, 116(4), 563-572. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1160416.x>
- Insausti, P. y 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.005>
- Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. (2019). Global warming of 1.5°C. Summary for Policy Makers. Switzerland: World Meteorological Organization, United Nations Environment Program, and Intergovernmental Panel on Climate Change. Bern.
- Jackson, M. B. y Drew, M. (1984). Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. En: Kozlowski, T. T. (Ed.). *Flooding and plant growth* (pp. 47-128). Academic Press Inc.
- Jackson, M. B., Davies, W. J. y Else, M. A. (1996). Pressure-flow relationships, xylem solutes and root hydraulic conductance in flooded tomato plants. *Annals of Botany*, 77(1), 17-24. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0003>
- Kozlowski, T. T. (1997). Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology*, 17(7), 490-519. <https://doi.org/10.1093/treephys/17.7.490>
- Kreuzwieser, J. y Rennenberg, H. (2014). Molecular and physiological responses of trees to waterlogging stress. *Plant Cell Environment*, 37(1), 2245-2259. <https://doi.org/10.1111/pce.12310>
- Larson, K. D., Davies, F. S., Schaffer, B. 1991. Floodwater temperature and stem lenticel hypertrophy in *Mangifera indica* (Anacardiaceae). *American Journal of Botany*, 78, 1397-1403. <https://doi.org/10.2307/2445278>
- Larson, K. D., Schaffer, B. y Davies, F. S. (1989). *Flooding, carbon assimilation and growth of mango trees*. Pp. 126. American Society for Horticultural Science, Annual Meeting, Tulsa, OK, Prog. and Abstracts, Alexandria, VA.
- Lavinsky, A., De Souza Sant'Ana, C., Mielke, M. y Furtado de Almeida, A. (2007). Effects of light availability and soil flooding on growth and photosynthetic characteristics of *Genipa americana* L. seedlings. *New Forests*, 34, 41-50. <https://doi.org/10.1007/s11056-006-9036-1>
- Letey, J. y Stolzy, L. H. (1964). Measurement of oxygen diffusion rates with a platinum microelectrode I. Theory and equipment. *Hilgardia*, 35, 54-55.
- Martinazzo, E. G., Perboni, A. T., Farias, M. E., Bianchi, V. J. y Bacarin, M. A. (2011). Photosynthetic activity in the rootstock of hybrid peach trees submitted to water restriction and flooding. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 23, 231-236. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202011000300007>
- McGee, T., Shahid, M. A., Beckman, T. G., Chaparro, J. X., Schaffer, B. y Sarkhosh, A. (2021). Physiological and biochemical characterization of six *Prunus* rootstocks in response to flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 183, 104368. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104368>.
- Megonigal, J. P., Faulkner, S. P. y Patrick, W. H. (1996). The Microbial Activity Season in Southeastern Hydric Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 60(1), 1263-1266. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000040043x>.
- Mielke, M. S., de Almeida, A. F., Gomes, F. P., Aguilar, M. A. y Mangabeira, P. A. (2003). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 50(3), 221-231. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(03\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00036-4).
- Motschenbacher, J. M., Brye, K. R. y Anders, M. M. (2015). Daily soil surface CO₂ flux during non-flooded periods in flood-irrigated rice rotations. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 771-782. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0278-6>
- Muleo, R., Iacona, C., Pistelli, L. y Loreti, F. (2006). A novel Mr.S.2/5 peach rootstock clone tolerant to flooding stress. *Advances in Horticultural Science*, 20(3), 208-214.
- Nicolás, E., Torrecillas, A., Dell'Amico, J. y Alarcón, J. J. (2004). The effect of short-term flooding on the sap flow, gas exchange and hydraulic conductivity of young apricot trees. *Trees*, 19(1), 51-57. <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0362-7>
- Olmo-Vega, A., García-Sánchez, F., Simón-Grao, S., Simón, I., Lidón, V. y Martínez-Nicolás, J. (2017). Physiological responses of three pomegranate cultivars under flooded conditions. *Scientia Horticulturae*, 224(2), 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.013>
- Parent, C., Capelli, N., Berge, A., Crevecoeur, M. y Dat, J. F. (2008). An overview of plant responses to soil waterlogging. *Plant Stress*, 2, 20-27.
