

UCV7, PORTAINJERTO DE AGUACATE TOLERANTE A SALINIDAD

UCV7, AN AVOCADO ROOTSTOCK TOLERANT TO SALINITY

Mónica Castro*, Claudia Fassio, Ricardo Cautin y Jimena Ampuero

Laboratorio de Propagación, Escuela de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Casilla 4-D, Quillota- Chile. Tel: (56)-32-2274530 y Fax: (56)-32-2274570.

*Autor para correspondencia (mcastro@ucv.cl)

RESUMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) se encuentra entre los 20 frutales de mayor importancia comercial a nivel mundial, pero su cultivo se encuentra limitado para algunas variedades que son muy sensibles a la salinidad. Debido al aumento de esta limitante en el agua de riego en varias zonas de cultivo, la presente investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto del riego con agua salina en plantas de la variedad Hass injertadas sobre UCV7 (una nueva selección de portainjerto clonal de raza Antillana), junto a otros portainjertos de actual uso en Chile, como el tradicional de semilla Nabal (raza Guatemalteca) y el clonal Duke 7 (raza Mexicana), a través de indicadores de crecimiento vegetativo aéreo y de raíces, así como indicadores de nutrimentos. Plantas de un año de edad se establecieron en contenedores, bajo condiciones de invernadero con calefacción y fueron sometidas a riego con tres concentraciones de NaCl: 0.66 mM (testigo con concentración salina en el agua común); 6 mM y 12 mM. Los portainjertos presentaron distintas estrategias frente a este estrés. Duke 7 aumentó el crecimiento vegetativo y también la absorción de nutrimentos, lo que provocó mayor daño foliar (mayor área dañada) por Cl y Na. Tanto Nabal como UCV7 no traslocaron Na a la parte aérea, lo que los haría más tolerantes. UCV7 presentó la menor área foliar dañada frente a condiciones de alta salinidad en el agua de riego, lo que es una notable ventaja en comparación con los resultados obtenidos en Nabal.

Palabras clave: *Persea americana*, estrés salino, NaCl, portainjerto clonal.

SUMMARY

Avocado (*Persea americana* Mill.) is one of the 20 most important fruit crop worldwide. However, its growing areas are limited because some avocado varieties are very sensitive to salinity. Due to a rising salinity levels in water resources used in avocado irrigation, a study was conducted to evaluate the effect of different salinity level present in irrigation water on Hass trees grafted on UCV7 (new selection of West Indian clonal avocado rootstocks), along with other rootstocks currently used in Chile as Nabal (Guatemalan race and seedling) and clonal Duke 7 (Mexican race), through vegetative growth and roots indicators, as well as nutrimental indicators. One year old trees were established in containers, under temperature controlled greenhouse and were subjected to irrigation at three NaCl concentrations: 0.66 mM (control treatment), 6 mM and 12 mM. Rootstocks showed different strategies to overcome this stress. Duke 7 increased vegetative growth and also nutrient uptake, which led to greater leaf damage by Cl and Na. Both Nabal and UCV7 rootstocks did not translocate Na from root to leaf thus inducing tolerance to salinity. UCV7 showed the lowest leaf damage under high salinity level in irrigation water, an important advantage compared to Nabal.

Index words: *Persea americana*, salinity stress, NaCl, clonal rootstock.

INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) se encuentra entre los 20 frutales de mayor importancia comercial a nivel mundial (Schaffer *et al.*, 2013); es también uno de los cultivos de mayor expansión en superficie, y se estima que anualmente se producen alrededor de 2.6 millones de toneladas (Rubí *et al.*, 2013). Lo anterior obedece en parte a la excelente calidad organoléptica y nutricional de su fruto, considerado como uno de los más completos en este aspecto por la diversidad de vitaminas y minerales que lo componen (Maldonado-Torres *et al.*, 2007). También obedece a la preferencia de los consumidores, al crecimiento de los mercados locales y la aparición de nuevos países exportadores (Macías, 2011).

El aguacate se ha identificado como uno de los frutales más sensible a las sales (Bernstein *et al.*, 2004; Mickelbart *et al.*, 2007), ya que los árboles de esta especie regados con agua cuyo contenido de cloruro y sodio se encuentra en niveles tolerables por la mayoría de los cultivos evidencian daño severo en las hojas, restricción del crecimiento vegetativo y disminución del volumen productivo (Bernstein *et al.*, 2001). Esta situación se produce a nivel mundial en aquellas zonas con clima árido y semiárido en que se cultivan aguacates (Schaffer *et al.*, 2013), lo que ha llevado a buscar distintas medidas para enfrentar el problema de salinidad, dentro de las cuales la selección de portainjertos con tolerancia a sales representa una alternativa factible (Crowley *et al.*, 2003).

