

Portainjertos de Manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var *domestica* (Borkh) Mansf.] Sometidos a Estrés Hídrico Apple Tree Rootstocks [*Malus sylvestris* (L.) mill. *Domestic var* (Borkh) Mansf.] Under Water Stress

Mariela Rascón-Castillo¹ , Carlos Alberto Lozano-Martínez¹ , Juan Luis Jacobo-Cuellar¹ ,
Maria Noemi Frias-Moreno¹ , Oscar Cruz-Álvarez¹ , Ofélia Adriana Hernández-Rodríguez¹ ,
Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios¹  y Rafael Ángel Parra-Quezada^{1†} 

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño. 31200 Chihuahua, Chihuahua, México; (M.R.C.), (C.A.L.M.), (J.L.J.C.), (M.N.F.M.), (O.C.A.), (O.A.H.R.), (D.L.O.B.), (R.A.P.Q.).

[†] Autor para correspondencia: raparra@uach.mx

RESUMEN

La escasez de agua en la región manzanera más importante de México; Cuauhtémoc, Chihuahua, se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas. El objetivo de esta investigación se concentró en evaluar la respuesta en crecimiento y desarrollo de portainjertos de manzano injertados con Golden Delicious, sometidos a cuatro ciclos de sequía, comparándolos con el tratamiento de riego continuo. Se evaluaron 10 portainjertos (B.9, M.9Nic29, G.41, G.202, G.890, G.210, G.30, M.7, MM.111 y MM.109), los cuales son utilizados en las huertas comerciales de manzano de la zona de Cuauhtémoc. Todos los portainjertos se obtuvieron de viveros comerciales durante la estación de crecimiento 2019. La plantación se realizó en macetas de 20 L en el mes de marzo de 2020 y se utilizó un sustrato compuesto por composta, suelo y arena en proporción 1:1:1. Las variables registradas fueron; porcentaje de humedad en el suelo, crecimiento de la rama líder, potencial hídrico de la hoja, biomasa total, y uso eficiente del agua. Los portainjertos B.9 y M.9Nic29 mostraron buenos resultados en la mayoría de las variables estudiadas. Los portainjertos B.9, M.9Nic29, MM.111 y G.210 mostraron buena recuperación del potencial hídrico de la hoja después del riego de recuperación. La biomasa total fue estadísticamente igual en G.30, G.41, MM.111, MM.109, G.202 y B.9. Se concluye que existen portainjertos que toleran cierto grado de sequía y que pueden contribuir a mejorar el uso del agua, destacando B.9.

Palabras clave: biomasa, crecimiento vegetativo, potencial hídrico de la hoja, riego, uso eficiente del agua.

SUMMARY

In recent decades, water scarcity has increased considerably in Cuauhtémoc, Chihuahua - the most important apple-growing region of Mexico. Thus, the objective of this research is focused on evaluating growth and development responses in apple rootstocks grafted with Golden Delicious subjected to four drought cycles, comparing them with the continuous irrigation treatment. Ten rootstocks were evaluated (B.9, M.9Nic29, G.41, G.202, G.890, G.210, G.30, M.7, MM.111 and MM.109) used in the commercial apple orchards in the area, where all the rootstocks were obtained during the 2020 growing season. The planting was carried out in 20-L pots in March 2020 and a substrate composed of compost, soil and sand was used in a ratio of 1:1:1. The recorded variables measured were moisture percentage in the soil, the leading branch growth, leaf water potential, total biomass, and efficient water use. The rootstocks B.9 and M.9 Nic29 showed good results in most of the



check for
updates

Cita recomendada:

Rascón-Castillo, M., Lozano-Martínez, C. A., Jacobo-Cuellar, J. L., Frias-Moreno, M. N., Cruz-Álvarez, O., Hernández-Rodríguez, O A., ... & Parra-Quezada, R. A. (2024). Portainjertos de Manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var *domestica* (Borkh) Mansf.] Sometidos a Estrés Hídrico. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-13. e1773. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1773>

Recibido: 15 de junio de 2023.
Aceptado: 5 de octubre de 2023.
Artículo. Volumen 42.
Enero de 2024.

Editor de Sección:
Dr. Fidel Núñez-Ramírez

Editor Técnico:
Dr. Fermín Pascual Ramírez



Copyright: © 2024 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

variables studied. Rootstocks with good recovery of leaf water potential after recovery irrigation were found. These rootstocks were; B.9, M.9Nic29, MM.111 and G.210. The total biomass was statistically the same in G.30, G.41, MM.111, MM.109, G.202 and B.9. In conclusion, rootstocks tolerate a certain degree of drought and can contribute to improving water use, highlighting B.9.

Index words: biomass, vegetative growth, xylem-leaf water potential, irrigation, water use efficiency.

INTRODUCCIÓN

En México la producción de manzana se destina solo para el mercado nacional, el cual es del orden de 1 050 000.00 toneladas anuales. Para el año 2022 la producción nacional fue de 808 906.96 toneladas, por lo tanto, se importaron entre 250 a 350 mil toneladas anualmente. Para el mismo año, 2022, la superficie cosechada fue de 54 949.9 has. Chihuahua es el mayor productor de manzana a nivel nacional, con un volumen de 688 788.73 toneladas, un 85% de la producción total nacional (SIAP, 2022). El estado de Chihuahua cuenta con una superficie plantada de 33 045.47 hectáreas de manzano, de las cuales se cosechan 31 682.36 hectáreas. El rendimiento promedio es de 21.74 toneladas por hectárea, dejando una derrama económica anual de aproximadamente 7 740 113.73 pesos a nivel estatal. El municipio de Cuauhtémoc lidera la producción de manzano en el estado, con una producción anual de 225 347.20 toneladas de manzana (SIAP, 2022). Se estima que más del 95% de la superficie plantada de manzano en Chihuahua está bajo riego y el resto de temporal en la zona serrana, con una precipitación que oscila entre los 800 y 1000 mm anuales (Villagrán-Deoses *et al.*, 2015).

El estado de Chihuahua no posee muchas fuentes de agua superficial, debido a que las precipitaciones son escasas y erráticas, por lo tanto, la principal fuente de suministro de agua es el subsuelo. El acuífero de Cuauhtémoc, Chihuahua ha sido explotado por décadas en cultivos como el maíz y el manzano principalmente. Las láminas de riego utilizadas para el manzano van de los 1000 a 1200 mm (Parra-Quezada, Ortiz, Amado y Chávez, 2009; Ramírez-Legarreta *et al.*, 2011), lo que representa una importante superficie regada con agua del acuífero y los volúmenes extraídos son mayores a los de recarga. En consecuencia, el acuífero presenta una severa sobreexplotación a lo largo de las últimas décadas (Santos-Hernández *et al.*, 2019).

Para el año 1976 las profundidades de los niveles estáticos variaban entre los 10 y 60 metros, para el año 2013 los valores pasaron a ser de 140 metros en el sur y de hasta 200 metros en el norte del acuífero. Las zonas con mayor impacto negativo se encuentran en la zona central y al noreste del mismo, en esta zona se ubican un gran conjunto de pozos para uso agrícola en los cuales se observa un abatimiento de entre 2 y 2.5 metros anuales. El volumen de extracción conjunto se ha estimado en 497.9 hm³ anuales, de los cuales 477.4 hm³ (95.9%) son para uso agrícola. La recarga total media anual que recibe el acuífero es de 299.4 hm³año⁻¹, esto corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como retorno de riego (CONAGUA, 2020), por lo tanto, hay un déficit de 198.5 hm³ año⁻¹ que provoca abatimiento.

