

VARIACIÓN DE LA TRANSPIRACIÓN DEL AGUACATE ‘COLINMEX’ USANDO INTERINJERTOS BAJO DOS REGÍMENES DE HUMEDAD EDÁFICA

Raúl Medina-Torres^{1*}; Samuel Salazar-García²;
Brenda Edén Castillo-Serrano¹; Alejandro Barrientos-Priego³

¹Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura. km 9 carretera Tepic-Compostela. Apartado Postal 49. Xalisco, Nayarit. MÉXICO. C. P. 63780. Fax: (311) 211-01-63. Correo-e: raulmetorr@yahoo.com.mx. (*Autor para correspondencia)

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. km 6 carretera internacional México-Nogales, Apartado Postal 100. Santiago Ixcuintla, Nayarit. MÉXICO. C. P. 63600. Correo-e: samuelsalazar@prodigy.net.mx

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnía. km 38.5 carretera México-Texcoco Chapingo, Estado de México. MÉXICO. C. P. 56230. Correo-e: abarrien@correo.chapingo.mx

RESUMEN

Durante un año se evaluó la tasa de transpiración (E) en aguacate ‘Colinmex’ con el objetivo de determinar la variación estacional de la E bajo dos regímenes de humedad y relacionarla con sus etapas fenológicas. Se utilizaron las siguientes combinaciones cultivar/injerto intermedio/portainjerto (criollo regional originado de semilla) y régimen de humedad del suelo: T1 ‘Colinmex’/Colín-V101/portainjerto, con riego; T2 ‘Colinmex’/Colín-V101/portainjerto, sin riego; T3 ‘Colinmex’/Colín-V33/portainjerto, con riego; T4 ‘Colinmex’/Colín-V33/portainjerto, sin riego. La E varió de 1.38 a 4.55 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O durante el año, donde la humedad aprovechable del suelo (HA) y la humedad relativa ambiental (HR) se asociaron fuertemente con E, con correlaciones de 0.70 y 0.93, respectivamente. En invierno T1 y T2 mostraron las mayores tasas de E con 3.32 y 3.18 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O, respectivamente. En primavera la E fue similar entre tratamientos, con valores entre 1.22 y 1.72 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O. En esta época se presentó el más severo déficit de HA del suelo, las más altas temperaturas y la HR más baja. Los valores máximos de la E se presentaron en verano con promedios de 4.45 a 4.65 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O. En otoño, la E fue similar para T1, T2 y T4 con valores de 4.10 a 4.90 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O. Los mayores promedios en peso, número y rendimiento de fruto por árbol fueron encontrados en T3. Los tratamientos que recibieron riego obtuvieron la mayor producción de fruto por árbol.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Persea americana* Mill., porometría, agobio hídrico.

VARIATION IN THE TRANSPIRATION RATE OF ‘COLINMEX’ AVOCADO USING INTERSTOCKS UNDER TWO SOIL MOISTURE REGIMES

ABSTRACT

The transpiration rate (E) of ‘Colinmex’ avocado was evaluated over a year to determine its seasonal variation under two soil moisture (SM) regimes and its relationship to phenological phases. The following cultivar/interstock/rootstock (regional criollo originated from seed) and soil moisture regime combinations were evaluated: T1 ‘Colinmex’/Colín-V101/rootstock, irrigated; T2 ‘Colinmex’/Colín-V101/rootstock, rainfed; T3 ‘Colinmex’/Colín-V33/rootstock, irrigated; T4 ‘Colinmex’/Colín-V33/rootstock, rainfed. The transpiration rate varied from 1.38 to 4.55 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ over the year; and during this time, available SM and ambient relative humidity (RH) were strongly correlated to E (r² = 0.70 and 0.93, respectively). In the winter, T1 and T2 showed the highest E values, 3.32 and 3.18 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹, respectively. In the spring, E was similar from treatment to treatment with values ranging between 1.22 to 1.72 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹; this season also had the most severe SM deficit, the highest temperatures and the lowest RH. The highest E values occurred in the summer with averages from 4.45 to 4.65 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹. Similar E values were recorded during the fall for T1, T2 and T4 (4.10 to 4.90 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹). The highest averages of fruit weight, fruit number and fruit yield per tree corresponded to T3. Treatments with irrigation had the highest fruit production per tree.

ADDITIONAL KEYWORDS: *Persea americana* Mill., porometry, water stress.

INTRODUCCIÓN

Nayarit es el quinto estado productor de aguacate en México con 2,707.5 ha (Anónimo, 2011) y el cultivar 'Hass' es el de mayor importancia económica. Los principales municipios productores son Tepic y Xalisco, donde más del 90 % de los huertos son cultivados sin riego, con lluvia promedio anual de 1,220 mm distribuida de junio a octubre (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 2003).

Varios cultivares de aguacate están adaptados a las áreas de clima tropical y subtropical, por lo que podría esperarse que presente sensibilidad a extremos de calor y estrés hídrico. La elasticidad de la membrana celular del aguacate parece ser el mecanismo fisiológico predominante de adaptación a la sequía (Chartzoulakis *et al.*, 2002).

Se ha atribuido al ácido abscísico (ABA), presumiblemente proveniente de la raíz (Zhang *et al.*, 1987), una reducción de la conductancia estomática. Cuando existe sequía, se transporta por el xilema y llega a la hoja para promover el cierre de estomas. En el caso del aguacate se ha encontrado que el ABA se incrementa cuando se alcanza el punto de marchitez permanente (Barrientos-Priego y Rodríguez-Ontiveros, 1994).

Gurovich *et al.* (2006) mencionaron que un sistema de seguimiento del agua en el suelo resultaría una herramienta valiosa para la detección oportuna de las respuestas de las plantas a la disponibilidad actual de la misma, para definir en tiempo real las estrategias de riego para maximizar el crecimiento de la planta. Por su parte, Germaná y Continella (2004) sostienen que los cultivares de aguacate pueden mostrar diferentes valores de intercambio de gases, según sea el clima tropical o subtropical donde se cultiven, juzgados por las características anatómicas de sus hojas, la demanda de fotoasimilados por los frutos, tamaño de la copa del árbol y la intensidad de la floración. Además, como consecuencia de sequía prolongada varios procesos como la división y expansión celular, la síntesis de ácido abscísico y la acumulación de azúcares se ven afectados, y se reduce consecuentemente el rendimiento de la cosecha (Arquero *et al.*, 2006; Lombardini *et al.*, 2004).