- Pezeshki, S. R. y Chambers, J. L. (1985). Stomatal and photosynthetic response of sweet gum (*Liquidambar styraciflua*) to flooding. *Canadian Journal of Forest Research*, 15, 371-375. <https://doi.org/10.1139/x85-059>
- Pezeshki, S. R. y DeLaune, R. D. (1998). Responses of seedling of selected woody species to soil oxidation-reduction conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 40, 123-133. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(98\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00026-4)
- Pistelli, L., Iacona, C., Miano, D., Mensuali-Sodi, A. y Muleo, R. (2012). A Novel *Prunus* rootstock somaclonal variants with divergent ability to tolerate waterlogging. *Tree Physiology*, 32(3), 355-368. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr135>

- Ponnamperuma, F. N. (1972). Chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, 24, 29-95. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60633-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60633-1)
- Sanclemente, M. A., Schaffer, B., Gil, P. M., Davies, F. S. y Crane, J. H. (2013). Leaf removal before flooding influences recovery of avocado (*Persea americana* Mill.) trees from flooding stress. *Scientia Horticulturae*, 150(1), 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.002>.
- Sanclemente, M. A., Schaffer, B., Gil, P. M., Vargas, A. I. y Davies, F. S. (2014). Pruning after flooding hastens recovery of flood-stressed avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Scientia Horticulturae*, 169(2), 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.034>.
- Save, R. y Serrano, L. (1986). Some physiological and growth responses of kiwi fruit (*Actinidia chinensis*) to flooding. *Physiologia Plantarum*, 66(1), 75-78. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb01236.x>
- Seo, D. C. y DeLaune, R. D. (2010). Effect of redox conditions on bacterial and fungal biomass and carbon dioxide production in Louisiana coastal swamp forest sediment. *Science of The Total Environment*, 408(17), 3623-3631. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.043>.
- Siebel, H. N. y Blom, C. W. (1998). Effects of irregular flooding on the establishment of tree species. *Acta Botanica Neerlandica*, 47(2), 231-240.
- Smit, B., Stachowiak, M. y Van Volkenburgh, E. (1989). Cellular processes limiting leaf growth in plants under hypoxic root stress. *Journal of Experimental Botany*, 40(1), 89-94. <https://doi.org/10.1093/jxb/40.1.89>
- Striker, G. G., Insausti, P., Grimoldi, A. A. y Vega, A. S. (2007). Trade-off between root porosity and mechanical strength in species with different types of aerenchyma. *Plant, Cell and Environment*, 30(5), 580-589. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01639.x>
- Sullivan, M., Vantoai, T., Fausey, N. R., Beuerlein, J., Parkinson, R. y Soboyejo, A. (2001). Evaluating On-Farm Flooding Impacts on Soybean. *Crop Science*, 41(1), 93-100. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.41193x>
- Tournaire-Roux, C., Sutka, M., Javot, H., (2003). Cytosolic pH regulates root water transport during anoxic stress through gating of aquaporins. *Nature*, 425, 393-397. <https://doi.org/10.1038/nature01853>
- Voesenek L. A. y Bailey-Serres, J. (2015). Flood adaptive traits and processes: an overview. *New Phytol.*, 206, 57-73. <https://doi.org/10.1111/nph.13209>
- Wiström, B., Emilsson, T., Sjöman, H. y Levinsson, A. (2023). Experimental evaluation of waterlogging and drought tolerance of essential *Prunus* species in central Europe. *Forest Ecology and Management*, 537, 120904. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120904>.
- Zhang, B., Sun, M., Liu, W., Lian, M., Yang, S., Peng, F. y Xiao, Y. (2023). Waterlogging resistance and evaluation of physiological mechanism of three peach (*Prunus persica*) rootstocks. *Protoplasma*, en prensa. <https://doi.org/10.1007/s00709-023-01850-w>
- Ziegler, V. H., Ploschuk, E., Weibel, A. M. y Insausti, P. (2017). Short-term responses to flooding stress of three *Prunus* rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 224, 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.009>
- Ziegler, V. H., Weibel, A. M. y Insausti, P. (2023). Effect of two flooding levels on growth and physiological parameters in peach rootstock 'Nemared'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 29(2), 21-31. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.09.012>