Algunas alternativas que pueden contribuir a mejorar el uso del agua en el acuífero, es el empleo de materiales genéticos que presenten tolerancia a estrés hídrico y la adaptación de prácticas agronómicas que mejoren el uso del agua, en cultivos como maíz (*Zea mays*), manzano (*Malus domestica*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), chile (*Capsicum annuum*) y avena (*Avena sativa*), sin decremento del rendimiento y calidad de las cosechas.

Mediante el déficit hídrico se detiene el crecimiento de los tallos y del sistema radicular; además, dependiendo de la magnitud del estrés, se puede presentar la marchitez de las hojas, la disminución de la conductancia estomática, asimilación de CO₂ y conductividad radicular (Davies y Albrigo, 1999). El cierre estomático se produce cuando el potencial hídrico foliar disminuye, esto debido a la disminución del contenido hídrico del suelo, la humedad relativa del aire, la intensidad lumínica, etc. Estos factores son responsables de la respuesta fisiológica de las plantas, como consecuencia disminuye la tasa transpiratoria, que se acompaña con la disminución de la absorción de CO₂ y de la fotosíntesis (Gimeno-Romeu, 2007¹). El uso de portainjertos en manzano es una práctica común en todas las huertas. Existen portainjertos francos (de semilla) y clonales (propagados asexualmente) que imprimen diferente vigor a la variedad injertada (Romero-Domínguez *et al.*, 2017). Dentro de esta diversidad genética se reporta a MM.111 y M.9 como tolerante a ciertos niveles de estrés hídrico (Atkinson, Policarpo, Webster y Kuden, 1999; Tworkoski, Fazio y Glenn, 2016).

¹ Gimeno-Romeu, J. (2007). *Respuesta transcripcional al estrés hídrico en mandarino. Estudio genómico-funcional con micro matrices de CDNA*. Tesis Doctoral. Departamento de biotecnología, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/1993>

Según Xu y Ediger (2021b), la fotosíntesis y la transpiración de los portainjertos responden de manera diferente al encharcamiento del agua en el suelo y al inicio del estrés por calor, lo que indica diferentes mecanismos de tolerancia al estrés abiótico, ya sea por tolerancia o evitación. La tolerancia a déficit hídrico frecuentemente se relaciona con un transporte de xilema más resistente y un control estomático más flexible; al comienzo del estrés, los árboles pueden mantener un uso de agua moderado y estable; cabe destacar M.9 y B.9 cuentan con tales características (Xu, Ediger, Singh y Pagliocchini, 2021a; Valverdi y Kalcsits, 2021). Así mismo, el portainjerto B.9 es uno de los materiales más enanizante y presenta tolerancia a estrés hídrico (Hezema, Shukla, Ayyanath, Sherif y Saxena, 2021), representando buena opción para variedades de mayor vigor que producen frutos grandes. Por otro lado, el portainjerto M.9 es un portainjerto enanizante y funciona con variedades de crecimiento estandar. El vigor de este portainjerto puede tener floración precoz, es sensible al fuego bacteriano (*Erwinia amylovora*) y presenta tolerancia a estrés hídrico (Vercammen y Gomand, 2008; Tworowski et al., 2016).

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue conocer el comportamiento de Golden Delicious, injertada en diez portainjertos para manzano, bajo estrés hídrico en Cuauhtémoc, Chihuahua. La hipótesis planteada es que al menos un portainjerto, en este trabajo, presenta tolerancia a sequía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Experimento

El trabajo se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Campus Cuauhtémoc. Durante el experimento, la temperatura media anual fue de 18 °C y la precipitación media anual de 400 milímetros.

Material Vegetativo Utilizado

Para el desarrollo de esta investigación se evaluaron 10 portainjertos de manzano (MM.109, MM.111, M.7, M.9Nic29, G.210, G.30, G.41, G.890, G.202 y B.9). Todos estos portainjertos, de diferente vigor y origen genético, injertados con la variedad Golden Delicious, plantados en macetas de 20 L y conducidos a cielo abierto.

Los árboles se obtuvieron de viveros comerciales de la región, plantados a raíz desnuda. Antes de la plantación se realizó un tratamiento a la raíz con una combinación de 5.0 g de Agrimicin® (fungicida-bactericida; México, D.F.) y 50 g de Proroot (enraizador; México, D.F.).

Como sustrato se utilizó una combinación de composta, suelo y arena (1:1:1). La fertilización consistió en aplicar cada dos semanas por maceta, una combinación de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) 18 (4.5 g), 18 (4.5 g), 18 (4.5 g) y micro elementos como: zinc, cobre, boro y manganeso (2 g), respectivamente.

Monitoreo de Humedad en el Sustrato

El monitoreo de humedad del sustrato se determinó diariamente cuando se dieron los ciclos de estrés hídrico, utilizando el método gravimétrico, para ello se obtuvieron muestras del sustrato para determinar el porcentaje de humedad (PH) mediante la siguiente fórmula (Castellanos, Uvalle y Aguilar, 2000).

$$PHG = (\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / \text{peso seco} * 100 \quad (1)$$

Una vez obtenido el porcentaje de humedad mediante el método gravimétrico se procedió a calcular el porcentaje de humedad volumétrico mediante la siguiente fórmula.

$$PHV = (PHG * \text{cm}^3 \text{ de suelo}) \quad (2)$$

El sustrato presentó 12.7% de humedad aprovechable, Capacidad de Campo (CC) de 21.3% y Punto de marchitez permanente (PMP) de 8.6%.

Tratamientos de Riego

Una vez plantados los 10 árboles por portainjerto en las macetas (4 de marzo del 2020), se regaron dos veces por semana, de forma manual, aplicando 10 litros por maceta para mantenerlos cercanos a capacidad de campo (21.3%) hasta que inició la brotación (15 de abril). Posteriormente se dieron hasta cuatro riegos por semana hasta

el 24 junio, cuando el árbol estaba bien establecido y su crecimiento fue óptimo. En este momento se inició el estrés hídrico para aplicar el primer ciclo, monitoreando el abatimiento de la humedad aprovechable cercana a PMP (8.6%), en 5 de los 10 árboles establecidos por portainjerto.

Se aplicaron dos tratamientos de riego que consistieron en: a) riego completo durante toda la temporada y b) cuatro ciclos de estrés hídrico. Entre cada ciclo la planta tuvo un periodo de recuperación, y fue de 20 días entre el 1er. y 2do. ciclo; de 21 días entre el 2do. y el 3er. ciclo; y de 21 días entre el 3er. y el 4to. ciclo. Los ciclos de estrés hídrico se describen en la Figura 1. El criterio de riego de recuperación fue cuando la humedad en el sustrato estuvo cerca de PMP. Antes y después de la aplicación de los ciclos de estrés hídrico se regó de forma regular, manteniendo el sustrato a CC o ligeramente superior (Figura 1).

Crecimiento de Rama Líder

Se realizó el registro semanal del crecimiento (cm) de la rama líder desde el momento de plantación hasta la cosecha. La medición se llevó a cabo, desde la base del árbol hasta la yema terminal de la rama líder.