Las estrategias que desarrollan las plantas para tolerar condiciones de salinidad pueden ser clasificadas en tres grupos: (1) Físicas, que involucran la exclusión o inclusión de sales, seguidas del transporte y compartimentalización de éstas; (2) Morfológicas, relacionadas con la distribución de biomasa en brotes y raíces, además del cierre estomático; y (3) Fisiológicas y metabólicas, que contrarrestan la presencia de sales a nivel celular (Kozłowski, 1997). La tolerancia del aguacate

a la salinidad, definida como la habilidad para mantener el crecimiento en ambientes salinos, es mayor en portainjertos de raza Antillana, intermedia en los de raza Guatemalteca y menor en los de raza Mexicana (Ben-Ya'acov y Michelson, 1995).

Además, el nivel de tolerancia al estrés salino varía entre portainjertos pertenecientes a una misma raza, lo que tendría relación con la estrategia mediante la cual enfrentan este tipo de estrés; en los portainjertos de aguacate con tolerancia relativa a la salinidad, se ha demostrado que ésta se relaciona principalmente con su habilidad para evitar la acumulación de sodio y cloro en la variedad injertada y en la capacidad de mantener la relación K/Na en las hojas más viejas (Mickelbart y Arpaia, 2002; Mickelbart *et al.*, 2007).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del riego con agua salina en plantas de la variedad Hass injertadas sobre UCV7 (una nueva selección de portainjerto clonal de raza Antillana), junto a otros portainjertos de actual uso en Chile como el tradicional Nabal procedente de semilla (raza Guatemalteca) y el clonal Duke 7 (raza Mexicana), a través de indicadores de crecimiento vegetativo aéreo y de raíces, así como indicadores nutrimentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación, implementación y manejo del experimento

Este estudio se llevó a cabo en la Escuela de Agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, ubicada en la Provincia de Quillota (32° 50' S; 71° 13' O, a una altitud de 120 m), Región de Valparaíso, Chile.

Se utilizaron tres portainjertos: Duke 7 de raza Mexicana, UCV7 de raza Antillana, ambos propagados clonalmente a través del método Brokaw, modificado de Frolich (Brokaw, 1987) y Nabal de raza Guatemalteca propagado a través de semilla, todos ellos injertados con la variedad Hass. Las plantas de 1 año de edad fueron trasplantadas en septiembre de 2012 desde los contenedores originales de 12 L a recipientes de plástico rígido de 35 L, procurando causar el menor daño posible a las raíces. La mezcla empleada para rellenar el nuevo contenedor fue clasificada por textura como franco-arenoso, con 73 % de arena, 5 % de arcilla y 22 % de limo. Este sustrato fue esterilizado con vapor de agua a 100 °C por 45 min antes de ser utilizado. Las plantas se ubicaron dentro de un invernadero con calefacción en una amplitud de temperaturas entre 17 y 35 °C, con humedad relativa entre 50 y 80 %. La radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) fue medida mensualmente durante el periodo del experimento y fluctuó entre 400 y 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. El riego por planta se aplicó mediante dos emisores con un caudal individual de 3 L h^{-1} ; las plantas

fueron fertirrigadas durante el periodo experimental con la solución nutritiva propuesta por Mass y Poss (1989).

Tratamientos

Los tratamientos correspondieron a la combinación de tres variedades de portainjerto (Nabal, Duke 7 y UCV7), cada uno con tres concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) en el agua de riego [0.66 mM, (S1: Testigo sin NaCl adicional); 6 mM (S2); y 12 mM (S3)]. Los tratamientos se designaron de acuerdo con la siguiente nomenclatura: T1 (Nabal/S1); T2 (Duke7/S1); T3 (UCV7/S1); T4 (Nabal/S2); T5 (Duke7/S2); T6 (UCV7/S2); T7 (Nabal/S3); T8 (Duke7/S3); T9 (UCV7/S3). La aplicación de los tratamientos se inició en enero del 2013.

Variables evaluadas

El desarrollo vegetativo se evaluó mediante la medición mensual de la longitud del eje principal y de dos brotes laterales en cada planta. Además, el diámetro de portainjerto y variedad fueron medidos a 3 cm por sobre y debajo de la unión variedad/portainjerto, con un vernier digital (Mitutoyo IP 40®, Japan), al inicio y finalización del ensayo.

Para determinar el contenido de potasio, cloruro y sodio en las plantas evaluadas, en cada tratamiento se tomó una muestra de 50 hojas y 50 g de raíces por planta. Además se tomó una muestra de tallo del portainjerto de 5 cm y de raíces estructurales (30 g) con el propósito de determinar el contenido de almidón. Los tejidos fueron lavados con agua destilada y detergente y secados a 65 °C en estufa de ventilación forzada (Sheldon 1350 GX®, USA) hasta peso constante; posteriormente, las muestras fueron molidas y tamizadas. Las concentraciones de sodio fueron determinadas por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer Analyst 300®, USA), los cloruros por titulación argentométrica (Sadzawka, 2006), el K por emisión atómica (Sadzawka *et al.*, 2006) y el almidón por el método de antrona (Withman *et al.*, 1971). Todas las muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar de la Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Para estimar el daño foliar por toxicidad de sales, al finalizar el experimento cada planta se caracterizó según la siguiente escala visual de daño foliar: ausente, sin daño (0); muy leve, con daño entre 1 y 5 % del área de la hoja (1); leve, entre 5 y 15 % del área de la hoja (2); moderado, entre 15 y 30 % del área de la hoja (3); y severo, más de 30 % del área de la hoja (4).