Debido a que el déficit de humedad del suelo puede resultar crítico sobre la fisiología del aguacate, este estudio se desarrolló con el objetivo de determinar la variación estacional de la tasa de transpiración del aguacate bajo dos regímenes de humedad y relacionarla con las etapas fenológicas del aguacate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló durante el periodo del 02 de febrero de 2007 al 19 de enero de 2008, en el huerto expe-

INTRODUCTION

Nayarit is the fifth biggest avocado-producing state in Mexico with 2,707.5 ha (Anónimo, 2011) and the Hass cultivar is the most economically important. The main producing municipalities are Tepic and Xalisco, where over 90 % of the orchards are grown without irrigation, but with average annual rainfall of 1,220 mm distributed from June to October (Salazar-García and Lazcano-Ferrat, 2003).

Several avocado cultivars are adapted to tropical and subtropical climate areas, so it might be expected that they are sensitive to extreme heat and water stress. The elasticity of the avocado cell membrane appears to be the predominant physiological mechanism of adaptation to drought (Chartzoulakis *et al.*, 2002).

Stomatal conductance reduction has been attributed to the presence of abscisic acid (ABA), which presumably comes from the root (Zhang *et al.*, 1987). When there is drought, ABA is transported through the xylem and reaches the leaf to promote stomatal closure. In the case of avocado, it was found that ABA increased when the permanent wilting point was reached (Barrientos-Priego and Rodríguez-Ontiveros, 1994).

Gurovich *et al.* (2006) reported that a soil water monitoring system would be a valuable tool for early detection of plant responses to current water availability, in order to define real-time strategies to maximize plant growth. For their part, Germaná and Continella (2004) argue that avocado cultivars may show different gas exchange values depending on the tropical or subtropical climate where they are grown, assessed by the anatomical characteristics of their leaves, photoassimilate demand by the fruit, size of the tree canopy and flowering intensity. Furthermore, as a consequence of prolonged drought periods, various processes such as cell division and expansion, abscisic acid synthesis and sugar accumulation are affected, and consequently crop yield is reduced (Arquero *et al.*, 2006; Lombardini *et al.*, 2004).

Because soil moisture deficit may have a critical impact on avocado physiology, this study was conducted to determine the seasonal variation in the avocado transpiration rate under two moisture regimes and relate it to the avocado's phenological phases.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted from 2 February 2007 to 19 January 2008, in the experimental avocado orchard of the Universidad Autónoma de Nayarit (UAAUAN) Agriculture Academic Unit, which is located in the municipality of Xalisco, Nayarit, Mexico, at 21° 25' 28" N and 104° 53' 53" W, at an altitude of 960 m.

rimental de aguacate de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAAUAN), la cual se localiza en el municipio de Xalisco, Nayarit, México, a los 21° 25' 28" LN y 104° 53' 53" LO, con altitud de 960 m.

El clima en la UAAUAN, según la clasificación de Köppen modificada por García (1983), corresponde a un (A) e(W₂)a(i), es decir un clima semicálido (subtropical subhúmedo), el más cálido de los templados. El régimen pluviométrico es mayor a 1,300 mm anuales. El mes de máxima precipitación es julio con 370 a 380 mm y el mes de menor incidencia es mayo con menos de 30 mm. El régimen térmico medio anual varía de 20 a 29 °C. Los meses más cálidos son junio, julio, agosto y septiembre con una temperatura media de 23 a 24 °C. Los meses más fríos son diciembre y enero con un valor promedio de 16 a 17 °C. La radiación global promedio anual es de 510.9 Lg. El fotoperiodo promedio de un año típico fluctúa entre 11 y 12 horas luz (Medina-Torres *et al.*, 2011).

Los árboles usados en este experimento tenían entre 4 y 5 años de injertados y estaban en el primer año de producción comercial, plantados a 5 x 3 m. Se empleó como portainjerto al aguacate criollo regional de la raza guatemalteca. Los interinjertos correspondieron a 'Colín-V101' y 'Colín-V33', y como copa al aguacate 'Colinmex'. Los tratamientos consistieron en las siguientes combinaciones: T1) 'Colinmex'/'Colín-V101'/portainjerto, con riego; T2) 'Colinmex'/'Colín-V101'/portainjerto, sin riego; T3) 'Colinmex'/'Colín-V33'/portainjerto, con riego; T4) 'Colinmex'/'Colín-V33'/portainjerto, sin riego. La parcela experimental fue un árbol y se usaron cuatro árboles por tratamiento dispuestos en un diseño completamente al azar.

Se realizaron mediciones en cuatro hojas completamente expandidas y dispuestas en plano equidistante por árbol (16 hojas por tratamiento), en las que se realizaron 11 mediciones de transpiración (mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O), humedad relativa de la hoja (%), temperatura de la hoja (°C) y conductancia estomática (mmol·cm⁻²·s⁻¹) en el periodo del 02 de febrero del 2007 al 19 de enero del 2008, que correspondieron a tres mediciones en invierno, tres en primavera, tres en verano y dos en otoño. Los registros ocurrieron entre las 10:00 y 12:00 h, para lo cual se usó un porómetro de difusión LI-COR, Mod. LI-1600 (Lincoln NE, USA).

En cada fecha de medición, se realizaron cuatro determinaciones de humedad aprovechable del suelo (HS, %) por pie de árbol de 0 a 30 cm de profundidad con el medidor de humedad Aquater modelo 200 (Aquater, USA). De la estación meteorológica ubicada en Tepic, Nayarit (21° 31' LN y 104° 53' LO), cercana al sitio experimental, se obtuvieron los promedios de temperatura, humedad relativa, precipitación y evapotranspiración.

According to the Köppen classification, modified by García (1983), the study area's climate corresponds to (A) e(W₂)a(i), i.e., a semi-warm climate (subtropical subhumid), which is the warmest of the temperate climates. Average annual rainfall is above 1,300 mm. July is the month with the most precipitation (370-380 mm) and May has the least (less than 30 mm). Average annual temperature ranges from 20 to 29 °C. The warmest months are June, July, August and September with an average temperature of 23-24 °C. The coldest months are December and January with an average temperature of 16-17 °C. Average annual global radiation is 510.9 Lg. The average photoperiod of a typical year fluctuates between 11 and 12 hours light (Medina-Torres *et al.*, 2011).

The avocado trees used in this experiment were grafted between 4 and 5 years earlier, were in the first year of commercial production, and were spaced 5 x 3 m apart. Regional criollo avocado of the Guatemalan race was used as rootstock. 'Colin-V101' and 'Colin-V33' were the interstocks and 'Colinmex' avocado was used for as scion. Treatments consisted of the following combinations: T1) 'Colinmex'/'Colin-V101'/rootstock, irrigated; T2) 'Colinmex'/'Colin-V101'/rootstock, rainfed; T3) 'Colinmex'/'Colin-V33'/rootstock, irrigated; T4) 'Colinmex'/'Colin-V33'/rootstock, rainfed. The experimental plot was one tree and four trees per treatment were used arranged in a completely randomized design.

