

RESPUESTA DE PLANTAS DE AGUACATE CV HASS BAJO CONDICIONES DE SEQUÍA

Barrientos Priego¹ A. F.; J. L. Rodríguez O.²

RESUMEN. Se estudio en plantas de aguacate del cv. Hass el comportamiento de algunos aspectos fisiológicos y bioquímicos bajo condiciones de sequía y riego. Se encontró que la fotosíntesis, conductancia estomatal, transpiración y eficiencia en el uso de agua fueron afectadas fuertemente por el déficit hídrico y que después de un riego de recuperación en el punto de marchitez permanente (PMP) estos parámetros no se recuperaron después de 24 horas. En cuanto a los potenciales hídricos, osmóticos y de turgencia, al igual que el contenido relativo de agua fueron muy semejantes bajo riego y sequía, por lo que aparentemente existió ajuste osmótico. El contenido de prolina fue significativamente más alto en PMP con respecto al testigo. En el caso del ácido abscísico (ABA) también se encontró que existió el doble durante PMP que el testigo de riego.

PALABRAS CLAVE: Aguacate, sequía, transpiración, fotosíntesis.

'HASS' AVOCADO PLANTS RESPONSE UNDER DROUGHT CONDITIONS

SUMMARY. Avocado plants of cv. Hass were used to study the behavior of some physiological and biochemical aspects under the condition of drought and irrigation. It was found that the photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and water use efficiency were highly affected by water deficit and in re-watering recovery at permanent wilting point (PWP) and did not recover after 24 hours. The water osmotic and turgor potentials, as well as the relative water content were similar under drought and irrigation, thus apparently osmotic adjustment was occurring. The proline content was significantly higher in PWP with respect to the control. The abscisic acid content was also higher in drought at PWP and was double that of the irrigation control.

KEY WORDS. Avocado plants, drought, photosynthesis, transpiration.

INTRODUCCION

Las plantas durante su desarrollo se enfrentan a varias condiciones ambientales adversas como son: temperatura, patógenos, escasez o exceso de nutrimentos minerales, falta de agua, entre otros factores.

En el caso de la falta de agua o sequía, la planta experimenta un déficit hídrico interno que afecta varios procesos fisiológicos que en el caso del aguacate algunos han sido estudiados por Ramadasan (1980) y Nevin y Lovatt (1987), encontrando reducciones en fotosíntesis, transpiración y conductancia estomatal.

Para entender más acerca de los efectos fisiológicos, en las relaciones hídricas y aspectos bioquímicos es importante evaluarlos con el fin de poder conocer los mecanismos por los cuales las plantas resisten la falta de agua.

OBJETIVO

Evaluar algunos parámetros fisiológicos, hídricos y bioquímicos de plantas de aguacate en respuesta a la sequía y riego normal.

MATERIALES Y METODOS

La evaluación del estudio fue bajo condiciones de invernadero en Montecillo, Méx.

Material Vegetal:

Se utilizaron plantas de aguacate de vivero, de un año de edad, injertadas con el cv Hass sobre portainjertos de la raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), las cuales se encontraban en bolsas de polietileno negro de 15 x 25 cm. El tipo de suelo de los recipientes fue franco-arcilloso. Se utilizaron ocho plantas de aguacate de las cuales la mitad se sometieron a sequía y la otra parte se mantuvo bajo riego.

¹Profesor-Investigador del Depto. de Fitotecnia Universidad Autónoma Chapingo, Más. C. P. 56230

²Profesor-Investigador Titular del Centro de Genética, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx. C. P. 56230. Responsable de la publicación y a quien dirigirse.

Procedimiento

El tratamiento de sequía se comenzó el 1 de noviembre de 1993. El 12 de noviembre se consideraron a las plantas en marchitez temporal y el día 16 de noviembre se alcanzó el punto de marchitez permanente, en esta fecha se aplicó el riego de recuperación. En condiciones de riego se mantuvo la humedad del suelo por arriba del 50%.

Se realizó un muestreo de suelo en la parte media de la bolsa en cada una de estas fechas para conocer la condición de humedad del suelo.

Variables y toma de datos:

Las siguientes variables se midieron y calcularon durante la marchitez temporal, alrededor de las 8:40 am, 11:10 am y 14:00 pm, en hojas completamente expuestas a la luz. Este procedimiento se efectuó un día después del riego de recuperación a las 9:00 am, 11:40 am y 14:40 pm.

1. El déficit de presión de vapor; se calculó utilizando la humedad relativa de la cámara del analizador de CO₂ IRGA (LICOR Modelo LI- 6000) y con la temperatura de la cámara, de acuerdo a tablas del manual del aparato (milibares).
2. Humedad relativa de la cámara del IRGA (%).
3. Flujo cuántico de acuerdo a la posición de la hoja, expresada en $\mu\text{E}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (IRGA).
4. Conductancia estomatal (IRGA) expresada en $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$.
5. Fotosíntesis (IRGA) expresada en $\text{mg}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.
6. Transpiración (IRGA) expresada en $\text{mg}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.
7. Temperatura de la hoja (IRGA) en °C.
8. Eficiencia del uso de agua calculada mediante la expresión $\text{EUA} = \text{Fotosíntesis}/\text{Transpiración}$.
9. Contenido relativo de agua; para esto se cortaron 20 discos de la hoja, se pesaron y se colocaron a saturación con agua por 2 horas, posteriormente se pesaron, se secaron 24 horas a 6000 calculándose mediante la siguiente forma:

$$\text{CRA} = ((\text{Peso fresco}-\text{Peso seco})/(\text{Peso a saturación}-\text{Peso seco}))\times 100.$$
10. Potencial hídrico, osmótico y de turgencia.