Uso Eficiente del Agua

La determinación del uso eficiente del agua se realizó a través de la ecuación que combina el peso seco total de la planta y la cantidad de agua utilizada (g m^{-3}) (Ruíz *et al.*, 2004).

$$UEA = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\text{Agua utilizada (m}^3\text{)}} \quad (3)$$

Potencial Hídrico de la Hoja

El potencial hídrico de la hoja se midió con el método Scholander (Scholander, Bradstreet, Hemmingsen y Hammel, 1965). Para ello se cubrió una hoja por árbol, de la parte media del mismo con una bolsa de aluminio para que se llevara a cabo el cierre estomático, estas bolsas se colocaron en los cuatro ciclos de estrés hídrico a las 11:00 h, dejándolas reposar por 30 minutos previo a colocar las hojas en la bomba de presión. Posteriormente se realizó el riego de recuperación utilizando 10 L por maceta y, transcurridas 24 h se colocaron las bolsas de aluminio en las hojas de los árboles y se midió una vez más el potencial hídrico de la hoja para observar la recuperación del árbol sometido al estrés hídrico.

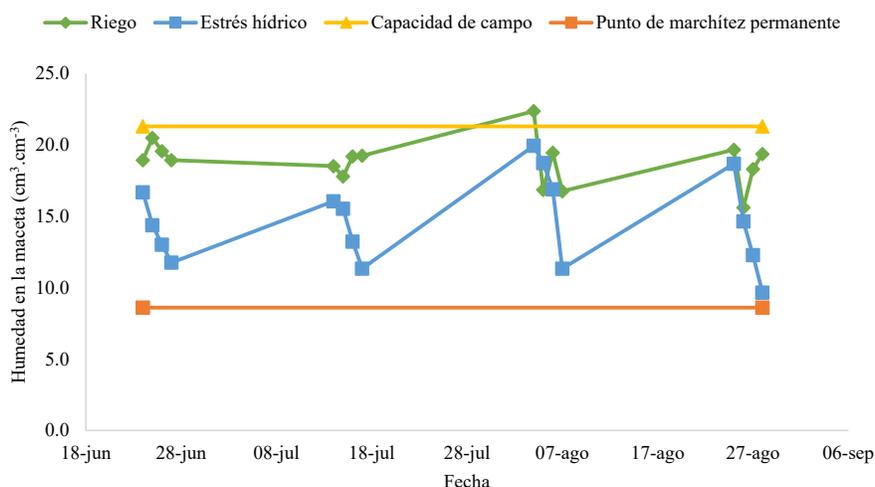


Figura 1. Humedad ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) en la maceta en los portainjertos sometidos a riego y estrés hídrico.

Figure 1. Humidity ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) in the pot in rootstocks subjected to irrigation and water stress.

Biomasa Total

El registro del peso fresco y seco se realizó a mediados del mes de octubre del año 2020 en una báscula digital Quancheng SF-400. Para ello se extrajo el árbol completo y se separó la parte aérea de la raíz en la unión del injerto. La parte aérea (variedad) se dividió en: hojas, crecimiento de un año, crecimiento de dos años. La parte radicular se dividió en: raíz < 2 mm, raíz 2-4 mm, raíz > 4 mm y tallo de portainjerto. Una vez realizada la separación y el pesaje (g) de todo el material fresco se procedió a secar en la estufa a 75 °C por 24 horas.

Densidad de Raíz

La densidad de raíz se expresó como longitud de raíz (cm) por 10 cm³ de sustrato. Para ello, la longitud de raíz se determinó al momento de cosechar las plantas y separarlas por tamaños, posteriormente se realizó un conteo en una hoja cuadrículada, el número de interacciones que tenía 1.0 g de peso fresco de raíz < 2 mm, después se procedió a estimar la longitud de raíz (LR) multiplicando el número de intersecciones de la raíz por 0.786, de acuerdo con Tennant (1975):

$$LR = \text{número de intersecciones} \times 0.786 \quad (4)$$

Finalmente se extrapola el dato obtenido para 1.0 g de peso fresco, a todo el sistema radicular extraído. Se estimó el volumen (cm³) de cada maceta y su valor se dividió entre la longitud de raíz para determinar la densidad de raíz.

Relación Peso Seco de Parte Aérea y Peso Seco Total de la Raíz

El cálculo de la relación del peso seco de la parte aérea con el peso seco total de la raíz, se realizó con la toma de peso fresco de la parte aérea y la parte radicular de la planta, para posteriormente realizar el secado de la parte aérea y la parte radicular de la planta en una estufa de aire forzado a 75 °C durante 24 horas. Pasado este tiempo se procedió a obtener el peso seco de ambas partes.

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con dos tratamientos de riego, 10 portainjertos y 5 repeticiones en cada tratamiento y una planta como unidad experimental. El análisis de datos se realizó con el programa IBM SPSS Statistics (2009). Cuando se detectó homogeneidad de varianzas se realizó el análisis de varianza para el modelo propuesto y el procedimiento de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Adicionalmente se utilizó la prueba de "t" de Student para la comparación de riego-estrés hídrico dentro del mismo portainjerto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de la Rama Líder

Para esta variable no se encontró interacción entre los tratamientos evaluados, sin embargo, se observó que, en todos los portainjertos, cuando se iniciaron los ciclos de estrés hídrico, el crecimiento fue disminuyendo paulatinamente hasta el final del experimento. Se encontró que no hubo diferencias significativas para el portainjerto B.9, G.30, M.7 y MM.109, materiales de diferente vigor y origen genético. La Figura 2 muestra la dinámica del crecimiento de la rama líder a través del tiempo, representada en unidades calor (UC). Se observaron patrones de crecimiento similares en todos los portainjertos evaluados en los dos tratamientos hídricos.

El crecimiento en el tratamiento de riego normal permaneció constante a través del tiempo, mientras que en algunos de los portainjertos sometidos a estrés hídrico el crecimiento disminuyó con los ciclos del tratamiento. Lo anterior es un indicador de tolerancia a sequía ya que a pesar de que los portainjertos se sometieron a cuatro ciclos de estrés hídrico, algunos portainjertos no mostraron diferencias significativas en comparación con los árboles que se mantuvieron en riego normal.