Measurements were made on four fully expanded leaves arranged in an equidistant plane per tree (16 leaves per treatment). Specifically, 11 transpiration (mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹), leaf relative humidity (%), leaf temperature (°C) and stomatal conductance (mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹) measurements were made for the period from 2 February 2007 to 19 January 2008, corresponding to three measurements in winter, three in spring, three in summer and two in the fall. The readings were taken between 10:00 and 12:00 a.m., for which a LI-COR, Model LI-1600 diffusion porometer (Lincoln NE, USA) was used.

On each measurement date, four determinations of available soil moisture (SM, %) at the base of each tree and 30 cm depth were made using an Aquater, 200 model moisture meter (Aquater, USA). From the weather station in Tepic, Nayarit (21° 31' N and 104° 53' W), located close to the experimental site, temperature, relative humidity, precipitation and evapotranspiration averages were obtained.

In order to analyze the seasonal variation in the transpiration rate among the treatments tested in this study, the following dates were considered representative of each season (dd/mm/year): end of winter (10/02/2007), spring (27/04/2007) summer (02/08/2007) and fall (27/10/2007). Additionally, the phenological phases of the 'Colinmex'

Para analizar la variación estacional de la tasa de transpiración entre los tratamientos probados en este trabajo, se consideraron como representativas de cada estación del año las siguientes fechas: fin de invierno (10/02/2007), primavera (27/04/2007), verano (02/08/2007) y otoño (27/10/2007). En las cuales se describen las etapas fenológicas de la copa del árbol del aguacate 'Colinmex', que ocurrieron el día de cada medición.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparaciones de medias de Tukey ($P = 0.05$) de las variables evaluadas en cada fecha de muestreo, con el paquete estadístico SAS versión 8 (Anónimo, 1999). Se realizó regresión polinomial y se graficaron los promedios de la E por fecha de muestreo con el programa Sigma Plot versión 10 (Anónimo, 2006).

En cada fecha de medición representativa por estación se obtuvieron las correlaciones lineales (Anónimo, 1999) entre promedios de E vs. humedad aprovechable del suelo (HA, %), humedad relativa del ambiente (HR, %), humedad relativa de la hoja (%), temperatura del ambiente ($^{\circ}\text{C}$) y temperatura de la hoja ($^{\circ}\text{C}$).

RESULTADOS

La tasa de transpiración (E), resultó significativa para tratamientos en seis fechas de medición (10/02/2007,

avocado tree canopy present on each measurement day were described.

Statistical analysis

Analysis of variance and Tukey's comparison of means test ($P = 0.05$) were performed on the variables evaluated on each sampling date with SAS version 8 software (Anónimo, 1999). Polynomial regression was performed and E averages by sampling date were plotted using Sigma Plot version 10 software (Anónimo, 2006).

On each representative measurement date by season, linear correlations were obtained (Anónimo, 1999) between E averages vs. available soil moisture (SM, %), relative humidity (RH, %), leaf relative humidity (%), ambient temperature ($^{\circ}\text{C}$) and leaf temperature ($^{\circ}\text{C}$).

RESULTS

There were significant differences in E for treatments on six measurement dates (10/02/2007, 24/02/2007, 3/07/2007, 20/09/2007, 27/10/2007 and 10/01/2008, Table 1). In addition, E showed the distribution of a cubic function in all treatments (Figure 1), with determination coefficients ranging from 0.81 to 0.88, where 'Colin-V33' irrigated stands out by having had the highest accuracy in the trend lines (Figure 1B). Transpiration rates ranged from 1.38 to 4.56 $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ with coefficients of variation from 68.62 to 2.30 %. SM and RH were correlated to E with $r^2 = 0.70$ and 0.93 ($P = 0.05$) respectively, which indicated

CUADRO 1. Tasa de transpiración (E) por fecha de muestreo de hojas de aguacate 'Colinmex' en dos regimenes de riego.

TABLE 1. Transpiration rate (E) by sampling date of 'Colinmex' avocado leaves in two irrigation regimes.

Trat. Treat.	Fecha de muestreo / Sampling date										
	Invierno/2007 Winter/2007		Primavera/2007 Spring/2007			Verano/2007 Summer/2007			Otoño/2007 Fall/2007		Invierno 2008 Winter/ 2008
	10/02 ^z	24/02	31/03	27/04	01/06	03/07	02cu08	20/09	27/10	06/12	10/01
T1	3.33 a ^y	2.28 ab	1.62 a	1.22 a	2.51 a	4.37 ab	4.67 a	5.51 ab	4.15 ab	3.84 a	1.50 b
T2	2.37 b	2.44 ab	1.75 a	1.72 a	2.32 a	3.80 b	4.45 a	4.48 b	4.08 b	3.63 a	2.21 ab
T3	3.19 a	2.81 a	2.03 a	1.29 a	2.31 a	4.33 ab	4.49 a	4.59 ab	4.90 a	4.09 a	2.55 a
T4	2.48 b	1.91 b	1.60 a	1.29 a	2.40 a	4.48 a	4.63 a	4.63 a	4.10 ab	3.85 a	2.51 ab
MG	2.85	2.85	1.75	1.38	2.39	4.21	4.56	4.54	4.17	3.84	2.21
DMS	0.4381	0.7162	0.5221	0.1805	0.2227	0.4935	0.3305	0.1433	0.3387	0.4292	0.6735

Trat.: Tratamiento. T1: 'Colinmex'/Colin-V101/portainjerto, con riego; T2: 'Colinmex'/Colin-V101/portainjerto, sin riego; T3: 'Colinmex'/Colin-V33/portainjerto, con riego; T4: 'Colinmex'/Colin-V33/portainjerto, sin riego. MG: Media general; DMS: Diferencia mínima significativa. ^zDía/mes. ^yValores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una $P = 0.05$.

T1= 'Colinmex'/Colin-V101/ rootstock, irrigated; T2= 'Colinmex'/Colin-V101/ rootstock, rainfed; T3= 'Colinmex'/Colin-V33/ rootstock, irrigated; T4= 'Colinmex'/Colin-V33/ rootstock, rainfed; GM: Overall mean; LSD: Least significant difference; ^zDay/month; ^yValues with the same letter within columns are equal according to the Tukey test at $P = 0.05$.