Luego de 130 d desde el inicio del experimento, las plantas fueron extraídas del contenedor con el sistema radical

intacto, se disecaron y de cada planta se tomaron muestras de 40 hojas, 5 trozos de tallo de 15 cm y 50 g de raíz. El peso fresco de la muestra foliar y de raíces fue cuantificado y posteriormente se secaron en estufa (Sheldon 1350 GX®, USA) a 70 °C por 48 h, con la finalidad de medir el peso seco.

Diseño y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3, en el que los dos factores fueron la variedad de portainjerto y la concentración de NaCl en el agua de riego, cada factor con tres niveles (3 variedades y 3 concentraciones salinas), para un total de nueve tratamientos. La unidad experimental fue una planta con seis repeticiones por tratamiento en los portainjertos clonales Duke 7 y UCV7, y 12 réplicas en las plantas injertadas sobre Nabal, debido a la variabilidad que presenta el material propagado por semilla. La varianza se determinó a través de un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías y los promedios se contrastaron mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$). Se calcularon además las correlaciones de Pearson entre todos los pares posibles de variables, mediante el programa SPSS (2008) versión 17.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en algunas variables evaluadas fueron producto del efecto independiente de los factores en estudio, mientras que en otros hubo efecto de la interacción entre ellos. El desarrollo del eje central fue afectado por la interacción entre la variedad del portainjerto y los niveles de salinidad. Las plantas que alcanzaron el mayor desarrollo fueron las del tratamiento T5 (Duke7/S2), que superaron a los tratamientos T1 (Nabal/S1), T3 (UCV7/S1), T4 (Nabal/S2) y T8 (Duke7/S3) (Cuadro 1). Se observó en general mayor crecimiento del eje central a medida que aumentó la concentración de NaCl, con excepción de las plantas del tratamiento T8 (Duke7/S3), las que alcanzaron el menor desarrollo.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Musyimi *et al.* (2007), quienes en ensayos de salinidad en concentraciones de 15, 30, 45 y 60 mM NaCl observaron que durante los primeros días del ensayo hubo estimulación del desarrollo vegetativo en los tratamientos con niveles intermedios de sal que variaron entre 0 a 45 mM; no obstante, después registraron un detrimento en el desarrollo de brotes de aguacate en plantas sometidas a la mayor concentración de NaCl. Al respecto, diversos autores han indicado que la respuesta general de las plantas en condiciones de salinidad corresponde a una disminución en el crecimiento vegetativo y reproductivo, debido a la interferencia en el funcionamiento metabólico (Kozłowski, 1997). Sin em-

Cuadro 1. Efecto de la interacción de los portainjertos Nabal, Duke 7 y UCV7 y tres niveles de salinidad en el agua de riego, sobre el crecimiento del eje central de plantas de aguacate variedad Hass.

Tratamiento	Crecimiento del eje central (cm)
T1 (Nabal/S1)	91.6 b
T2 (Duke7/S1)	95.7 ab
T3 (UCV7/S1)	82.0 b
T4 (Nabal/S2)	92.1 b
T5 (Duke7/S2)	122.7 a
T6 (UCV7/S2)	94.1 ab
T7 (Nabal/S3)	97.7 ab
T8 (Duke7/S3)	81.7 b
T9 (UCV7/S3)	96.1 ab

S1:0.66 mM NaCl; S2:6 mM NaCl; S3:12 mM NaCl. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

bargo, es posible que a ciertos niveles de sales en el agua de riego (6 mM en este caso) se activen mecanismos de adaptación como el crecimiento vegetativo rápido que permite diluir la concentración de sal en los tejidos (Flowers *et al.*, 1988).

En cuanto al desarrollo de brotes laterales, sólo hubo efecto del factor portainjerto. Las plantas injertadas sobre UCV7 alcanzaron mayor crecimiento que las injertadas sobre Nabal (Cuadro 2). Es importante señalar que la mayoría de los portainjertos de raza Antillana se caracterizan por inducir mayor vigor a la variedad injertada (Ben-Ya'acov y Michelson, 1995). Por su parte, el diámetro del portainjerto y la variedad fueron afectados solamente por el nivel de salinidad, sin diferencias significativas entre portainjertos.

Cuadro 2. Desarrollo de brotes laterales de plantas de aguacate variedad Hass injertadas sobre los portainjertos Nabal, Duke 7 y UCV7, bajo tres niveles de salinidad en el agua de riego.