El potencial hídrico (ψ) se determinó en discos de hoja utilizando psicrómetros de termopar, los cuales se colocaron en "baño maría" por dos horas a 25 °C y poste-

riormente se midió en μvolts con un microvoltímetro de punto de rocío para obtener con una gráfica estándar su equivalencia en bares. Potencial osmótico ($\psi\pi$); se utilizó el mismo disco después de usarlo en la determinación de ψ , se sumergió en nitrógeno líquido para matar la muestra, almacenándolo posteriormente en refrigeración. Después se siguió la misma metodología utilizada en potencial hídrico. El potencial de turgencia ($\psi\rho$) se calculó de la diferencia entre el $\psi\pi-\psi$.

Determinaciones bioquímicas:

Prolina: ésta se realizó con muestras tomadas entre 2-2:40 pm durante marchitez, punto de marchitez permanente y recuperación. La metodología utilizada es una adaptación del método reportado por Bates (1973). Laboratorio de Resistencia a Sequía, del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados.

Acido abscísico: Esta se realizó con muestras tomadas en PMP únicamente. La metodología usada es una adaptación del Laboratorio de Resistencia de Sequía dentro del Centro de Genética al método de Quarrie (1978).

RESULTADOS Y DISCUSION

Comportamiento durante marchitez temporal

Cuando las plantas mostraban cierto grado de marchitez en las hojas pero con capacidad de recuperación durante la noche, se consideró como marchitez temporal, esta condición se alcanzó a los 12 días después de suspender el riego, lo cual se confirma con la humedad encontrada en el suelo (Figura 1). El tiempo para alcanzar la marchitez temporal fue largo, ya que las condiciones climáticas durante este lapso fueron de días nublados, sin embargo, cuando se realizaron las determinaciones, las condiciones eran favorables.

Las condiciones del ambiente rodeando la hoja a las 8:40 am. (Figura 2) fueron muy similares a las condiciones fisiológicas evaluadas, esto nos da idea de que efectivamente la planta durante la noche se recupera de la marchitez temporal.

A las 11:10 am se detectaron diferencias entre sequía y riego en cuanto a flujo cuántico, déficit de presión de vapor y humedad relativa, siendo más marcada en esta última (Figura 2), los valores tendieron a incrementarse a esta hora en todos los casos con excepción de la humedad relativa en sequía que tendió a disminuir. A las 2:00 pm estas variables bajaron a un nivel similar, con excepción de la humedad relativa que mostró una diferencia de 17% entre sequía y riego, manteniéndose alta en riego (Figura 2).

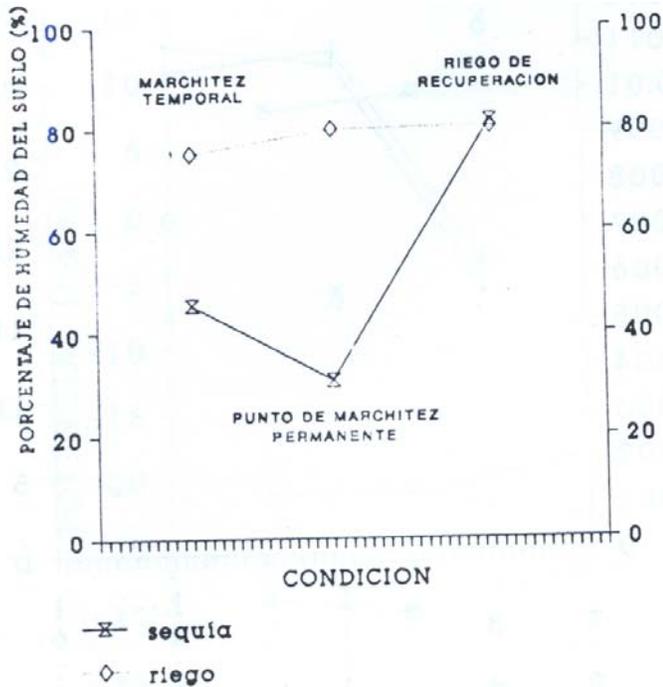


FIGURA 1. Porcentaje de humedad del suelo de plantas de aguacate en respuesta a sequía y riego.

En lo que respecta a conductancia estomatal, se observó una tendencia a incrementar a las 11:10 am y posteriormente a disminuir en el caso de riego (Figura 3), esta reducción o cierre estomatal probablemente se debió a un déficit hídrico de medio día, donde la planta transpira más rápido que la tasa de absorción de agua por las raíces, lo cual se puede confirmar con el contenido relativo de agua (Figura 5) que tiende a disminuir (aproximadamente de 95 a 80%) al igual que el ψ en el caso de riego (Figura 6) pero en una menor intensidad (de -22 a -27 bares). En el caso de sequía la conductancia estomatal fue disminuyendo en lugar de aumentar, con el fin de ahorrar agua, Nevin y Lovatt (1987) reportan una conductancia estomatal en aguacate cv. Hass de 0.025 cm.s^{-1} en los testigos y 0.007 cm.s^{-1} , lo cual es sumamente bajo en comparación de lo que obtuvimos bajo sequía 0.091 cm.s^{-1} (13:57 pm)- 0.169 cm.s^{-1} (8:41 am) y bajo riego 0.139 cm.s^{-1} (8:41 am)- 0.294 cm.s^{-1} (11:11 am) y a lo reportado por Ramadasan (1980) para el cv. Fuerte que bajo marchitez encontró $0.0209\text{-}0.0355 \text{ cm.s}^{-1}$ y en riego $0.204\text{-}0.500 \text{ cm.s}^{-1}$. Indudablemente la transpiración se comportó a la par de la conductancia estomatal en riego, aumentando fuertemente a las 11:10 ($41.61 \text{ mg.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) para después disminuir a las 14:00, en cambio en sequía a pesar del cierre estomatal o disminución de conductancia se dio un incremento en transpiración, aunque no tan intenso como el de riego, para posteriormente disminuir.