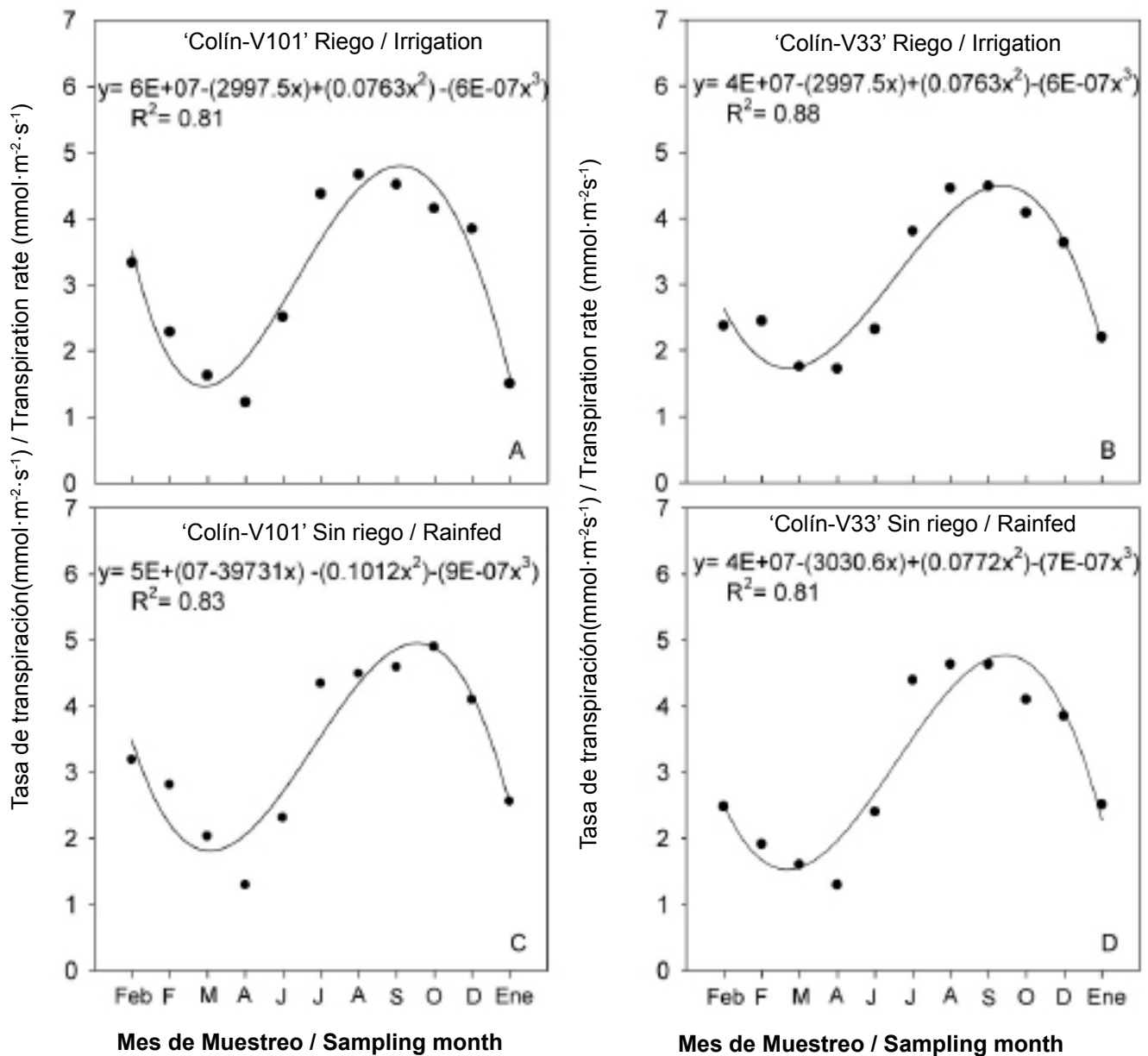


FIGURA 1. Distribución de la tasa de transpiración del aguacate 'Colinmex' con interinjerto de 'Colín-V33' y 'Colín-V101' en riego y sin riego.
 FIGURE 1. Transpiration rate distribution for 'Colinmex' avocado with 'Colin-V33' and 'Colin-V101' interstocks, with irrigation and rainfed.

24/02/2007, 3/07/2007, 20/09/2007, 27/10/2007 y 10/01/2008, Cuadro 1). Además, presentó la distribución de una función cúbica en todos los tratamientos (Figura 1), con coeficientes de determinación que variaron de 0.81 a 0.88, donde destaca 'Colín-V33' con riego que presenta la mayor precisión en las líneas de tendencia (Figura 1B). Las tasas de transpiración variaron de 1.38 a 4.56 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O, con coeficientes de variación entre 68.62 a 2.30 %. El porcentaje de humedad aprovechable del suelo (HA) y la humedad relativa del ambiente (HR) estuvieron correlacionados a la E con $r = 0.70$ y 0.93 ($P = 0.05$), respectivamente, lo que indicó que a un aumento de éstas existió aumento proporcional en la E. Sin embargo, la temperatura del ambiente no mostró asociación significativa con la E.

that an increase in these values resulted in a proportional increase in E. However, ambient temperature did not show significant association with E.

When measurements began (10/02/2007), E was 2.85 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ and it decreased to 1.38 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ in April (Figure 1). However, it increased in June (2.39 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹) even though it was the time of maximum soil moisture deficit (rainfed trees, Figure 2); ambient RH averages were the lowest (42.9 to 63.6 %, Table 2) and ambient temperature was warmer (32.7 to 32.8 °C, Table 2).

E increased until reaching its maximum in midsummer with 4.56 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹, when SM was increased

CUADRO 2. Variables agroclimáticas ocurridas durante el día de las mediciones de la transpiración en aguacate 'Colinmex'.**TABLE 2. Agroclimatic variables occurring on the day of 'Colinmex' avocado transpiration measurements.**

Fecha de muestreo / Sampling date	Temperatura media (°C) / Average temperature (°C)	Humedad relativa (%) / Relative humidity (%)	Radiación solar W·m ⁻² / Solar radiation W·m ⁻²	Velocidad del viento (km·h ⁻¹) / Wind speed (km·h ⁻¹)	Precipitación Acumulada (mm) / Accumulated precipitation (mm)	HAS (%) / ASM (%)
10/02/07	15.9	67.8	273.4	1.9	0.0	70.54
24/02/07	16.5	75.5	286.4	2.4	0.0	70.14
31/03/07	19.0	61.2	313.6	2.2	0.0	70.22
27/04/07	20.5	42.9	340.0	3.6	0.0	66.84
01/06/07	23.2	63.6	319.9	3.5	0.0	68.88
03/07/07	23.8	80.5	274.8	2.0	206.6	83.53
02/08/07	22.6	87.6	227.4	1.4	477.0	80.91
20/09/07	26.8	87.0	253.4	1.8	1431.8	91.47
27/10/07	18.6	77.7	280.5	1.3	1487.4	85.10
06/12/07	16.5	86.8	186.7	1.2	1495.0	60.22
19/01/08	12.4	64.3	217.0	1.6	0.0	57.68

Fuente: Sistema estatal de monitoreo agroclimático de Nayarit. INIFAP-NAYARIT. Estación Climatológica "Agronomía, Xalisco". www.climanayarit.gob.mx. HAS: Humedad aprovechable del suelo (%).

Source: Agroclimatic Monitoring System of Nayarit state. INIFAP-NAYARIT. Weather Station "Agronomy, Xalisco". www.climanayarit.gob.mx. ASM: Available Soil Moisture (%).