Portainjerto	Longitud de brotes laterales (cm)
Nabal	33.2 a
Duke 7	45.2 ab
UCV 7	57.2 b

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El número de hojas fue afectado por ambos factores de forma independiente (Cuadro 3); las plantas injertadas sobre UCV7 y Duke 7 presentaron el mayor número de hojas. Al considerar el efecto de la salinidad, en los niveles S2 y S3 las plantas desarrollaron mayor número de hojas que en S1 (Cuadro 3). El peso fresco del follaje también fue afectado por ambos factores de forma independiente; los portainjertos Duke 7 y UCV7 alcanzaron el mayor peso fresco de hojas;

Cuadro 3. Efecto independiente de los factores portainjerto y salinidad sobre el número de hojas y peso fresco del follaje de plantas de aguacate variedad Hass injertadas sobre los patrones Nabal, Duke 7 y UCV7.

Factor		Núm. de hojas	Peso fresco del follaje (g)
Portainjerto	Nabal	121.9 a	263.5 a
	Duke 7	169.1 b	354.3 b
	UCV 7	178.5 b	357.4 b
Salinidad (mM NaCl)	S1 (0.66)	106.1 a	225.6 a
	S2 (6)	189.5 b	392.1 b
	S3 (12)	173.8 b	357.7 b

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

en cuanto al efecto de la salinidad, las plantas tratadas con los niveles S2 y S3 alcanzaron mayor peso de follaje que las del nivel S1.

Cabe destacar que todas las plantas desarrollaron más hojas y aumentaron el peso fresco del follaje al incrementarse la concentración de NaCl del nivel S1 al S2. La estrategia de dilución de las sales en los tejidos vegetales para tolerar el estrés salino, se ha asociado con cambios morfológicos como el aumento en grosor de las hojas e incremento del tamaño celular, entre otros (Kozlowski, 1997). Las plantas tratadas con el nivel S3, si bien presentaron un mayor número de hojas y peso fresco respecto de las que recibieron el nivel (S1), el valor fue menor en comparación a aquellas tratadas con S2, por lo que se deduce que en el nivel más alto de NaCl la salinidad causa un detrimento en el desarrollo vegetativo de las plantas.

En el peso fresco de raíces sólo hubo efecto del factor portainjerto, y las plantas de Duke 7 que superaron estadísticamente al portainjerto Nabal, aunque fueron similares a las correspondientes a UCV7 (Cuadro 4). Previamente se había demostrado que los portainjertos propagados clonalmente presentan mejor desarrollo del sistema radical respecto de los propagados por semilla (Fassio *et al.*; Com. pers.)¹, por tener mejor absorción de agua y nutrimentos, ventaja que es especialmente crítica bajo condiciones de salinidad en el agua de riego. En el peso seco de raíces no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

Contenido nutrimental

Potasio (K). Si bien en todos los tratamientos el contenido foliar de K se encontraba dentro de los intervalos normales de este nutrimento en aguacate (0.9 a 2 %) la concentración foliar de K alcanzada por las plantas correspondientes al tratamiento T8 (Duke7/S3) fue la más alta, aunque sin ser

¹Fassio C., M. Castro, N. Darrouy y J. Mamani (2007) Caracterización morfológica y anatómica de raíces de portainjertos de semilla y clonales de aguacate (*Persea americana* Mill.). In: Proc. VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate). Viña Del Mar, Chile. 12 – 16 Nov. pp:33.

Cuadro 4. Peso fresco de raíces de plantas de aguacate variedad Hass injertadas sobre tres portainjertos.

Portainjerto	Peso fresco de raíces (g)
Nabal	340.7 a
Duke 7	504.2 b
UCV 7	419.9 ab

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

distinta de T6, T7 y T5. Con respecto al nivel de K presente en las raíces, éste fue mayor en las plantas del tratamiento T3 (UCV7/S1) y menor en las correspondientes a los tratamientos T7 (Nabal/S3) y T9 (UCV7/S3) (Cuadro 5). En términos generales se detectó que en los tratamientos que recibieron una mayor concentración de NaCl adicionada a través del riego hubo incremento de los niveles de K foliar y disminución de este elemento en las raíces. Según Greenway y Munns (1980) y Maathuis y Amtmann (1999), uno de los mecanismos de tolerancia a la salinidad desarrollado por plantas no halófitas es la selectividad del K por sobre el Na cuando se produce la movilización de estos elementos desde el xilema hacia el floema, lo que favorecería el incremento de la relación K/Na a nivel de órganos vegetativos.

Sodio (Na). El contenido de sodio en hojas fue mayor en las plantas de los tratamientos T8 (Duke7/S3), T5 (Duke7/S2), T6 (UCV7/S2) y T7 (Nabal/S3), sin diferencias entre ellos (Cuadro 5). En las raíces el contenido fue mayor en las plantas de los tratamientos T8 (Duke7/S3), T4 (Nabal/S2), T5 (Duke7/S2), T6 (UCV7/S2) y T7 (Nabal/S3), sin diferencias entre ellos. Es de destacar que la concentración de Na fue notablemente mayor en las raíces que en el follaje, en todos los tratamientos. En general se observó un aumento en la concentración de este elemento a nivel de raíces conforme se incrementó la concentración de NaCl aplicada, mientras el contenido de éste a nivel de hojas no varió, con excepción de las plantas del tratamiento T8 (Duke7/S3) en las que hubo un incremento significativo, aunque menor al alcanzado en raíces. De acuerdo con Flowers y Yeo (1988), en plantas leñosas perennes (como

Cuadro 5. Contenido de K y Na en hojas y raíces de plantas de aguacate variedad Hass injertadas sobre los portainjertos Duke 7, Nabal y UCV7, sometidas a tres concentraciones de NaCl.