En cuanto a la fotosíntesis se confirma que este proceso es más afectado que la transpiración por un déficit

hídrico en la planta, ya que prácticamente se mantuvo de 8:40 a 11:00 am para posteriormente disminuir a las 14:00 pm a la par de la conductancia estomatal (Figura 3). En contraste, bajo riego la fotosíntesis tendió a aumentar, inclusive, a las 14:00 pm. Nevin y Lovatt (1987) encontraron en el cv Hass bajo sequía $0.55 \text{ mg.dm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ($0.015 \text{ mg.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) y en riego $0.07 \text{ mg.dm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ($0.0019 \text{ mg.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) lo cual es sumamente bajo silo que comparamos con nuestros resultados bajo sequía de $0.117 \text{ mg.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (1:57 pm)- $0.160 \text{ mg.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (11:11 am) y con riego 0.133 pm , así como en comparación con lo reportado por Ramadasan (1980) para el cv. Fuerte bajo marchitez que fue de $0.059\text{-}0.077 \text{ mg.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ y en riego de $0.167\text{-}0.197 \text{ mg.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

En cuanto a temperatura de la hoja no se observaron diferencias durante el día, tanto en sequía, como en riego (Figura 4). La tendencia en el día fue un incremento significativo de 17°C a 31°C a las 11:10 am y se mantuvo hasta las 14:00 pm y en riego aumentó debido principalmente a que la fotosíntesis se mantuvo.

Como se mencionó con anterioridad, en el contenido relativo de agua, se observó una tendencia a dis

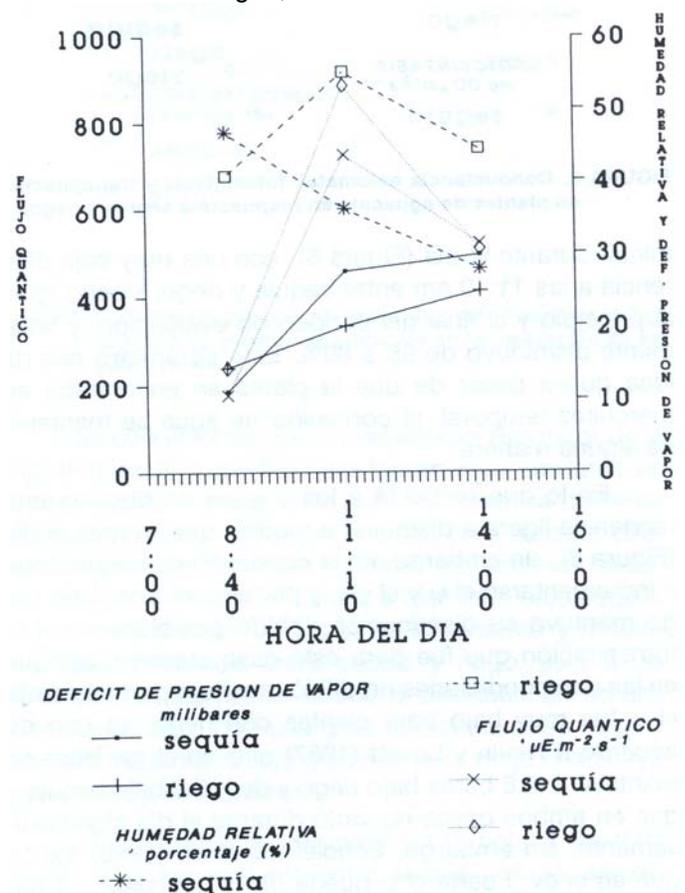


FIGURA 2. Déficit de presión de vapor, humedad relativa, flujo cuantico en respuesta a plantas de aguacate sometidas a sequía y riego.

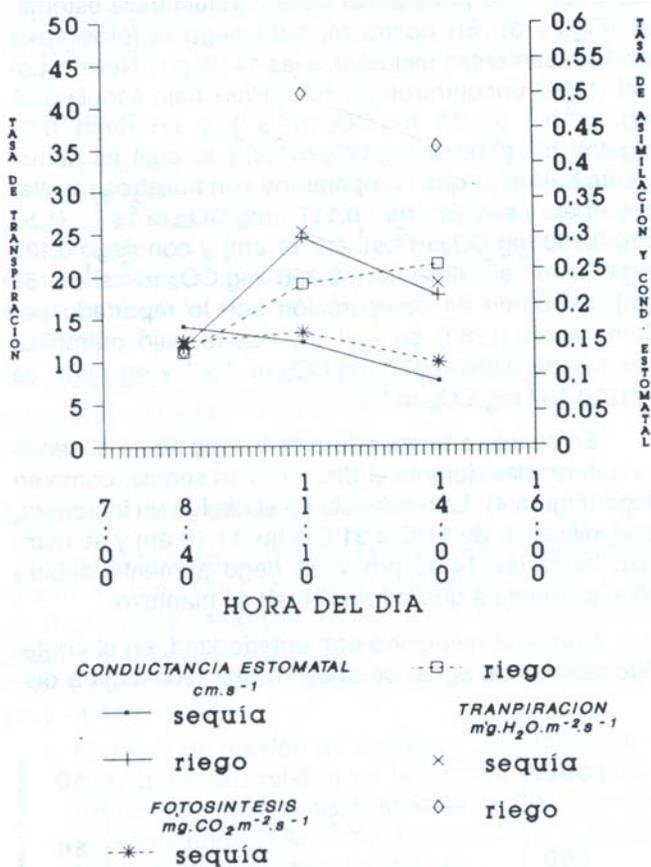


FIGURA 3. Conductancia estomatal, fotosíntesis y transpiración en plantas de aguacate en respuesta a sequía y riego.