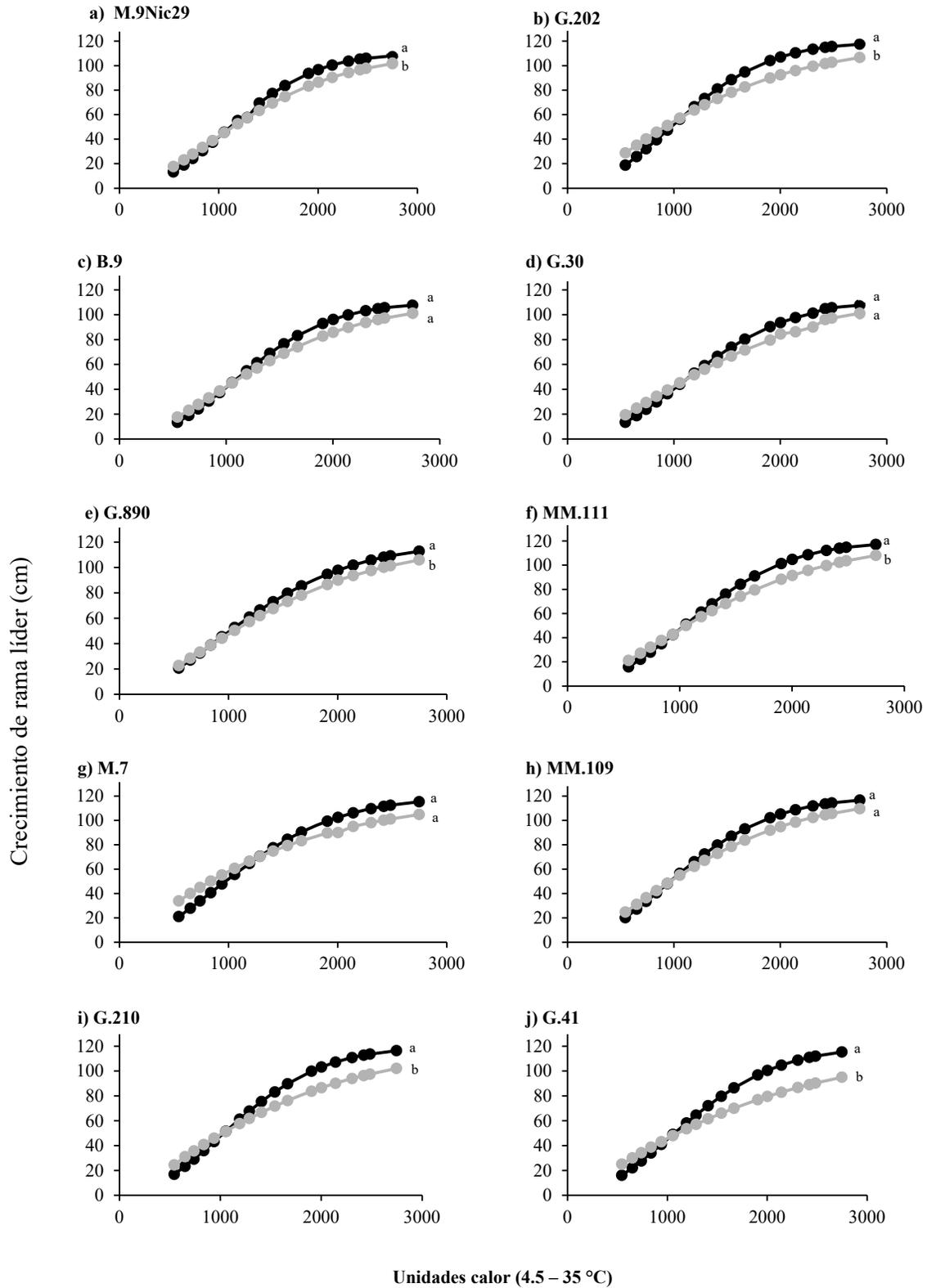


Figura 2. Crecimiento de rama líder (cm) en portainjertos de manzano sometidos a riego (línea oscura) y estrés hídrico (línea gris). Líneas con letras diferentes en el último muestreo son diferentes estadísticamente.
Figure 2. Leading branch growth (cm) in apple rootstocks subjected to irrigation (dark lines) and water stress (gray line). Lines with different letters in the last sampling are statistically different.

Los portainjertos donde se encontraron diferencias significativas y que, para esta variable no tienen tolerancia a los niveles de estrés hídrico sometidos fueron M.9Nic29, G.202, G.890, MM.111, G.210 y G.41, siendo este último el más afectado (Figura 2). Los portainjertos Geneva® (G) en Brasil son conocidos por ser eficientes en el control del vigor y necesidades hídricas (Rufato *et al.*, 2021). Así mismo, un árbol bien ramificado es un factor clave para cosecha temprana en el huerto. El número de ramas laterales brinda la oportunidad de contar con rendimientos mayores y más tempranos (Zhou *et al.*, 2022). La clave para un rendimiento alto y estable de árboles frutales radica en la cantidad adecuada de ramas y la proporción de diferentes tipos de ramas. Diferentes portainjertos afectan significativamente la proporción de ramas fructíferas y ramas cortas en manzanos.

Liang *et al.* (2022) señala que el déficit hídrico en árboles frutales afecta el crecimiento vegetativo y la diferenciación de los botones florales, lo que limita la cantidad y calidad de la fruta. Sin embargo, durante su evolución, las plantas han desarrollado adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de otro tipo que les permiten tolerar mejor los efectos adversos del ambiente, incluidos los cambios sensibles a la humedad del suelo como la arquitectura de la raíz, la conductancia estomática, el intercambio de gases, la asimilación de nutrientes y la expresión génica (Moreno y Patricia, 2009).

Uso Eficiente del Agua

El uso eficiente de agua difirió significativamente en los portainjertos evaluados. Los que más padecieron el estrés hídrico en los niveles aplicados fueron los portainjertos M.7 y M.9Nic29. Mientras que en los portainjertos G.41, MM.109, G.202, G.890, G.210 el uso eficiente del agua fue estadísticamente igual entre los tratamientos riego-déficit de humedad (Figura 3). Además, se destaca que en los portainjertos G.30, B.9 y MM.111 se encontró un valor más alto del uso eficiente del agua en el tratamiento con déficit de humedad. Esta información es importante para el diseño de nuevas huertas en la zona manzanera de Chihuahua, ya que son portainjertos disponibles y utilizados para el diseño de huertos de altas, medianas y bajas densidades de plantación, de acuerdo con el vigor que imprimen a la variedad injertada (Romero-Domínguez *et al.*, 2017; Autio *et al.*, 2020; Cline *et al.*, 2021).

Según Mininni, Tuzio, Brugnoli, Dichio y Sofo (2022) la eficiencia en el uso del agua (EUA), definida como la relación entre el carbono fijado y el agua transpirada, es un rasgo fisiológico relevante para la adaptación de las plantas a la sequía. Durante el estrés por sequía, se espera que las plantas con una mayor EUA sean más tolerantes y, posiblemente, alcancen una mayor productividad, ya sea en términos de biomasa producida por unidad de superficie o por planta. Bielsa-Pérez, García, Sanz y Rubio (2019), indica que un árbol con disponibilidad de agua no necesita ajustar sus recursos y conserva los estomas abiertos, continuando con la actividad fotosintética, a costa del consumo hídrico que produce la transpiración, esto se traduce como efecto negativo del uso eficiente del agua.

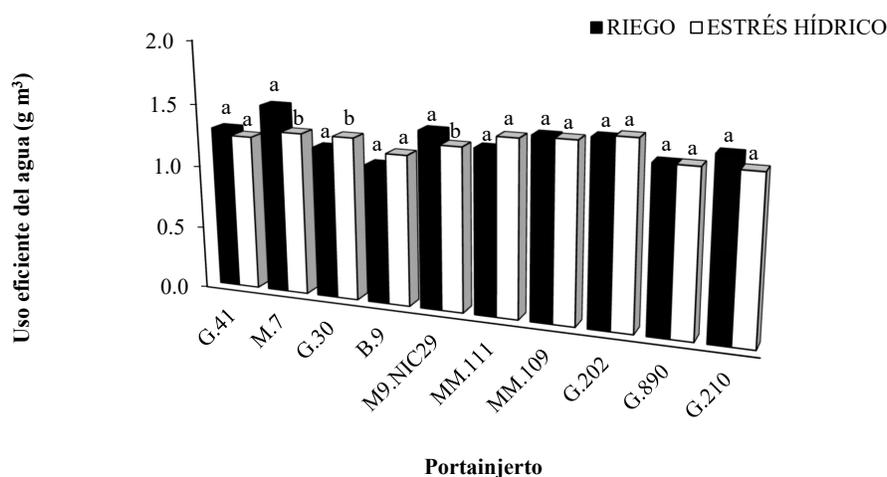


Figura 3. Uso eficiente del agua (g m⁻³) en portainjertos de manzano sometidos a estrés hídrico. Diferentes letras entre tratamientos (riego vs. estrés hídrico) indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

Figure 3. Efficient use of water (g m⁻³) in apple rootstocks subjected to water stress. Different letters between treatments (irrigation vs. water stress) indicate statistical differences ($P \leq 0.05$).