Tratamiento	Foliar		Raíces	
	K (%)	Na (ppm)	K (%)	Na (ppm)
T1 (Nabal/S1)	1.0 d	200 a	1.3 b	5800 a
T2 (Duke7/S1)	1.0 d	300 a	1.3 b	6600 a
T3 (UCV7/S1)	1.1 cd	400 a	1.8 a	4100 a
T4 (Nabal/S2)	1.3 bcd	300 a	0.8 c	10,700 b
T5 (Duke7/S2)	1.4 abc	400 a	1.0 bc	13,200 bc
T6 (UCV7/S2)	1.4 abc	200 a	0.8 c	11,700 bc
T7 (Nabal/S3)	1.5 ab	400 a	0.7 c	13,000 bc
T8 (Duke7/S3)	1.8 a	1200 b	0.9 bc	14,600 c
T9 (UCV7/S3)	1.2 bcd	300 a	0.7 c	13,000 bc

S1:0.66 mM NaCl; S2:6 mM NaCl; S3:12 mM NaCl. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

cítricos y uvas de mesa) el Na es retenido en las raíces y tallos (que actúan como filtro y amortiguan el paso de Na a la parte aérea), y es el Cl el que se acumula en los brotes y es más dañino para la planta.

El K es uno de los principales solutos empleados para el ajuste osmótico en células vacuoladas o poco vacuoladas. Cumple funciones de importancia a nivel celular, como la regulación del balance de cargas en el citoplasma, activación de ciertos procesos enzimáticos y una sustancial contribución al potencial osmótico celular. Debido a que la estructura fisicoquímica del K y Na son similares, la competición de este último por sitios de absorción, transporte y de unión en el citoplasma puede resultar en una deficiencia de potasio a nivel foliar, situación que no ocurrió en este experimento porque los niveles de potasio permanecieron en los intervalos normales. Uno de los mecanismos que poseen las plantas para contrarrestar los efectos del estrés por salinidad, corresponde al incremento de la relación K/Na en los tejidos (Yeo, 1998).

Las plantas sobre portainjertos UCV7 y Nabal no presentaron aumentos significativos en los niveles de Na foliar debido a los tratamientos de salinidad, lo que indica que estas traslocan menos de este elemento a la parte aérea, a diferencia de Duke 7 en donde los aumentos de Na fueron significativamente superiores a nivel foliar en el tratamiento con mayor concentración de sales. Esto concuerda con lo observado por Castro *et al.* (2009), en el sentido de que el portainjerto Nabal presentó mayor capacidad de excluir el Na de la parte aérea. De acuerdo con Mickelbart y Arpaia (2002), algunos genotipos de aguacate poseerían la capacidad de secuestrar Na en las raíces, lo que les permite mantener estos elementos en niveles de baja toxicidad en hojas.

Cloro (Cl). Las plantas de los tratamientos testigo T1 (Nabal/S1), T2 (Duke 7/S1) y T3 (UCV7/S1) presentaron la menor concentración de cloro en hojas. En contraparte, las plantas de los tratamientos T8 (Duke7/S3) y T5 (Duke7/S2) lograron la mayor concentración de Cl a nivel foliar (Cuadro 6). En raíces, para el factor salinidad la mayor concentración de Cl se presentó en el nivel S3, y para el factor portainjerto, Duke 7 y UCV7 mostraron la mayor concentración respecto de Nabal. Los mayores niveles de Cl tanto a nivel foliar como en raíces, en las plantas injertadas sobre Duke 7, evidencian su menor capacidad de excluir el Cl del follaje, respecto de los otros dos patrones evaluados, lo cual concuerda con lo observado por Céspedes *et al.* (Com. pers.)² en este portainjerto.

Con base en sus estudios de salinidad realizados con portainjertos de aguacate de raza Antillana y Mexicana, Lahav *et al.* (1993), concluyeron que el contenido de cloruro foliar fue tres veces mayor en los de raza Mexicana que en variedades injertadas en los portainjertos antillanos. En esta investigación tanto Duke 7 como Nabal presentaron cinco veces más concentración en el tratamiento de mayor salinidad (12 mM NaCl), y en UCV7 de raza Antillana fue cuatro veces mayor, respecto de los tratamientos en que no se aplicó sal adicional. Según Castro *et al.* (2009) en el portainjerto Nabal ocurre exclusión de Cl a nivel foliar; sin embargo, esto se determinó a niveles menores de concentración de sales que las utilizadas en la presente investigación.