minuir durante el día (Figura 5), con una muy baja diferencia a las 11:40 am entre sequía y riego, siendo igual al principio y al final del período de evaluación, y solamente disminuyó de 95 a 80%. Este parámetro nos da idea que a pesar de que la planta se encontraba en marchitez temporal, el contenido de agua se mantenía de alguna manera.

En lo que respecta a los ψ y $\psi\pi$ se observa una tendencia ligera a disminuir a medida que avanza el día (Figura 6), sin embargo, en la condición de sequía llega a incrementarse el ψ y el $\psi\pi$ y por el contrario, bajo riego mantuvo su disminución debido posiblemente a la transpiración que fue para este caso superior, aunque en las dos condiciones no difirió mucho, aparentemente el ψ fue muy bajo para plantas con riego, ya que de acuerdo a Nevin y Lovatt (1987) el ψ en el cv. Hass se mantuvo a -0.6 bares bajo riego y de -19.3 bajo sequía y que en ambos casos no varió durante el día significativamente, sin embargo, Scholefield *et al.* (1980) indica que en el cv. Fuerte el $\psi\pi$ puede disminuir hasta -13 bares durante el día bajo condiciones de buen suministro de agua, en nuestro caso, bajo riego se alcanzó un mínimo de -23.0 bares, por otra parte, Ramadasan (1980) estimó un mínimo de potencial hídrico bajo riego de -9

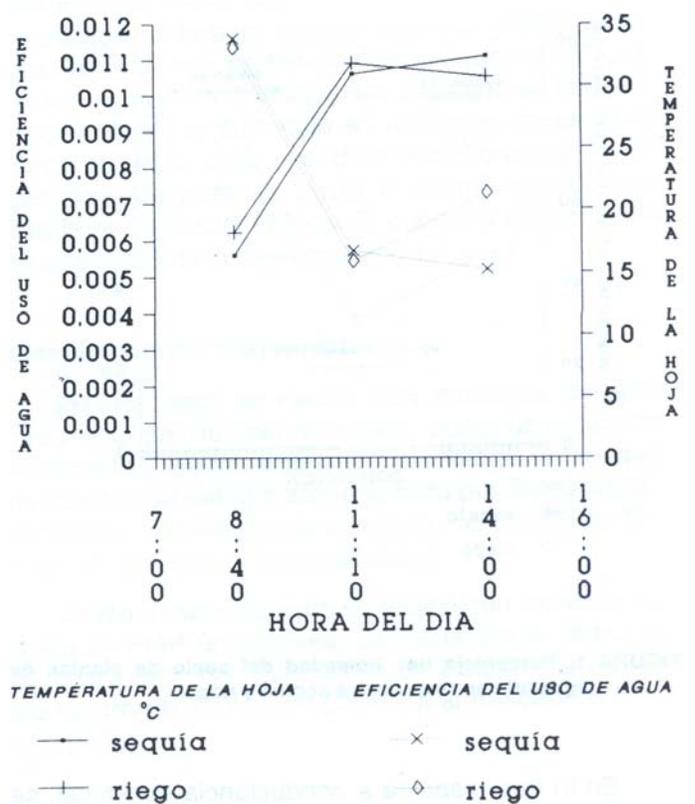


FIGURA 4. Temperatura de la hoja y eficiencia del uso de agua en plantas de aguacate en respuesta a sequía y riego.

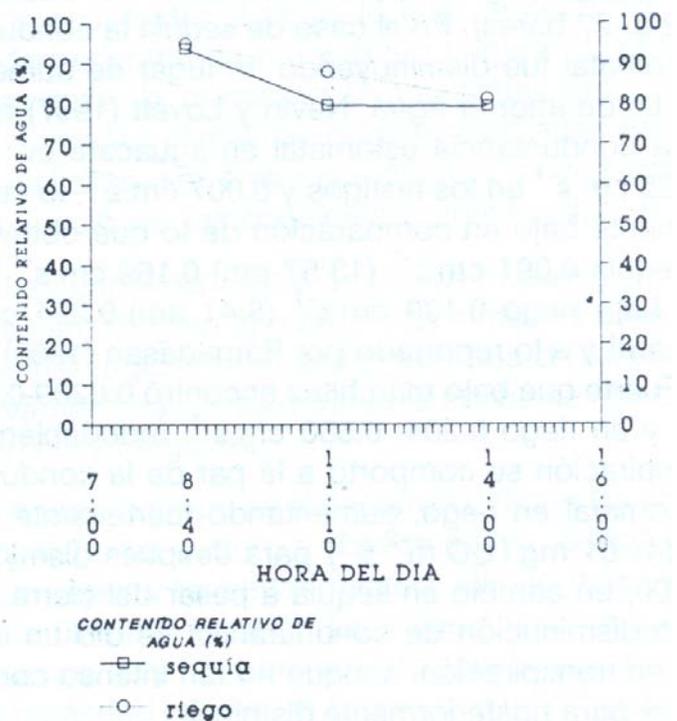


FIGURA 5. Contenido relativo de agua de plantas de aguacate en marchitez temporal en respuesta a sequía y riego.