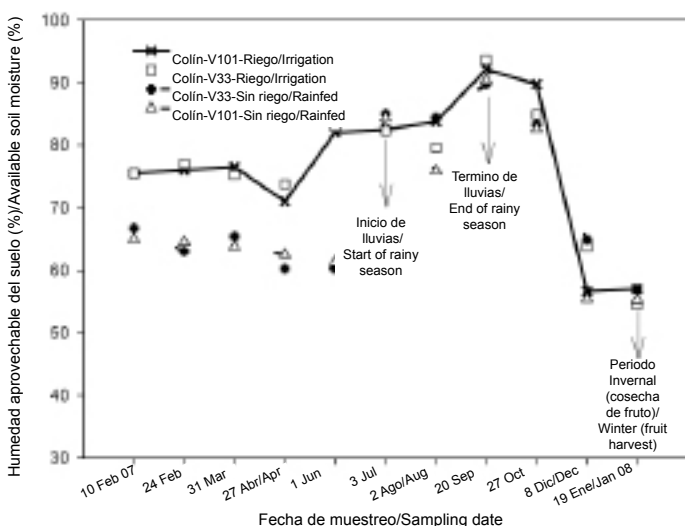


FIGURA 2. Distribución de la humedad aprovechable del suelo en las fechas de medición de la transpiración en aguacate 'Colinmex' durante 2007-2008.

FIGURE 2. Distribution of available soil moisture at the time of transpiration measurement in 'Colinmex' avocado during 2007-2008.

Cuando se iniciaron las mediciones (10/02/2007), la E fue de 2.85 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O y descendió hasta 1.38 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O en abril (Figura 1). Sin embargo, se incrementó en junio (2.39 mmol·m⁻²·s⁻¹ de H₂O), no obstante que fue la época de máximo déficit de humedad del suelo (en árboles no regados, Figura 2) y cuando la humedad relativa del ambiente registró los promedios más bajos (42.9 a 63.6 %, Cuadro 2) y la temperatura del ambiente estuvo más cálida (32.7 a 32.8 °C, Cuadro 2).

by rain; RH was at its maximum and ambient temperatures were warm.

In the fall, under rainfed conditions, E decreased to 4.56 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹, and decreased even more in the winter (19/01/08) to 2.21 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ (Figure 2).

Winter season

Significant differences ($P = 0.01$) were found in the transpiration rate in the winter (10/02/2007, Table 1) when environmental conditions showed a maximum temperature of 29.5 °C, 67.8 % RH and zero rainfall (Table 2). The leaves of the winter vegetative flush had reached their maximum expansion and were in the process of maturation. The available soil moisture levels were 75.17 and 63.56 % for irrigated and rainfed regimes, respectively (Table 2, Figure 2). Statistical differences in E were shown by 'Colinmex'/'Colín- V101' irrigated and rainfed with values of 3.33 and 3.19 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹, respectively. 'Colinmex'/'Colin-V33' groups with and without irrigation had lower averages (Table 1).

Spring season

Measurements in the spring period were made on 27/04/2007 when leaves were 109 days old, and the fruit averaged 45 mm in equatorial diameter. During this season, no significant differences were detected in E when environmental conditions showed a maximum temperature of 32.7 °C and 42.9 % relative humidity, with no rainfall. This season

La E incrementó su valor hasta alcanzar su máximo en pleno verano con $4.56 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O , periodo en que la HA se incrementó por el agua de lluvia; la HR se manifestó al máximo y las temperaturas del ambiente fueron cálidas.

En el otoño, bajo régimen de humedad residual del suelo, la E disminuyó hasta niveles de $4.56 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O , y decayó aún más en invierno (19/01/08) hasta $2.21 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O (Figura 2).

Estación de invierno

Diferencias significativas ($P = 0.01$) fueron encontradas en la tasa de transpiración en la época invernal (10/02/2007, Cuadro 1), cuando las condiciones ambientales mostraron temperatura máxima de $29.5 \text{ }^\circ\text{C}$, humedad relativa de 67.8% y cero precipitación pluvial (Cuadro 2). Las hojas del flujo vegetativo de invierno expresaron su máxima expansión y se encontraban en proceso de maduración. Los niveles de humedad aprovechable del suelo fueron de 75.17 y 63.56% bajo régimen de riego y sin riego, respectivamente (Cuadro 2, Figura 2). Diferencias estadísticas en la E fueron mostradas por 'Colinmex'/'Colín-V101' con riego y sin riego, con valores de 3.33 y $3.19 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O , respectivamente. Los conjuntos de 'Colinmex'/'Colín-V33' con riego y sin riego mostraron menores promedios (Cuadro 1).

Estación de primavera

Las mediciones en el periodo de primavera se realizaron el día 27/04/2007 cuando las hojas tenían 109 días de edad, y el fruto, 45 mm en promedio de diámetro ecuatorial. En esta estación no se detectaron diferencias significativas en la tasa de transpiración cuando las condiciones ambientales mostraron temperatura máxima de $32.7 \text{ }^\circ\text{C}$ y 42.9% de humedad relativa, con ausencia de precipitación pluvial. Esta estación del año se consideró como el periodo crítico de máximo déficit de humedad en la hoja de los árboles, ya que el suelo mostró los menores contenidos de humedad aprovechable en todos los tratamientos (66.84%) (Cuadro 2, Figura 2).

Estación de verano

No se observaron diferencias significativas en la E por efecto de los tratamientos. Las condiciones ambientales en esta fecha (02/08/2007) fueron de $30.3 \text{ }^\circ\text{C}$ como temperatura máxima, 87.6% de humedad relativa del ambiente y precipitación acumulada de 477 mm , debido a que el inicio del periodo de lluvias ocurrió el día 09/07/2007 (Figura 2). Las mediciones durante el verano ocurrieron en el periodo de lluvias. Los frutos ya habían alcanzado un promedio de 64.17 mm de diámetro ecuatorial, y las hojas tuvieron 206 días de edad. Se registró un promedio global de $4.56 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O en E (Cuadro 1).

was considered the most critical moisture deficit period for tree leaves, because the soil showed the lowest available moisture levels in all treatments (66.84%) (Table 2, Figure 2).

Summer season

The rainy season started on 09/07/2007 (Figure 2). No significant E differences were observed due to the treatments. Environmental conditions on measurements date (02/08/2007) were a maximum temperature of $30.3 \text{ }^\circ\text{C}$, 87.6% RH, and 477 mm cumulative rainfall. as The fruit had reached an average equatorial diameter of 64.17 mm , and the leaves were 206 days old. E had an overall average of $4.56 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Table 1).