En raíces, los contenidos de cloruro fueron significativamente inferiores en Nabal (Cuadro 7), lo que indicaría un

²Céspedes R., D. Crowley, W. Smith, J. Oster y C. Lovatt (2007) Growth and physiological response of Hass avocado (*Persea americana* Mill.) on clonal rootstocks irrigated with isotonic solutions with increasing chloride concentrations. In: Proc. of the Sixth World. Avocado Congress, Viña del Mar, Chile. 12-16 Nov. pp: 33.

Cuadro 6. Contenido de los iones Cl de plantas de aguacate de la variedad Hass injertadas sobre los portainjertos Duke 7, Nabal y UCV7, sometidas a tres concentraciones de NaCl.

Tratamiento	Cl (ppm)
T1 (Nabal/S1)	2000 a
T2 (Duke7/S1)	3000 a
T3 (UCV7/S1)	2000 a
T4 (Nabal/S2)	10,000 b
T5 (Duke7/S2)	12,000 bc
T6 (UCV7/S2)	9000 b
T7 (Nabal/S3)	10,000 b
T8 (Duke7/S3)	15,000 c
T9 (UCV7/S3)	9000 b

S1:0.66 mM NaCl; S2:6 mM NaCl; S3:12 mM NaCl. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 7. Efecto independiente de los factores variedad de portainjerto y nivel de salinidad en la concentración de Cl en raíces de plantas de aguacate.

Factor		Cl (ppm)
Portainjerto	Nabal	9300 a
	Duke 7	11,420 b
	UCV 7	11,529 b
Salinidad (mM NaCl)	S1: 0.66	7600 a
	S2: 6	10,770 b
	S3: 12	13,860 b

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

mayor movimiento de este elemento hacia la parte aérea o una menor capacidad de absorción del mismo, debido al menor desarrollo radical de este portainjerto derivado de semilla en comparación con los otros de propagación clonal.

Daño foliar

La necrosis de hojas causada por acumulación de sales se debió a la interacción de los factores en estudio. Las plantas que presentaron síntomas de mayor daño correspondieron al tratamiento T7 (Nabal/S3) y T8 (Duke7/S3) que alcanzaron el nivel "daño severo" en la escala definida (Cuadro 8). El resto de los tratamientos presentó un daño foliar significativamente menor a los indicados. En aguacate se ha comprobado que altos niveles de Cl provocan necrosis en hojas, y el nivel de daño de este elemento estaría relacionado con su concentración en los tejidos, lo que a su vez estaría regulado por la variedad afectada (Mickelbart y Arpaia, 2002; Mickelbart *et al.*, 2007).

Cuadro 8. Efecto de la aplicación de cloruro de sodio sobre la magnitud de área dañada en hojas de aguacate variedad Hass injertada sobre tres portainjertos después de 120 días de aplicación de tratamientos.

Tratamiento	Área dañada (%)
T1 (Nabal/S1)	0.0 a
T2 (Duke7/S1)	0.0 a
T3 (UCV7/S1)	0.0 a
T4 (Nabal/S2)	2.6 abc
T5 (Duke7/S2)	5.9 bc
T6 (UCV7/S2)	1.3 ab
T7 (Nabal/S3)	12.2 d
T8 (Duke7/S3)	7.9 cd
T9 (UCV7/S3)	5.4 abc

S1:0.66 mM NaCl; S2:6 mM NaCl; S3:12 mM NaCl. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El portainjerto UCV7 presentó la menor área foliar dañada aun al crecer con la mayor concentración de sal en el agua de riego (S3). En este portainjerto los niveles de Cl a nivel foliar fueron similares a los de Nabal (que sí presentó quemadura), es de suponer que habría una tolerancia específica a este elemento a nivel foliar, tal como la reportada por Kadman y Ben-Ya'acov (1969). De acuerdo con Kadman (1963), la concentración foliar de cloro no debiera usarse como criterio de sensibilidad, pues algunas variedades de aguacate con altos niveles de cloro en las hojas no muestran síntomas aparentes de daño.

Contenido de almidón en tallo y raíz

El contenido de almidón en tallo fue afectado por los factores portainjerto y nivel de salinidad de forma independiente, sin efecto de la interacción. Las plantas injertadas sobre Nabal alcanzaron la mayor concentración de este polisacárido en comparación a los otros portainjertos. Para el factor salinidad las plantas tratadas con los niveles S2 y S3 registraron el mayor contenido de almidón en tallos (Cuadro 9).

En raíces el contenido de almidón fue afectado sólo por el factor portainjerto, ya que las plantas injertadas sobre Nabal fueron las que presentaron el mayor valor del mismo. Duke7 exhibió un contenido intermedio de almidón, mientras que UCV7 presentó el menor valor (Cuadro 10). En algunos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) se ha observado que bajos niveles de almidón en raíces son resultado del desdoblamiento de este polisacárido en azúcares reductores y no reductores, necesarios para lograr ajuste osmótico en condiciones de estrés por salinidad (Amirjani, 2011).