Cuando una planta está en estrés hídrico, a pesar de reducir el potencial hídrico de la hoja, trata de hacer su conserva hídrica más eficiente, hace el cierre estomático para impedir las pérdidas por transpiración, a costa de disminuir su facultad fotosintética y por lo tanto incrementa el uso eficiente del agua. En ese sentido, Sun *et al.* (2022) encontraron que el portainjerto B.9 y M.9Nic29 son muy eficientes en el uso del agua en condiciones de temporal.

Potencial Hídrico de la Hoja

Durante el primer ciclo de estrés hídrico los portainjertos MM.109, MM.111, G.202, G.30 y M.7 fueron los más afectados por el déficit de humedad en el suelo al que se les sometió. Los portainjertos B.9, G.210, G.41, M.9Nic29 y G.890 fueron los que mostraron buena recuperación en el primer ciclo. Durante el segundo ciclo los portainjertos MM.111, MM.109, G.202, M.7 y G.890 fueron los que se manifestaron más estresados, mientras que los de rápida recuperación fueron B.9, G.41, M.9Nic29, G.30 y G.210 después del segundo ciclo. Durante el tercer ciclo los más afectados fueron MM.109, G.202, M.7, MM.111 y G.890, los que tuvieron buena respuesta de recuperación durante este ciclo fueron los portainjertos B.9, G.210, G.41, M.9Nic29 y G.30. Por último, durante el cuarto ciclo los portainjertos que mostraron un mejor resultado fueron B.9, MM.111, M.9Nic29, G.210 y G.41, mientras que los portainjertos M.7, G.202, G.30, MM.109 y G.890, se mostraron significativamente afectados durante este ciclo (Figura 4). Bartlett, Scoffoni y Sack (2012) indican que el potencial hídrico se conoce como el parámetro fisiológico usado para declarar tolerancia a la sequía durante décadas; por otro lado, se plantea también el contenido relativo de agua (RWC) como parámetro fisiológico importante para el mismo fin. Tomasella *et al.* (2023) encontraron valores de potenciales hídricos de la hoja de -1.1 a -1.8 MPa en vid bien regada durante los meses de mayo y junio, al medio día, cuando las temperaturas son altas (mayores de 25 °C), humedad relativa baja (< a 40%) y un déficit de presión de vapor cercano a 2 kilo Pascales.

Estos valores de potencial hídrico de la hoja son similares a los encontrados en este trabajo en los árboles bien regados (-1.2 a -1.8 MPa), no así en los que se sometieron a los ciclos de estrés hídrico, donde hay valores de hasta -4 MPa (Figura 4). De los portainjertos evaluados, los que presentaron consistentemente mejor tolerancia al estrés sometido y a la recuperación del mismo fueron B.9, M.9Nic29, G.210 y G.890, estos resultados concuerdan con Xu *et al.* (2021a) y Valverdi y Kalcsits (2021). Según Romero-Domínguez *et al.* (2017) el portainjerto en manzano controla características como vigor, precocidad, eficiencia en el transporte de nutrientes, tamaño y calidad de fruto del cultivar injertado. Son muy uniformes en vigor, presentan tolerancia a plagas y enfermedades, bajas temperaturas y sequía, bajo requerimiento de frío, adaptación a diferentes tipos de suelos y capacidad de absorber y translocar nutrimentos.

Biomasa Total

Los portainjertos G.30, G.41, MM.111, MM.109, G.202 y B.9 no mostraron diferencias significativas respecto a la biomasa total (Figura 5). Esto es un indicador de tolerancia a sequía ya que, a pesar de que los portainjertos fueron sometidos a cuatro ciclos de estrés hídrico, no afectó su desarrollo y crecimiento. Los portainjertos más afectados fueron M.7, M.9Nic29, G.890 y G.210, ya que mostraron diferencias significativas entre riego y estrés hídrico, lo que indica poca tolerancia a sequía. En Brasil se consideró al portainjerto semienano G.210 como una buena alternativa para la conversión inmediata de huertos de manzano a altas densidades por presentar resistencia a problemas de replante y control del tamaño de la variedad injertada (Rufato *et al.*, 2021).

Avendaño-Arrazate, Molina, Trejo, López y Cadena (2008) afirman que el aumento en altura y número de hojas trae consigo un aumento de la biomasa, debido a que las variedades han desarrollado, durante el transcurso de selección, diferentes mecanismos de sobrevivencia. Según Shan *et al.* (2015) el sistema radicular puede ajustar su crecimiento y la asignación de biomasa para adaptarse al estrés por sequía. Por lo tanto, la mayor parte del daño directo por la sequía es en la zona radicular de la planta. Cuando el daño es notable se produce un ajuste en la morfología y la fisiología de las raíces que se adaptan a absorber agua y nutrientes, esto directamente relacionado con la tolerancia a sequía en las plantas.

La manzana en China se cultiva en zonas áridas y semiáridas, por lo tanto, el estrés hídrico es un factor determinante para el desarrollo de este frutal. Liang *et al.* (2022) encontraron que el portainjerto 'SH40', como herramienta genética, juega un papel importante para mitigar este estrés por sequía y aumentar la biomasa acumulada. En general, el injerto de la variedad demandada por el mercado colocado sobre un portainjerto resistente o tolerante a sequía, es una estrategia para hacer un uso más eficiente del agua.

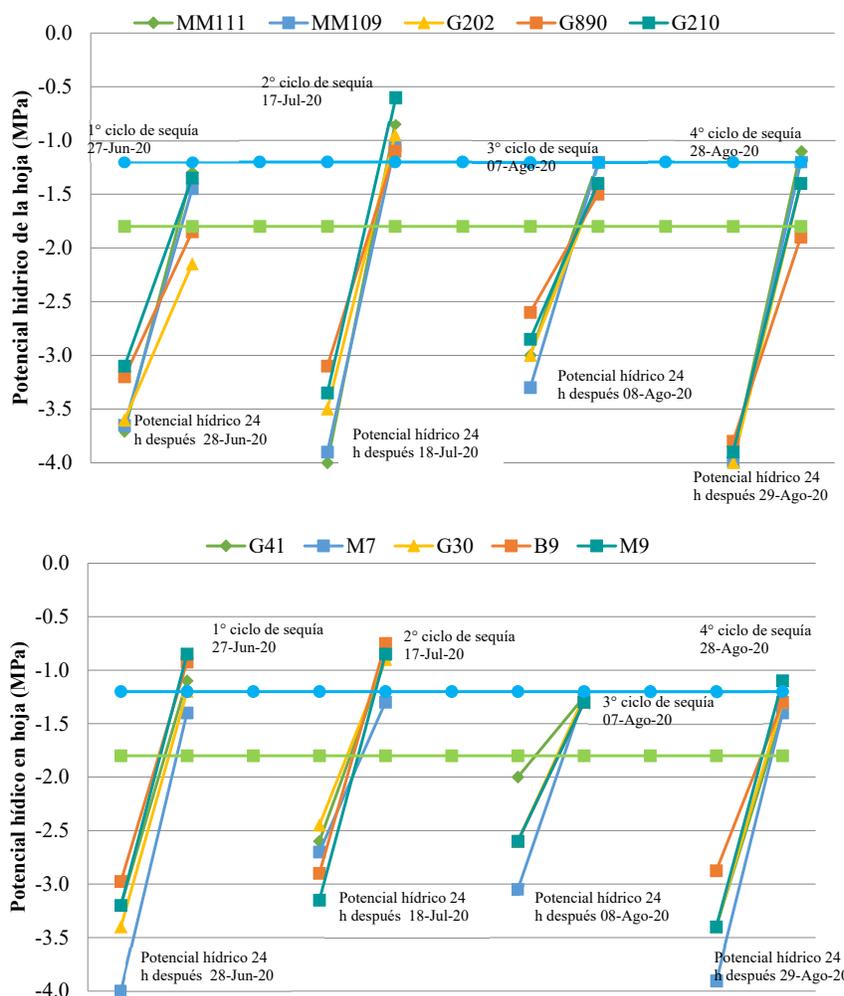


Figura 4. Potencial hídrico de la hoja (MPa) antes y después del riego de recuperación en los portainjertos en tratamiento. Líneas horizontales indican el potencial hídrico de la hoja (MPa) en las plantas bien regadas.