Fall season

Highly significant differences ($P = 0.01$) were found in the transpiration rate among treatments in the fall, with an overall average of $4.17 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The maximum ambient temperature was $31.0 \text{ }^\circ\text{C}$, RH was 77.7% and $1,487.4 \text{ mm}$ of cumulative rainfall was recorded (Table 2, Figure 2). A similar transpiration rate was found in 'Colinmex' leaf with the interstocks 'Colin-V101' irrigated, 'Colin-V101' rainfed and 'Colin-V33' rainfed, with E rates from 4.90 to $4.10 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The lowest E was observed in the 'Colin-V33' interstock irrigated ($4.08 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (Table 1). On this measurement date, fruit were in stage III of equatorial diameter growth (72 mm) and the fully mature leaves were near senescence.

Fruit yield

With regards to the treatments, significant ($P = 0.05$) differences were found in fruit weight, number of fruit per tree and fruit crop per tree. Irrigated treatments had the highest averages, highlighted by 'Colinmex/Colin-V33' irrigated with 336.9 g , 86.8 and 29.2 kg , respectively. However, when the same treatment was managed under rainfed, it had the lowest averages for the same variables (Table 3). The correlation between average annual transpiration rate and fruit yield per treatment was not significant ($r^2 = 0.48$, $P = 0.52$).

DISCUSSION

In this study, the percentage of available soil moisture as an indicator of the water available to the roots in the irrigation treatments studied was determined. It has been found that many fruit tree roots and soil water reduction in tropical fruit trees are found in the first 30 cm of the soil surface (Zekri *et al.*, 1999), with a large portion of the active root system found in the first 10 cm of the soil surface (Núñez-Elisea *et al.*, 2001). These considerations have been used for irrigation scheduling in avocado orchards (Gurovich *et al.*, 2006).

CUADRO 3. Rendimiento de fruto del aguacate 'Colinmex' bajo dos regímenes de humedad del suelo.**TABLE 3. 'Colinmex' avocado fruit yield under two soil moisture regimes.**

Tratamiento / Treatment	Peso de fruto (g) ^z / Fruit weight (g) ^z	Número de frutos·árbol ⁻¹ / Number of fruits·tree ⁻¹	Rendimiento (kg·árbol ⁻¹) / Yield (kg·tree ⁻¹)
'Colinmex'/'Colín-V101'/portainjerto, con riego 'Colinmex'/'Colín-V101'/ rootstock, irrigated	301.3 b ^y	82.8 a	25.7 b
'Colinmex'/'Colín-V101'/portainjerto, sin riego 'Colinmex'/'Colín-V101'/ rootstock, rainfed	291.5 c	73.8 b	21.5 c
'Colinmex'/'Colín-V33'/portainjerto, con riego 'Colinmex'/'Colín-V33'/ rootstock, irrigated	336.9 a	86.8 a	29.2 a
'Colinmex'/'Colín-V33'/portainjerto, sin riego 'Colinmex'/'Colín-V33'/ rootstock, rainfed	272.2 d	39.5 c	10.8 d
<i>Pr>F</i>	0.0001**	0.0001**	0.0001**
Media general / Overall mean	300.9	70.7	21.8
Coefficiente de variación / Coefficient of variation	15.03	5.40	5.15

^yMedia de cuatro árboles por tratamiento. ^zMedia con la misma literal dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una $P = 0.05$.

^zAverage of four trees per treatment. ^yMeans with same letter within the column are equal according to Tukey's test, $P = 0.05$.

Estación de otoño

Diferencias altamente significativas ($P = 0.01$) fueron encontradas en la tasa de transpiración entre los tratamientos en la estación de otoño, con un promedio global de $4.17 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O . La temperatura máxima del ambiente fue de $31.0 \text{ }^\circ\text{C}$, la humedad relativa ambiental fue de 77.7% y la precipitación pluvial acumulada correspondió a $1,487.4 \text{ mm}$ (Cuadro 2, Figura 2). Similar tasa de transpiración fue encontrada en la hoja de 'Colinmex' en los interinjertos de 'Colín-V101' con riego, 'Colín-V101' sin riego y 'Colín-V33' sin riego, con tasas de transpiración que fueron de 4.90 a $4.10 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O . La E más baja fue observada en el interinjerto 'Colín-V33' con riego ($4.08 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O) (Cuadro 1). En esta fecha de medición los frutos se encontraban en la fase III de crecimiento (72 mm) de diámetro ecuatorial y las hojas completamente maduras próximas a la senescencia.

Rendimiento de fruto

Con respecto a los tratamientos, diferencias significativas ($P = 0.05$) fueron encontradas en peso de fruto, número de frutos por árbol y rendimiento de fruto por árbol. Los tratamientos bajo riego obtuvieron los mayores promedios, donde destaca 'Colinmex'/'Colín-V33' con riego con 336.9 g , 86.8 y 29.2 kg , respectivamente. Sin embargo, cuando este mismo tratamiento se manejó bajo sequía obtuvo los más bajos promedios en las mismas variables (Cuadro 3). La correlación entre el promedio de la tasa de transpiración anual y el rendimiento de fruto por tratamiento no fue significativa ($r = 0.48$, $P = 0.52$).

According to the results of this study, the stress experienced by the avocado during the drought period in the rainfed treatments did not visibly affect them to such a negative extent that it could affect their reproductive cycle (Chartzoulakis *et al.*, 2002). However, such stress may reduce fruit yield (Michelakis *et al.*, 1993).

The lowest transpiration rate was recorded in the spring during the period from 31/03/2007 to 27/04/2007 when available soil moisture was 70.22 and 66.84% at $0\text{-}30 \text{ cm}$ depth, respectively. These values coincided with low relative humidity (61.2 and 42.9%) and high ambient temperature (32.7 and $32.8 \text{ }^\circ\text{C}$, respectively), due to which leaf water stress in the rainfed treatments was strongly linked to diurnal fluctuations in the environment's vapor pressure deficit. It was possible for leaf water stress to occur under this extreme condition, even though the soil water content seemed to be insufficient.

Results show that the low E in the spring between the soil moisture regime treatments were associated with low leaf relative humidity in trees with and without irrigation (21.64 to 25.82%) and with low stomatal conductance values from 0.044 to $0.049 \text{ mmol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in irrigated trees, and $0.042 \text{ mmol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in rainfed trees. The later values were similar to those reported by Chartzoulakis *et al.* (2002) in 'Fuerte' avocado ($0.055 \text{ mmol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and lower than those for 'Hass' ($0.120 \text{ mmol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) when they were subjected to water stress for 12 days. Although soil moisture decreased from 01/06/2007 to 03/07/2007 (even in rainfed trees), E increased (Table 1). One pos-

DISCUSIÓN

En este estudio se determinó el porcentaje de humedad aprovechable del suelo como un indicador de la disponibilidad de agua para las raíces de los tratamientos de riego estudiados. Se ha determinado que muchas raíces de los árboles frutales y la reducción de agua del suelo en los frutales tropicales se encuentran en los primeros 30 cm de la superficie del suelo (Zekri *et al.*, 1999), con una gran porción del sistema radical activo en los primeros 10 cm de la superficie del suelo (Núñez-Elisea *et al.*, 2001). Estas consideraciones han sido usadas para planificar el riego en huertos de aguacate (Gurovich *et al.*, 2006).