Cuadro 9. Contenido de almidón en el tallo de plantas de aguacate variedad Hass injertadas sobre los patrones Nabal, Duke 7 y UCV 7, tratados con tres niveles de salinidad.

Factor	Contenido de almidón (mg kg ⁻¹)	
Portainjerto	Nabal	104.7 a
	Duke 7	44.9 b
	UCV 7	56.0 b
Salinidad (mM NaCl)	S1 (0.66)	55.7 a
	S2 (6)	75.9 b
	S3 (12)	73.9 b

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 10. Contenido de almidón en raíces de plantas de aguacate variedad Hass injertadas sobre los portainjertos Nabal, Duke 7 y UCV7 bajo tres niveles de salinidad.

Portainjerto	Contenido de almidón (mg kg ⁻¹)
Nabal	92.2 a
Duke 7	58.8 b
UCV 7	31.9 c

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Por tanto, los menores niveles de almidón presentes en plantas de Hass injertadas sobre el portainjerto UCV 7 indican una mayor capacidad de osmorregulación a nivel radical en éste. En este sentido, se ha señalado que en las plantas los azúcares juegan un papel importante en el equilibrio osmótico cuando se encuentran sometidas a estrés salino, al actuar como osmoprotectores. El mecanismo mediante el

Cuadro 11. Coeficientes de correlación posibles entre las variables evaluadas en plantas de aguacate variedad Hass injertadas sobre los portainjertos Nabal, Duke 7 y UCV7 bajo tres niveles de salinidad.

	LE	LB	NH	PFF	PFR	K f	Na f	Cl f	K r	Na r	Cl r	Al r	Al f
LE													
LB	0.01												
NH	0.30**	0.28*											
PFF	0.36**	0.29*	0.92**										
PFR	0.28	0.14	0.51**	0.55**									
K f	0.03	0.05	0.37	0.41**	0.07								
Na f	0.19	0.11	0.19	0.21	0.13	0.60**							
Cl f	0.05	0.01	0.49**	0.50**	0.19	0.61**	0.45**						
K r	0.01	0.21	-0.41**	-0.38**	-0.06	-0.35**	-0.05	-0.62**					
Na r	0.12	-0.04	0.47**	0.52**	0.14	0.53**	0.30*	0.69**	-0.75**				
Cl r	0.04	0.10	0.38**	0.45**	0.12	0.31*	0.33*	0.59**	-0.28*	0.69**			
Al r	-0.4*	0.07	-0.34	-0.36*	-0.35	-0.37	-0.28	-0.64**	0.32	-0.66**	-0.46*		
Al f	-0.2	0.14	-0.01	-0.01	-0.31	0.02	0.09	-0.25	0.26	0.33	-0.20	0.44*	

*, ** P ≤ 0,05 y 0,01 respectivamente. LE = largo del eje; LB = largo del brote; NH = número de hojas; PFF = peso fresco del follaje (g); PFR = peso fresco de raíz (g); K f = potasio foliar (%); Na f = sodio foliar (ppm); Cl f = cloro foliar (ppm); K r = potasio en raíz (%); Na r = sodio en raíz (ppm); Cl r = cloro en raíz (ppm); Al r = almidón en raíz (mg kg⁻¹); Al t = almidón en tallo (mg kg⁻¹).

cual los azúcares actúan varía entre especies y variedades, ya sea aumentando o disminuyendo su contenido en raíces y órganos aéreos (Parida *et al.*, 2002; Boriboonkaset *et al.*, 2012).

Correlaciones entre variables

En este estudio se encontró correlación positiva y significativa ($r = 0.92$) entre peso fresco foliar y contenido de N en hoja (Cuadro 11). A nivel de raíces también se observó correlación negativa y significativa ($r = -0.75$) de Na con K, lo cual sugiere que estos genotipos bajarían los niveles de Na al incrementar los niveles de absorción de K.

CONCLUSIONES

Plantas de la variedad Hass injertadas sobre portainjertos de distinto origen, presentan diferentes respuestas frente al riego con agua salina. El portainjerto clonal de raza Mexicana Duke7 indujo aumento de la biomasa producida, pero a la vez la absorción de nutrientes que provocó mayor daño foliar por Cl y Na. Tanto el portainjerto Nabal (raza Guatemalteca, derivado de semilla) como la selección clonal de raza Antillana UCV7, no traslocan Na a la parte aérea, lo que los hace más tolerantes. La nueva selección del portainjerto UCV7 presenta una notable ventaja frente al resto de los portainjertos evaluados, al exhibir una menor sensibilidad frente a condiciones de alta salinidad en el agua de riego.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios Avanzados

de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso por el apoyo al proyecto "Evaluación de germoplasma nacional de portainjerto de palto, bajo condiciones de estrés salino".