Figure 4. Leaf water potential (MPa) before and after recovery irrigation in rootstocks subjected to drought. Horizontal lines showing leaf water potential (MPa) on trees well-watered.

Densidad de Raíz

El portainjerto MM.111 mostro diferencias significativas para densidad de raíz con 41 y 20 cm de longitud de raíz por cada 10 cm^3 de suelo, en riego y estrés hídrico respectivamente, no así para el resto de los portainjertos. Los portainjertos G.30 y M.9Nic29 mostraron mayor densidad de raíz en las plantas sometidas déficit de humedad en el suelo (Figura 6). Lo anterior es un indicador de tolerancia a este estrés biótico, ya que a pesar de que se sometieron a 4 ciclos de estrés hídrico, tuvo efectos mínimos en el crecimiento y desarrollo de la raíz. En este sentido, Bavestrello-Riquelme *et al.* (2012), indica que uno de los mecanismos de tolerancia al estrés, es el incremento del sistema radicular de la planta, teniendo crecimientos más profundos y ramificados, capaces de obtener agua para continuar su desarrollo y así sobrevivir al periodo de sequía.

Según Hosseini, Lakzian y Razavi (2022) el estrés por sequía reduce considerablemente la fotosíntesis y el crecimiento de la planta, por lo tanto, esto afecta la asignación de carbono asimilado a los diferentes órganos de las plantas, incluyendo la transferencia a la raíz y la rizosfera. Además, la sequía puede aumentar o disminuir los exudados radiculares, con el consecuente impacto en la microbiología del sustrato. Según Yang, Gao, Wang y Zhao (2022), los árboles en condiciones de sequía generalmente pueden desarrollar raíces profundas que les permitan buscar agua del suelo o agua subterránea a mayor profundidad, evitando así fallas hidráulicas durante sequías extremas, que se prevé que se intensifiquen debido al cambio climático en curso.

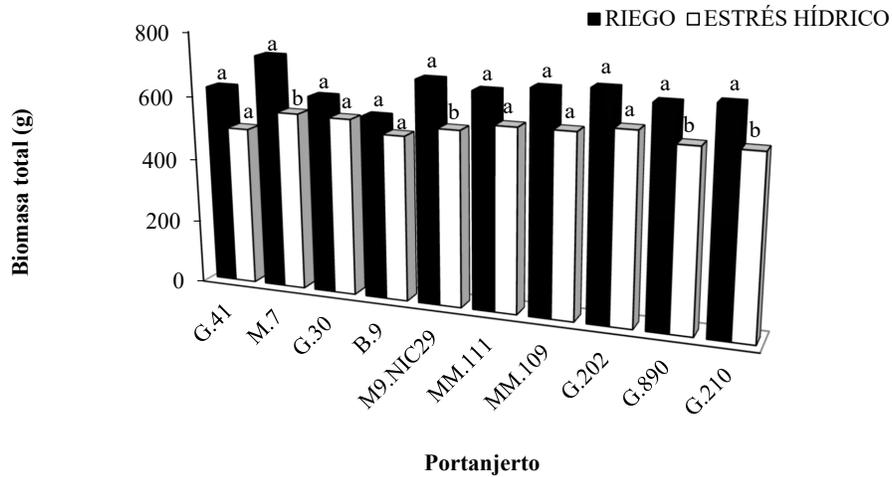


Figura 5. Biomasa total (g) de diferentes portainjertos sometidos a estrés hídrico. Diferentes letras entre tratamientos (riego vs. estrés hídrico) indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

Figure 5. Total biomass (g) of different rootstocks subjected to water stress. Different letters between treatments (irrigation vs. water stress) indicate statistical differences ($P \leq 0.05$).

La evidencia científica indica que las plantas en los ecosistemas con sequías recurrentes (y otros sistemas propensos a sequías extremas, como las dunas), generalmente producen las raíces más profundas, que se extienden a más de 2.0 m en el 95% de las zonas. Considerando los resultados encontrados, esta aseveración se presentó en G.30 y M.9Nic29, con una mayor densidad de raíces donde se aplicaron los ciclos de estrés hídrico (Figura 6). A este respecto, Zhang *et al.* (2021) señala que los portainjertos enanos tienen diámetros de raíces finas más pequeños, vida más corta, menor longitud de raíces y menor densidad de raíces, en relación con los portainjertos vigorosos. Además, los sistemas de raíces de los portainjertos enanos son menos profundos en el suelo que los portainjertos vigorosos. Así mismo, la tolerancia al estrés hídrico en portainjertos enanzantes como el B.9, que no tiene un sistema radicular profundo, se da por un control en la apertura de los estomas, que a su vez está regulada por la biosíntesis de ácido abscísico que se produce en la raíz y se transporta vía xilema a las hojas (Tworkoski *et al.*, 2016).

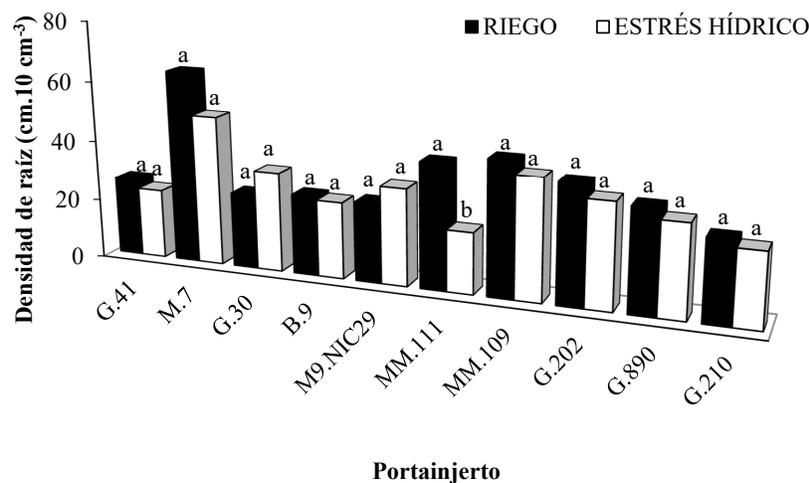


Figura 6. Densidad de raíz (cm 10 cm⁻³) de los portainjertos sometidos a estrés hídrico. Diferentes letras entre tratamientos (riego vs. estrés hídrico) indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

Figure 6. Root density (cm 10 cm⁻³) of rootstocks subjected to water stress. Different letters between treatments (irrigation vs. drought) indicate statistical differences ($P \leq 0.05$).

Relación Peso Seco de Parte Aérea y Peso Seco Total de la Raíz

Los portainjertos B.9, G.210, G.890, MM.109, y G.202 mostraron un mejor balance en cuanto a crecimiento de raíz y parte aérea del árbol, ya que no muestran diferencias significativas respecto a la comparación de peso seco de la parte aérea y peso seco de raíz. Esto es un indicador de tolerancia a sequía, ya que a pesar de que los portainjertos se sometieron a cuatro ciclos de sequía, no afectó el crecimiento y desarrollo de la raíz. Los portainjertos G.41 y G.30 fueron los portainjertos con diferencias significativas entre riego y estrés hídrico, sin embargo, el G.41 presentó mejor desarrollo de la parte radicular que la parte aérea, por lo que se puede decir que este portainjerto es tolerante a sequía.