De acuerdo con los resultados del presente estudio, el estrés sufrido por el aguacate durante el periodo de sequía en los tratamientos que no recibieron riego no afectó visiblemente de manera negativa en grado tal que pudiera afectar su ciclo reproductivo (Chartzoulakis *et al.*, 2002). Sin embargo, dicho estrés pudo influir en la reducción de los rendimientos de fruto (Michelakis *et al.*, 1993).

La más baja tasa de transpiración se registró en primavera durante el periodo comprendido del 31/03/2007 al 27/04/2007, cuando la humedad aprovechable del suelo estuvo a 70.22 y 66.84 % a los 0-30 cm de profundidad, respectivamente. Estos coincidieron con escasa humedad relativa (61.2 y 42.9 %) y alta temperatura del ambiente (32.7 y 32.8 °C, respectivamente), debido a lo cual el estrés hídrico de la hoja de los tratamientos de régimen de humedad del suelo estuvo fuertemente ligado a las fluctuaciones diurnas en el déficit de presión de vapor del ambiente. El estrés hídrico de la hoja pudo ocurrir bajo ésta extrema condición, aun cuando el contenido de agua del suelo pareció ser insuficiente.

Los resultados muestran que las bajas tasas de transpiración en primavera entre los tratamientos de régimen de humedad del suelo estuvieron asociadas con bajos porcentajes de humedad relativa de la hoja en árboles con y sin riego (21.64 a 25.82 %) y con bajos valores de conductancia estomática de 0.044 a 0.049 mmol·cm⁻²·s⁻¹ en árboles regados, y de 0.042 mmol·cm⁻²·s⁻¹ en árboles no regados. Estos últimos son similares a los reportados por Chartzoulakis *et al.* (2002) en aguacate 'Fuerte' (0.055 mmol·cm⁻²·s⁻¹) e inferiores a los de 'Hass' (0.120 mmol·cm⁻²·s⁻¹) cuando fueron sometidos a estrés hídrico durante 12 días. No obstante que la humedad del suelo descendió del 01/06/2007 al 03/07/2007 (aun en los árboles no regados) la tasa de transpiración se incrementó (Cuadro 1). Una explicación posible a este comportamiento es que en estas fechas ocurrieron nubosidades que precedieron al periodo de lluvias, que incrementaron la humedad relativa de la hoja entre 21.64 y 25.82 % el 27/04/2007, y hasta 71.02 y 79.54 % el 03/07/2007.

sible explanation for this behavior is that on these dates, cloudiness occurred prior to the rainy season, which increased leaf relative humidity between 21.64-25.82 % on 27/04/2007, and up to 71.02-79.54 % on 03/07/2007.

Because of the above, the transpiration rate of 'Colin-mex' avocado leaves under cloudiness depended on the heat lost by the leaf, where the total water loss was due to the leaf water conductance that is proportional to the evaporative flow due to the transpiration process (Grantz and Vaughn, 1999).

By contrast, transpiration measurements during the peak of the rainy season (02/08/2007) showed that leaf relative humidity fluctuated from 80.58 to 84.28 % in previously irrigated trees and from 81.43 to 83.82 % in rainfed trees, while transpiration rose simultaneously from 4.45 to 4.67 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ and 4.49 to 4.63 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ under irrigation and without irrigation, respectively. It can be deduced that leaf relative moisture was a parameter that influenced transpiration rate. Results in transpiration rates were high compared to those reported by Blanke and Lovatt (1993) in 'Hass' and 'Fuerte' avocado leaves, with 1.2 and 1.3 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹, respectively, and similar to those found in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.), a fruit tree that is considered to have an efficient water transport system, with 4.1 to 6.3 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹ (Batten *et al.*, 1992). For their part, Whiley *et al.* (1988) found in 'Bacon' avocado that the maximum leaf transpiration rate measured was 6.7 µg·cm⁻²·s⁻¹ at 07:00 h, which declined to 3.0 µg·cm⁻²·s⁻¹ at 11:00 h in field-grown trees.

During the summer and part of the fall, transpiration rates remained relatively high due to the presence of residual moisture in the soil, and it was until 06/12/2007 that E began to decrease. This occurred because the soil lost available moisture, the leaves were senescent and the fruit were in their final growth stage (overlap between stage II and III). This study ended with the 19/01/2008 reading, with fruit still on the tree (stage III), and with E values (generally, 2.21 mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹) similar to the initial ones.

CONCLUSIONS

Transpiration rates varied during the annual measurement period, and they showed the same distribution pattern with a cubic function trend among treatments. The percentage of available soil moisture and ambient relative humidity were strongly associated with transpiration rates.

Significant differences in the transpiration rate were found in winter time, when the leaves were at their maximum expansion.

Debido a lo anterior, la tasa de transpiración en las hojas del aguacate 'Colinmex' bajo nubosidad dependió del calor perdido por la hoja, donde la pérdida de agua total se debió al flujo de la conductancia, el cual es proporcional al flujo evaporativo debido al proceso de transpiración (Grantz y Vaughn, 1999).

En contraste, las mediciones de transpiración en plena época de lluvias (02/08/2007), donde la humedad relativa de la hoja fluctuó de 80.58 a 84.28 % en árboles anteriormente regados y de 81.43 a 83.82 % en árboles no regados, se elevó simultáneamente la transpiración de 4.45 a 4.67 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O y de 4.49 a 4.63 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O bajo riego y sin riego, respectivamente. Se deduce que la humedad relativa de la hoja resultó un parámetro que incidió sobre el flujo de transpiración. Los resultados en las tasas de transpiración fueron altos comparados con los reportados en hojas de aguacate 'Hass' y 'Fuerte' con 1.2 y 1.3 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O por Blanke y Lovatt (1993), y similares a los encontrados en litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) con 4.1 a 6.3 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O , frutal que se considera tiene un eficiente sistema de transporte del agua (Batten *et al.*, 1992). Por su parte Whiley *et al.* (1988) encontraron en aguacate 'Bacon' que la tasa máxima de transpiración de las hojas medidas fue de 6.7 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a las 07:00 h, que declinó a 3.0 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a las 11:00 h en árboles cultivados en el campo.

Durante el verano y parte del otoño las tasas de transpiración permanecieron relativamente altas debido a la presencia de humedad residual en el suelo, y no fue hasta el 06/12/2007 que la E comenzó a abatirse. Esto se debió posiblemente a que el suelo perdió humedad aprovechable, las hojas estuvieron senescentes y los frutos estaban en su última etapa de crecimiento (traslape entre el estado II y III). Este trabajo culminó con la lectura del 19/01/2008, aun con presencia de frutos en el árbol (estado III), con E similares (en general, 2.21 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de H_2O) a cuando inició la investigación.