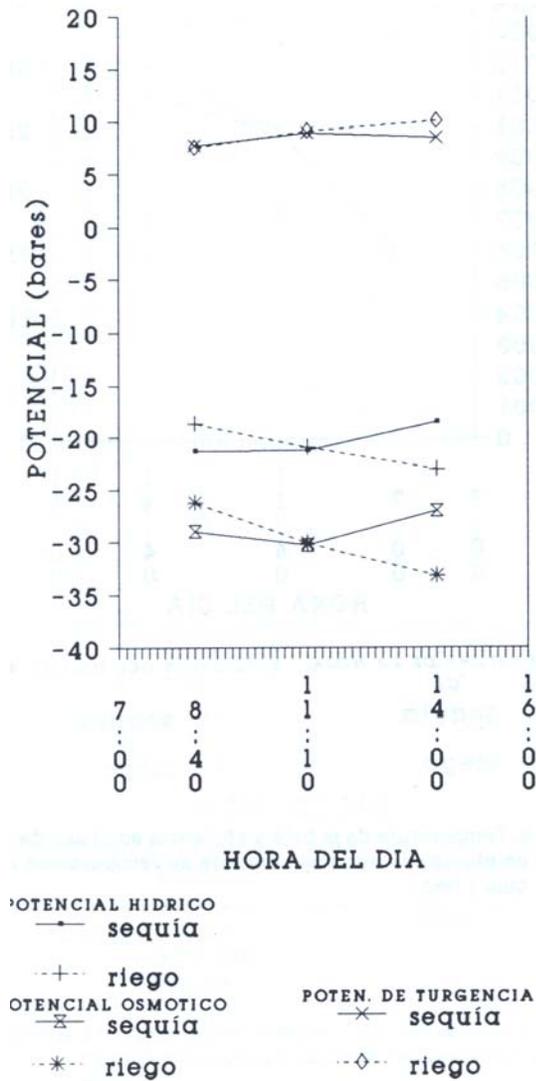


FIGURA 6. Potenciales hídricos, osmóticos y de turgencia en marchitez temporal de plantas de aguacate en respuesta a sequía y riego.

bares. Respecto al ψ_p se observó una tendencia a tener un ligero incremento (Figura 6), esto también se confirma en el contenido relativo de agua donde se observa (Figura 5) que no existió diferencia entre la condición de sequía y riego, esto significa que a pesar de presentarse la condición de marchitez temporal, la turgencia se mantuvo, o sea, que de alguna forma se mantuvo el agua en la planta, el mecanismo que probablemente fue el responsable de esto es el ajuste osmótico, ya que el ψ_π de sequía se mantuvo a nivel del de riego, inclusive, un incremento conservó el ψ_p lo cual permitió que la planta mantuviera cierta tasa de transpiración, aunque en el caso de fotosíntesis no fue así.

Comportamiento durante recuperación.

En la Figura 1 se puede observar que después del riego de recuperación, o sea al día siguiente, el porcentaje de humedad del suelo se restableció.

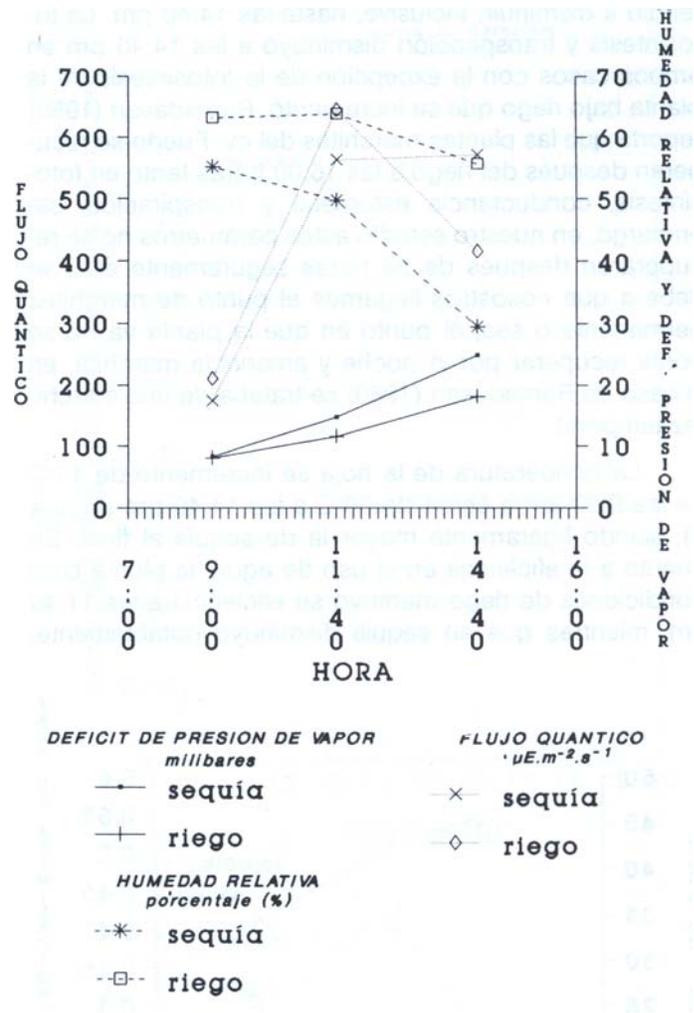


FIGURA 7. Déficit de presión de vapor, humedad relativa y flujo cuántico en plantas de aguacate en recuperación de sequía y riego.