BIBLIOGRAFÍA

- Amirjani M. R. (2011) Effect of salinity stress on growth, sugar content, pigments and enzyme activity of rice. *International Journal of Botany* 7:73-81.
- Ben-Ya'acov A. and E. Michelson (1995) Avocado Rootstocks. *Horticultural Reviews* 17:381-429.
- Bernstein N., M. Loffe and M. Zilberstaine (2001) Salt-stress effects on avocado rootstock growth. I Establishing criteria for determination of shoot growth sensitivity to the stress. *Plant and Soil* 233:1-11.
- Bernstein N., A. Meiri, and M. Zilberstaine (2004) Root growth of avocado is more sensitive to salinity than shoot growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129:188-192.
- Boriboonsakset T., C. Theerawitaya, A. Pichakum, S. Cha-um, T. Takabe and Ch. Kirdmanee (2012) Expression levels of some starch metabolism related genes in flag leaf of two contrasting rice genotypes exposed to salt stress. *Australian Journal of Crop Science* 6:1579-1586.
- Brokaw W. (1987) Avocado clonal rootstock propagation. *Proceedings of the International Plant Propagator's Society* 37:97-103.
- Castro M., R. Iturrieta and C. Fassio (2009) Rootstock effect on the tolerance of avocado plants cv. Hass to NaCl stress. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69:316-324.
- Crowley D., M. L. Arpaia, W. Smith, P. Clark, G. Bender and G. Witney (2003) Rootstock selections for improved salinity tolerance of avocado. In: Proceedings of California Avocado. G. Witney (ed.). Research Symposium. Ventura, California, 1 Nov. California Avocado Commission, California, USA. pp:116-119.
- Flowers T., F. Salama and A. Yeo (1988) Water-use efficiency in rice (*Oryza sativa* L.) in relation to resistance to salinity. *Plant, Cell and Environment* 11:453-459.
- Flowers T. J. and Yeo A. R. (1988) Ion relation of salt tolerance. In: Solute transport in plant cells and tissues. D. A. Baker and J. L. Hall, (eds.). Harlow: Longman Scientific and Technical. pp:392-413.
- Greenway H. and R. Munns (1980) Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 31:149-90.
- Kadman A. (1963) The uptake and accumulation of chloride in avocado leaves and the tolerance of avocado seedlings under saline conditions. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 83:80-286.
- Kadman A. and A. Ben-Ya'acov (1969) 1. Selection of rootstocks and other work related to salinity and lime. In: The division of Subtropical Horticulture. The Volcani Institute of Agricultural Research (1960-1969). Volcani Institute of Agricultural Research. Bet Dagan, Israel. pp:23-40.
- Kozłowski T. T. (1997) Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph* 1:1-29.
- Lahav E., R. Steinhardt and D. Kalmar (1993) Effect of salinity on the nutritional level of the avocado. In: Optimization of Plant Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences. v. 53. M. A. C. Frago, M. L. Van Beusichem, A. Houwers (eds.). Springer Dordrecht, Netherlands. pp:593-596.
- Maas E. and J. Poss (1989) Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrigation Science* 10:29-40.
- Maathuis F. and A. Amtmann. (1999) K⁺ Nutrition and Na⁺ Toxicity: The Basis of Cellular K⁺/Na⁺ Ratios. *Annals of Botany* 84:123-133.
- Macías A. (2011) México en el mercado internacional de aguacate. *Revista de Ciencias Sociales* 17:517-532.
- Maldonado-Torres R., M. E. Álvarez-Sánchez, G. Almaguer-Vargas, A. Barrientos-Priego and R. García-Mateos (2007) Nutritional standards for 'Hass' avocado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13:103-108.
- Mickelbart M. and M. L. Arpaia (2002) Rootstocks influence changes in ion concentrations, growth, and photosynthesis of Hass avocado trees in response to salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127:649-655.
- Mickelbart M., S. Melsner and M. L. Arpaia (2007) Salinity-induced changes in ion concentrations of 'Hass' avocado trees on three rootstocks. *Journal of Plant Nutrition* 30:105-122.
- Musyimi D. M., G. W. Netondo and G. Ouma (2007) Effects of salinity on growth and photosynthesis of avocado seedlings. *International Journal of Botany* 3:78-84.
- Parida A., A. Bandhu and P. Dam (2002) NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *Journal of Plant Biology* 45:28-36.
- Rubí M., A. L. Franco, S. Rebolgar, E. E. Bobadilla, I. Martínez y Y. Siles (2013) Situación actual del cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) en el Estado de México, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16: 93-101.
- Sadzawka, A. (2006) Métodos de Análisis de Agua para Riego. Serie actas. N° 37. INIA, Santiago, Chile. 332 p.
- Sadzawka A., Carrasco M. A., Grez R., Mora G., Flores H. y Neaman A. (2006) Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile. Revisión 2006. Serie actas INIA N 34. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. 164 p.
- Schaffer B., B. Wolstenholme and A. Whiley (2013) The Avocado: Botany, Production and Uses. 2nd ed. CAB International. Oxfordshire, UK. 560 p.
- Withman F. H., Blaydes D. F. and Devlin R. M. (1971) Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company. New York. USA. 245 p.
- Yeo A. (1998) Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany* 49:915-929.