Finalmente, cabe indicar que los portainjertos M.9Nic29, MM.111, M.7 y G.41 mostraron un mayor balance entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz en condiciones de estrés hídrico, por lo que se puede decir que, estos portainjertos fueron los que mostraron una mejor tolerancia a déficit hídrico (Figura 7). Del mismo modo, Moreno y Patricia (2009) indica que cuando el déficit hídrico se presenta, las plantas muestran una aclimatación que perjudica el crecimiento foliar y radicular. A nivel fisiológico existen otros mecanismos de defensa, como el cierre estomático, estructuras responsables de la mayor pérdida de agua en las plantas. Esta respuesta está regulada por el ácido abscísico (ABA).

Referente a lo anterior, Fageria y Moreira (2011) indicaron que las condiciones ambientales influyen directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas, donde el componente genético tiene relevancia, por lo tanto, en este trabajo se encontraron materiales que destinan más energía al sistema radicular que a la parte aérea como un mecanismo de supervivencia en condiciones de estrés, sin importar el vigor del portainjerto, tal es el caso de G.41, M.9Nic29 y MM.111.

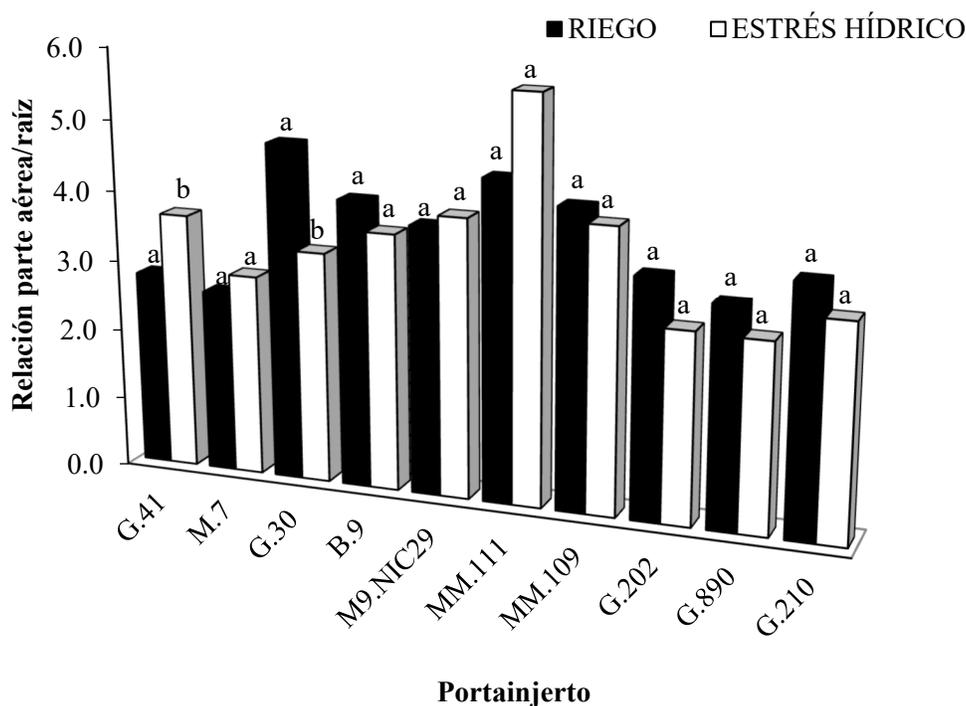


Figura 7. Relación de peso seco de la parte aérea y peso seco de raíz en portainjertos de manzano sometidos a estrés hídrico. Diferentes letras entre tratamientos (riego vs. estrés hídrico) indican diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

Figure 7. Relationship of dry weight of the aerial part and dry weight of the root in apple rootstocks subjected to water stress. Different letters between treatments (irrigation vs. drought) indicate statistical differences ($P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

Existen portainjertos que tolerantes al estrés hídrico. Los portainjertos B.9, M.9Nic29, G.210 y G.890 fueron los que mostraron mejores resultados en el 90% de las variables evaluadas, destacando potencial hídrico de la hoja, el uso eficiente del agua y la densidad de la raíz. Los portainjertos, más afectados en las variables evaluadas fueron M.7 y G.202, estos portainjertos se vieron afectados en el 70% de las variables evaluadas, destacando el uso eficiente del agua, potencial hídrico de la hoja y el crecimiento de rama líder, lo que afectó significativamente su crecimiento y desarrollo, por lo que se puede decir que estos portainjertos tienen poca tolerancia al estrés por sequía. Los portainjertos que mostraron mejores resultados en cuanto a densidad de raíz fueron G.30, B.9, M.9Nic29, MM.111, MM.109 y G.890, esto indica una buena respuesta de las plantas ante el déficit hídrico ya que a raíz es la encargada del transporte del agua a las hojas y por lo tanto del desarrollo de la parte aérea.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos utilizados y analizados en este estudio están disponibles previa solicitud formal del interesado.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no presentar intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Responsabilidad de dirección y coordinación de la planificación y ejecución de la actividad investigadora: R.A.P.Q. Autor principal; ejecución de la investigación, conceptualización e implementación de metodologías: M.R.C. Apoyo autor principal en análisis formal y ejecución de la Investigación: C.A.L.M. Diseño experimental y análisis de la información: J.L.J.C. Investigación, escritura; preparación del borrador Original: M.N.F.M. Revisión y edición: O.C.A., O.A.H.R., y D.L.O.B.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los viveristas por donar el material vegetativo utilizado en el estudio: Sr. Leonel Domínguez, Sr. Bernardo Dick, Sr. Hugo Flores y Sres. Joel y Ricardo Fuentes.

LITERATURA CITADA

- Atkinson, C. J., Policarpo, M., Webster, A. D., & Kuden, A. M. (1999). Drought tolerance of apple rootstocks: Production and partitioning of dry matter. *Plant and Soil*, 206, 223-235. <https://doi.org/10.1023/A:1004415817237>
- Autio, W., Robinson, T., Blatt, S., Cochran, D., Francescato, P., Hoover, E., ... & Xu, H. (2020). Budagovsky, Geneva, Pillnitz, and Malling apple rootstocks affect 'Honeycrisp' performance over eight years in the 2010 NC-140 'Honeycrisp' Apple Rootstock Trial. *Journal of the American Pomological Society*, 74(4), 182-195.
- Avendaño-Arrazate, C. H., Molina-Galán, J. D., Trejo-López, C., López-Castañeda, C., & Cadena-Iñiguez, J. (2007). Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 19(1), 27-37. <https://doi.org/10.15517/am.v19i1.5019>
- Bartlett, M. K., Scoffoni, C., & Sack, L. (2012). The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. *Ecology Letters*, 15(5), 393-405. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01751.x>