Las condiciones que prevalecieron alrededor de la hoja (Figura 7) a las 9:00 am fueron muy similares en riego y sequía, aunque en la humedad relativa difirieron un poco. A las 11:40 am se empezaron a mostrar diferencias entre las variables y fueron mayores en humedad relativa, con una tendencia a disminuir bajo sequía. El déficit de presión de vapor se incrementó y mostró una ligera diferencia entre sequía y riego, esto a las 14:40 pm. La humedad tendió a disminuir en ambas condiciones pero con una gran diferencia entre riego y sequía. En cuanto al flujo cuántico para riego disminuyó y para sequía se mantuvo.

La conductancia estomatal en la hoja a las 9:00 pm fue muy contrastante entre sequía y riego, siendo mayor para este último (Figura 8). A esta misma hora la fotosíntesis y transpiración se mostraron ligeramente mayores en riego en comparación con sequía. La tendencia de fotosíntesis y transpiración a las 11:40 am se incrementó

en ambas condiciones pero en menor grado bajo sequía la conductancia estomatal tendió a disminuir, inclusive, hasta las 14:40 pm. La fotosíntesis y transpiración disminuyeron a las 14:40 pm en ambos casos con la excepción de la fotosíntesis de la planta bajo riego que se incrementó. Ramadasan (1980) reporta que las plantas marchitas del cv. Fuerte se recuperan después del riego a las 16:00 horas tanto en fotosíntesis, conductancia estomatal y transpiración, sin embargo, en nuestro estudio estos parámetros no se recuperaron después de 24 horas seguramente esto se debe a que nosotros llegamos al punto de marchitez permanente o sea, al punto en que la planta ya no se podía recuperar por la noche y amanecía marchita, en el caso de Ramadasan (1980) se trataba de una marchitez temporal.

La temperatura de la hoja se incrementó de 15 °C de las 9:00 am a cerca de 3000 a las 14:40 pm (Figura 9), siendo ligeramente mayor la de sequía al final. En cuanto a la eficiencia en el uso de agua, la planta bajo condiciones de riego mantuvo su eficiencia a las 11:40 am, mientras que en sequía disminuyó notablemente,

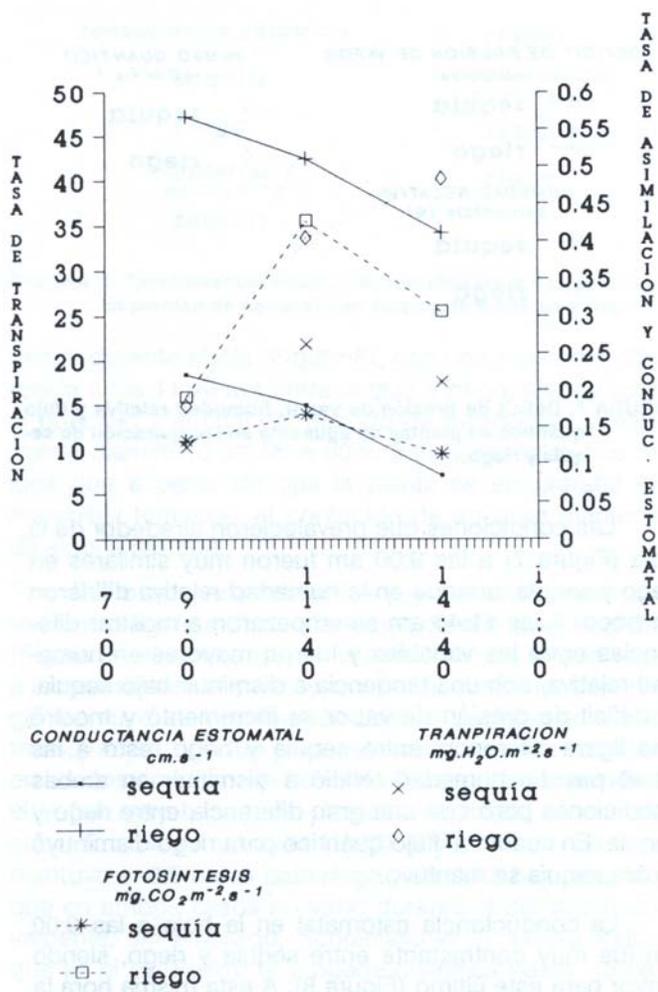


FIGURA 8. Conductancia estomatal, fotosíntesis y transpiración durante la recuperación en plantas de aguacate sometidas a sequía y riego.

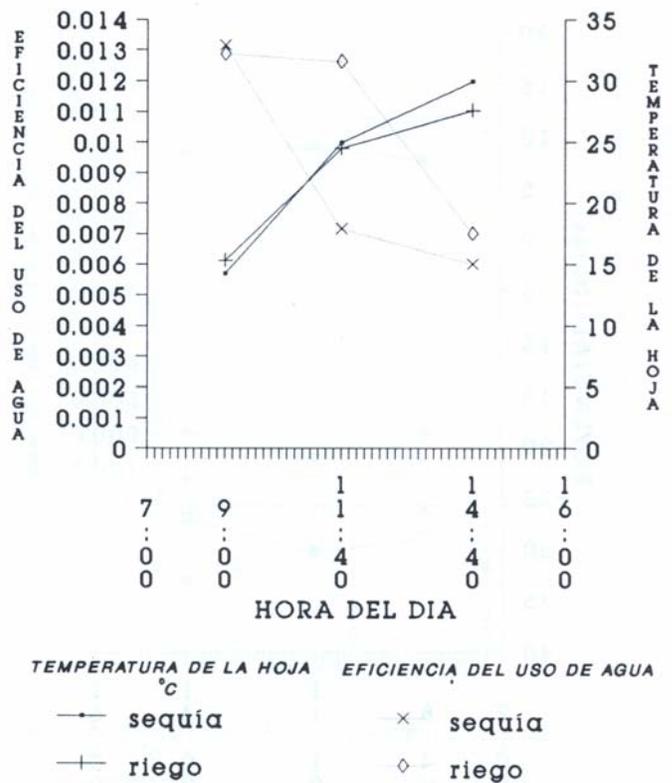


FIGURA 9. Temperatura de la hoja y eficiencia en el uso de agua de plantas de aguacate durante su recuperación de sequía y riego.