CONCLUSIONES

Las tasas de transpiración variaron durante el periodo de medición anual, y observaron el mismo patrón de distribución, con una tendencia de una función cúbica entre los tratamientos. El porcentaje de humedad aprovechable del suelo y la humedad relativa del ambiente estuvieron fuertemente asociados con las tasas de transpiración.

Diferencias significativas en la tasa de transpiración fueron encontradas en época de invierno, cuando las hojas estuvieron en su máxima expansión.

Las más bajas tasas de transpiración se presentaron en la estación de primavera, en hoja completamente madura

The lowest transpiration rates occurred in the spring, in fully mature leaves and fruit in growth stage II, and when the most severe deficit of available soil moisture is thought to occur.

The highest transpiration rates occurred in the summer, when the fruit was in the overlap of growth stage II and III, and when there was the highest temperature, relative humidity and soil moisture.

During the fall there was a similar transpiration rate among treatments, except in the 'Colinmex'/'Colin-V33'/'rootstock with irrigation. In this season the fruit were in growth stage III and the leaves were close to senescence.

The treatments with irrigation obtained the highest fruit crop per tree.

End of English Version

y fruto en fase II de crecimiento, época que se consideró con el más severo déficit de humedad aprovechable del suelo.

Las más altas tasas de transpiración se presentaron en la estación de verano, cuando el fruto se encontraba en el traslape de fase de crecimiento II y III, época de más alta temperatura y humedad relativa ambiental, y humedad del suelo.

En otoño, se encontró una tasa de transpiración similar entre los tratamientos, excepto en el 'Colinmex'/'Colin-V33'/'portainjerto con riego. En esta estación los frutos se encontraban en la fase III de crecimiento y las hojas próximas a la senescencia.

Los tratamientos que recibieron riego obtuvieron los más altos rendimientos de fruto por árbol.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 1999. SAS/STAT User's Guide, Release 8.0 Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- ANÓNIMO. 2006. SigmaPlot, Systat Software, version 10 for Windows. Sigma Plot Inc.
- ANÓNIMO. 2011. Cierre de la producción agrícola por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx>

- ARQUERO, O.; BARRANCO, D.; BENLLOCH, M. 2006. Potassium starvation increases stomatal conductance in olive trees. *HortScience* 41(2): 433-436. <http://hortsci.ashspubs.org/content/41/2/433.full.pdf>
- BATTEN, D.; LLOYD, J.; MCCONCHIE, C. 1992. Seasonal variation in stomatal response of two cultivars of litchie (*Litchi chinensis* Sonn.). *Australian Journal of Plant Physiology* 19(3): 317-329. doi: 10.1071/PP9920317
- BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; RODRÍGUEZ-ONTIVEROS, J. L. 1994. Respuesta de plantas de aguacate cv. Hass bajo condiciones de sequía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 1(2): 191-198.
- CHARTZOULAKIS, K.; PATAKAS, A.; KODIFIS, G.; BOSABALIDIS, A.; NASTOU, A. 2002. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae* 95: 39-50. http://www.avocadosource.com/Journals/Elsevier/scientiahort_2002_95_39-50_Chartzoulakis.pdf
- GARCÍA, E., 1983. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 219 p.
- GERMANÁ, C.; CONTINELLA, A. 2004. Physiological behavior of some subtropical species in Mediterranean area. *Acta Horticulturae* 632: 117-123. http://www.actahort.org/books/632/632_15.htm
- GUROVICH, L. A.; TON, Y.; VERGARA, L. M. 2006. Irrigation scheduling of avocado using phytomonitoring techniques. *Ciencia e Investigación Agraria* 33(2): 117-124. <http://agronomia.uc.cl/index.php?/Descargar-documento/640-Irrigation-scheduling-of-avocado-using-phytomonitoring-techniques.html>
- GRANTZ, D. A.; VAUGHN, D. L. 1999. Vertical profiles of boundary layer conductance and wind speed in a cotton canopy measured with heated brass surrogate leaves. *Forest Meteorol.* 97: 187-197. doi: 10.1016/S0168-1923(99)00078-7
- LOMBARDINI, L.; CASPARI, H. W. ELFVING, D. C.; AUVIL, T. D.; McFERSON, J. R. 2004. Gas exchange and water relations in 'Fuji' apple trees grown under deficit irrigation. *Acta Hort.* 636, 43-50. http://www.actahort.org/books/636/636_4.htm
- MEDINA-TORRES, R.; SALAZAR-GARCÍA, S.; ORTÍZ-CATÓN, M.; VALDIVIA- BERNAL, R. 2011. Variación estacional de la fotosíntesis en varios cultivares de aguacate. *Revista BioCiencias*. 1(3): 36-45. <http://biociencias.uan.edu.mx/publicaciones/02-03/biociencias3-4.pdf>
- MICHELAKIS, N.; VOUGIOUKALOU, E.; CLAPAKI, G. 1993. Water use, wetted soil volume, root distribution and yield of avocado under drip irrigation. *Agric. Water Manage.* 24, 119-131. doi: 10.1016/0378-3774(93)90003-S
- NÚÑEZ-ELISEA, R.; SCHAFFER, B.; O'HAIR S. K.; CRANE, J. H. 2001. *In situ* soil-water characteristics curves for tropical fruit in trenched calcareous soil. *HortTechnology* 11(1): 65-69. <http://horttech.ashspubs.org/content/11/1/65.full.pdf>
- SALAZAR-GARCÍA, S.; LAZCANO-FERRAT, I. 2003. Site specific fertilization increased yield and fruit size in 'Colinmex' avocado. *Better Crops International* 17(1): 12-15. [http://www.ipni.net/ppiweb/bcropint.nsf/\\$webindex/86F0D50B5100455D85256D340072CB1F/\\$file/i03-1p12.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/bcropint.nsf/$webindex/86F0D50B5100455D85256D340072CB1F/$file/i03-1p12.pdf)
- WHILEY, A. M.; CHAPMAN, K. R.; SARANAH, J. B. 1988. Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* Mill. cv. Fuerte) during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research* 39(3): 457-467.
- ZEKRI, M.; NUÑEZ-ELISEA, R.; SCHAFFER, B.; O'HAIR, S. K.; CRANE, J. H.; COLLS, A. M. 1999. Multi-sensor capacitance probes for monitoring soil water dynamics in tropical fruit orchards in south Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 112: 178-181.
- ZHANG, J.; SCHURR, U.; DAVIES, W. J. 1987. Control of stomatal behavior by abscisic acid which apparently originates in roots. *J. Exp. Bot.* 38: 1174-1181. doi: 10.1093/jxb/38.7.1174