- Bavestrello-Riquelme, C., Cavieres, L., Gallardo, J., Ibacache, A., Franck, N., & Zurita-Silva, A. (2012). Evaluación de la tolerancia a estrés por sequía en cuatro genotipos naturalizados de vid (*Vitis vinifera*) provenientes del norte de Chile. *Idesia (Arica)*, 30(3), 83-92. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292012000300011>
- Bielsa-Pérez, B., García-Brunton, J., Sanz-García, M. A., & Rubio-Cabetas, M. J. (2019). Respuesta adaptiva a sequía en dos cultivares de melocotonero en condiciones de aridez. *Horticultura*. Consultado el 27 de septiembre, 2021, desde <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/252772-Respuesta-adaptativa-a-sequia-en-dos-cultivares-de-melocotonero-en-condiciones-de-aridez.html>
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP*. México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Cline, J. A., Autio, W., Clements, J., Cowgill, W., Crassweller, R., Einhorn, T., ... & Zandstra, J. (2021). Early performance of 'Honeycrisp' apple trees on several size-controlling rootstocks in the 2014 NC-140 rootstock trial. *Journal of the American Pomological Society*, 75(4), 189-202.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2020). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuauhtémoc (0805), estado de Chihuahua*. Consultado el 31 de marzo, 2022, desde https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/chihuahua/DR_0805.pdf
- Davies, F., & Albrigo, L. G. (1999). *Cítricos*. Wallingford, United Kingdom: Editorial Acibia S.A. ISBN: 978-84-200-0889-9
- Fageria, N. K., & Moreira, A. (2011). The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Advances in Agronomy*, 110, 251-331. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>
- Hezema, Y. S., Shukla, M. R., Ayyanath, M. M., Sherif, S. M., & Saxena, P. K. (2021). Physiological and molecular responses of six apple rootstocks to osmotic stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(15), 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijms22158263>
- Hosseini, S. S., Lakzian, A., & Razavi, B. S. (2022). Reduction in root active zones under drought stress controls spatial distribution and catalytic efficiency of enzyme activities in rhizosphere of wheat. *Rhizosphere*, 23, 100561.
- IBM SPSS Statistics. (2009). *Statistical Package for the Social Sciences User's Guide. version 18.0*. Armonk, NY, USA: IBM Corp.
- Liang, B., Shi, Y., Yin, B., Zhou, S., Li, Z., Zhang, X., & Xu, J. (2022). Effect of different dwarfing interstocks on the vegetative growth and nitrogen utilization efficiency of apple trees under low-nitrate and drought stress. *Scientia Horticulturae*, 305, 111369. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111369>
- Mininni, A. N., Tuzio, A. C., Brugnoli, E., Dichio, B., & Sofo, A. (2022). Carbon isotope discrimination and water use efficiency in interspecific *Prunus* hybrids subjected to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 175, 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.030>
- Moreno, F., & Patricia, L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico: Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191.
- Parra-Quezada, R. A., Ortiz-Franco, P., Amado-Álvarez, J. P., & Chávez-Sánchez, N. (2009). Productividad y crecimiento de manzano bajo déficit de riego controlado. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 337-343.
- Ramírez-Legarreta, M. R., Ruiz-Corral, J. A., Medina-García, G., Jacobo-Cuellar, J. L., Parra-Quezada, R. A., Ávila-Marioni, M. R., & Amado-Álvarez, J. P. (2011). Perspectivas del sistema de producción de manzano en Chihuahua, ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(SPE2), 265-279.
- Romero-Domínguez, L., Parra-Quezada, R. A., Jacobo-Cuellar, J. L., Ojeda-Barrios, D. L., Guerreo-Prieto, V. M., Ávila Quezada, G. D., & Ruiz-Anchondo, T. D. J. (2017). Respuesta de portainjertos de manzano a vigor, eficiencia de producción y concentraciones foliar y en fruto de NPK. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 849-861. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.12>
- Rufato, L., Da Silva, P. S., Kretschmar, A. A., Bogo, A., De Macedo, T. A., Welter, J. F., ... & Petry, D. (2021). Geneva® series rootstocks for apple trees under extreme replanting conditions in Southern Brazil. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.712162>
- Ruiz, J. P., Oviedo, E. C., Calleros, P. D., Nívar, J. D. J., Chaidez, J. G., & Pérez, J. J. (2004). Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 13(3), 443-451.
- Santos-Hernández, A. L., Palacios-Velez, E., Mejía-Saenz, E., Matus-Gardea, J. A., Galvis-Spíndola, A., Vásquez-Soto, D., ... & Peña-Díaz, S. A. (2019). Análisis del uso del agua del acuífero Cuauhtémoc, Chihuahua, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(3), 156-189. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-03-07>
- Shan, L., Yang, C., Li, Y., Duan, Y., Geng, D., Li, Z., ... & Duan, G. (2015). Effects of drought stress on root physiological traits and root biomass allocation of *Reaumuria soongorica*. *Acta Ecologica Sinica*, 35(5), 155-159.
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria). (2022). Avance de siembra y cosecha de cultivos agrícolas. Consultado el 22 de diciembre, 2023, desde https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A., & Hammel, H. T. (1965). Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148(3668), 339-346. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>
- Sun, P., Tahir, M. M., Lu, X., Liu, Z., Zhang, X., Zuo, X., ... & Yang, W. (2022). Comparison of leaf morphological, anatomical, and photosynthetic responses to drought stress among eight apple rootstocks. *Fruit Research*, 2(1), 1-13. <https://doi.org/10.48130/FruRes-2022-0020>
- Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersects method of estimating root length. *The Journal of Ecology*, 63(3), 995-1001. <https://doi.org/10.2307/2258617>
- Tomasella, M., Calderan, A., Mihelčić, A., Petruzzellis, F., Braidotti, R., Natale, S., ... & Nardini, A. (2023). Best procedures for leaf and stem water potential measurements in grapevine: Cultivar and water status matter. *Plants*, 12(13), 2412. <https://doi.org/10.3390/plants12132412>
- Tworokski, T., Fazio, G., & Glenn, D. M. (2016). Apple rootstock resistance to drought. *Scientia Horticulturae*, 204, 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.047>
- Valverdi, N. A., & Kalcsits, L. (2021). Apple rootstock genotype affects scion responses to water limitations under field conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03266-6>
- Vercammen, J., & Gomand, A. (2008). Search for a more dwarfing rootstock for 'Jonagold' apple. In *IX International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems 903*. (pp. 355-362). Geneva, NY, USA: ISHS. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.46>
- Villagrán-Deoses, R. A., Núñez-Barrios, A., Parra-Quezada, R. A., Jacobo-Cuellar, J. L., Ojeda-Barrios, D. L., Ruiz-Anchondo, T. D. J., & Salas-Salazar, N. (2015). Riego parcial de la raíz en manzano golden delicious. *Terra Latinoamericana*, 33(4), 299-308.
- Xu, H., Ediger, D., Singh, A., & Pagliocchini, C. (2021a). Rootstock-scion hydraulic balance Influenced scion vigor and yield efficiency of *Malus domestica* cv. Honeycrisp on eight rootstocks. *Horticulturae*, 7(5), 1-18. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050099>
- Xu, H., & Ediger, D. (2021b). Rootstocks with different vigor influenced scion-water relations and stress responses in Ambrosia TM apple trees (*Malus domestica* var. Ambrosia). *Plants*, 10(4), 1-19. <https://doi.org/10.3390/plants10040614>
- Yang, M., Gao, X., Wang, S., & Zhao, X. (2022). Quantifying the importance of deep root water uptake for the hydrological and physiological performance of apple trees in drylands. *Journal of Hydrology*, 606, 127471. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127471>
- Zhang, Z., Li, M., Yao, J., Zhou, Y., Wang, Y., Zhang, X., ... & Qiu, C. (2021). Root architecture characteristics of different rootstocks that control size and influence growth in apple trees 'Red Fuji'. *Scientia Horticulturae*, 281, 109959. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109959>
- Zhou, S., Shen, Z., Yin, B., Liang, B., Li, Z., Zhang, X., & Xu, J. (2022). Effects of dwarfing interstock length on the growth and fruit of apple tree. *Horticulturae*, 9(1), 1-14. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010040>