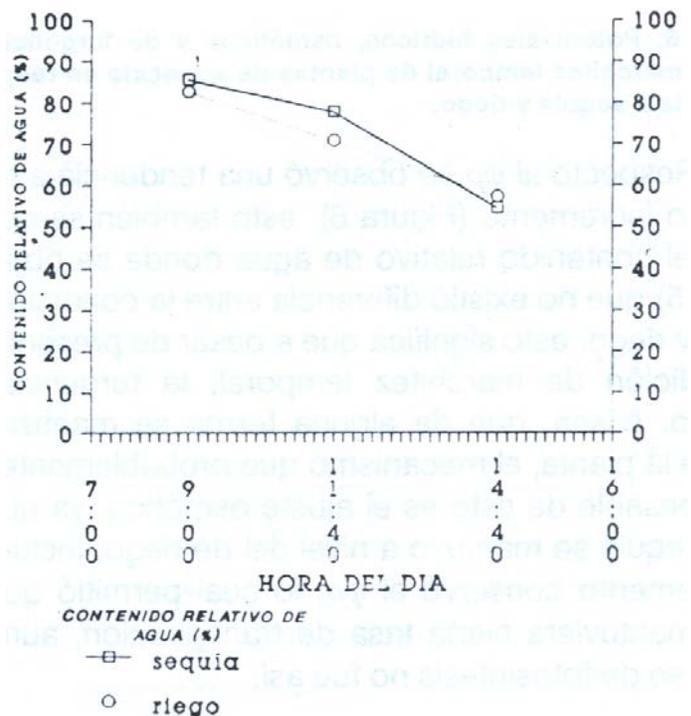


FIGURA 10. Contenido relativo de agua durante recuperación de plantas de aguacate en respuesta a sequía y riego.

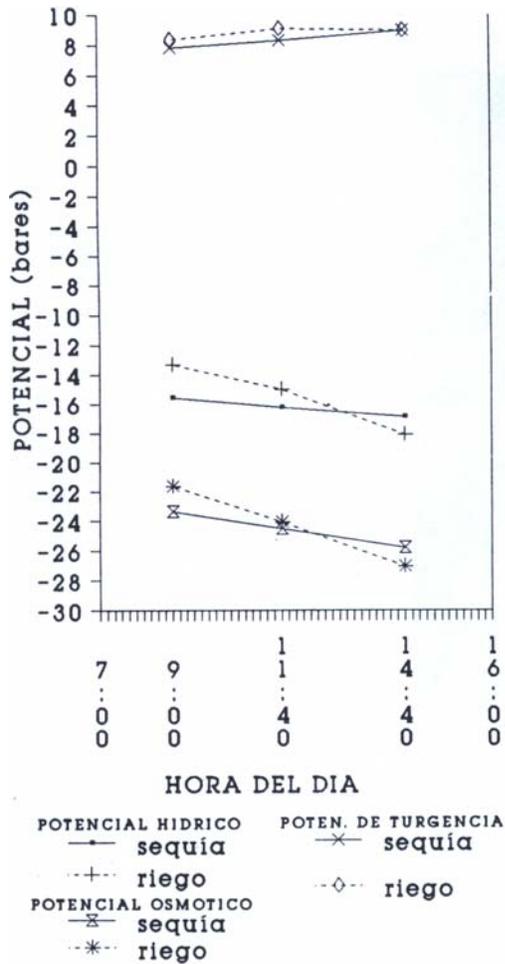


FIGURA 11. Potenciales hídricos, osmóticos y de turgencia en plantas de aguacate durante recuperación de sequía y riego.

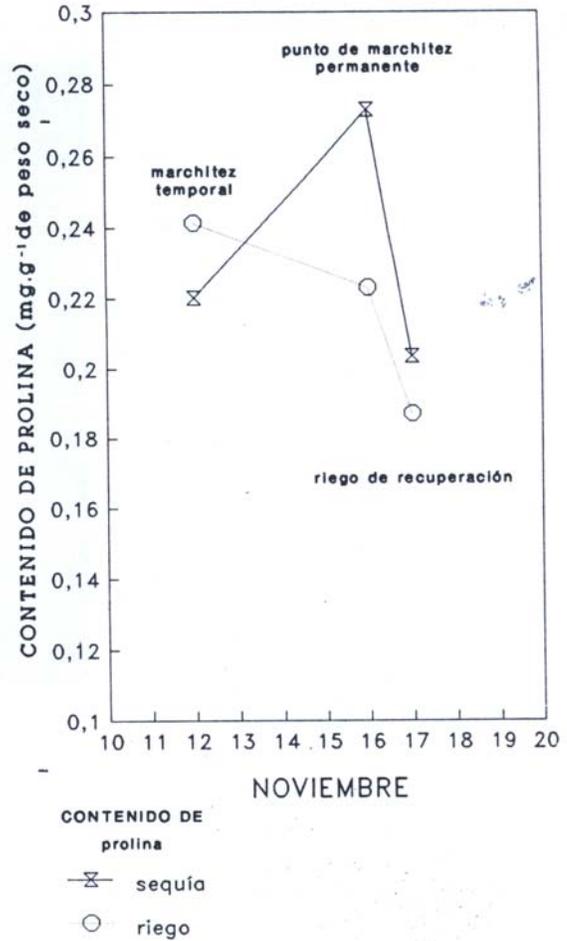


FIGURA 12. Contenido de prolina de plantas de aguacate sometidas a sequía y riego.

posteriormente ambas disminuyen casi al mismo nivel a las 14:00 pm (Figura 9).

El contenido relativo de agua se mantuvo de igual forma para sequía y riego, aunque tendió a disminuir al pasar el tiempo durante el día de 85% (8:40 am) a 55% (14:00 pm) (Figura 10). Esta caída fuerte del contenido relativo de agua probablemente se debió a la alta transpiración.

Los ψ y de $\psi\pi$ a las 9:00 am fueron ligeramente superiores en riego, muy parecidos a las 11:40 am y ligeramente inferiores a las 14:40 pm en comparación con la condición de sequía (Figura 11). Los $\psi\pi$ fueron muy semejantes durante el día y, entre sequía y riego. Ramadasan (1980) menciona que el potencial hídrico se restableció a las 16:00 horas de un riego de recuperación de marchitez temporal.

Comportamiento bioquímico.

Prolina: El contenido de prolina en las plantas durante marchitez temporal fue muy parecida tanto en se-

quía y riego (Figura 12), en cambio, cuando las plantas alcanzaron el punto de marchitez permanente, el contenido de prolina se incrementó y en riego disminuyó. En recuperación las plantas de riego y bajo sequía aún continuaron con una disminución del contenido de prolina.

Se ha reportado que la prolina se acumula en condiciones de sequía (Bogges *et al.*, 1976) y se especula que puede contribuir con la acumulación de solutos en el ajuste osmótico (Hanson *et al.*, 1977), sin embargo en nuestro caso la concentración de prolina no es muy alta.

Acido Abscísico (ABA): la concentración de ácido abscísico en las hojas de aguacate bajo sequía se incrementó claramente más del doble (102 ng en 20 μ g de p.s.) (Figura 13). El ácido abscísico se ha asociado con el déficit hídrico en varias especies y como uno de los causantes del cierre estomatal (Hsiao, 1973). En el caso de aguacate se ha encontrado incremento significativo de ABA en raíces de plantas marchitas de hasta 85

$\mu\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de peso fresco comparado con $27 \mu\text{g}$ de los testigos (Wright, 1978).

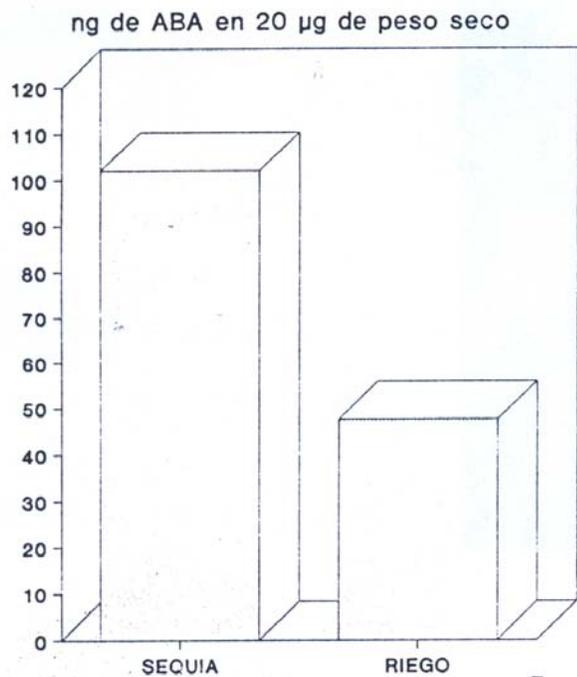


FIGURA 13. Contenido de ácido abscísico en plantas de aguacate durante punto de marchitez permanente sometidas sequía y riego.

LITERATURA CITADA

- BOGGESS, S.F.; C.R. STEWART; D. ASPINALL; L.G. PALEG. .1976. Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. *Plant. Physiol.* 58: 398-401.
- HANSON, A.D.; C.E. NELSON; E.H. EVERSON. 1977. Evaluation of free proline accumulation as and index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Crop. Science* 17: 720-726.
- HSIAO, I.O. 1973. Plant responses to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24: 519-570.
- NEVIN, J.M.; C.J. LOVATT. 1987. Demonstration of ammonia accumulation and toxicity in avocado leaves during water-deficit stress. *South African Avocado Grower's Association Yearbook* 10: 51-54.
- RAMADASAN, A. 1980. Gas exchange in the avocado leaves under water stress and recovery. *California Avocado Society Yearbook* 64: 147- 151.
- SCHOLEFIELD, P.B.; J.J. WALCOIT; P.E. KRIEDEMANN; A. RAMADASAN. 1980. Some environmental effects on photosynthesis and water relations of avocado leaves. *California Avocado Society Yearbook* 64: 93-105.
- WRIGHT, S.T.C. 1978. Phytormones and stress phenomena. *In: Phytormones and Related Compounds- A. Comprehensive Treatise*, D.S. Letham; D.B. Goodwing and T.J.V. Higgins (Eds.). Elsevier Science Publishers, B.V. Amsterdam, Netherlands.