



Agronomía Mesoamericana
ISSN: 2215-3608
pccmca@gmail.com
Universidad de Costa Rica
Costa Rica

Injertos de naranja (*Citrus sinensis*) y mandarina (*Citrus reticulata*) en fase de producción¹

Pérez-Macias, Mercedes; Soto, Enio; León-Pacheco, Rommel Igor; Rodríguez-Yzquierdo, Gustavo Adolfo; Villagrán-Munar, Edwin Andrés

Injertos de naranja (*Citrus sinensis*) y mandarina (*Citrus reticulata*) en fase de producción¹

Agronomía Mesoamericana, vol. 33, núm. 1, 2022

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43768481019>

DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45264>

© 2022 Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr, pccmca@gmail.com



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Injertos de naranja (*Citrus sinensis*) y mandarina (*Citrus reticulata*) en fase de producción¹

Grafts of orange (*Citrus sinensis*) and mandarin (*Citrus reticulata*) in production phase

Mercedes Pérez-Macias

Instituto Nacional de Investigación Agrícola, Venezuela

maciasmercedes@yahoo.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2497-0031>

DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45264>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43768481019>

Enio Soto

Instituto Nacional de Investigación Agrícola, Venezuela

eniosoto9@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9928-5282>

Rommel Igor León-Pacheco

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(AGROSAVIA), Colombia

rleon@agrosavia.co

 <https://orcid.org/0000-0002-9928-5282>

Gustavo Adolfo Rodríguez-Yzquierdo

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(AGROSAVIA), Colombia

grodriguezy@agrosavia.co

 <https://orcid.org/0000-0003-3709-8534>

Edwin Andrés Villagrán-Munar

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(AGROSAVIA), Colombia

evillagran@agrosavia.co

 <https://orcid.org/0000-0003-1860-5932>

Recepción: 10 Febrero 2021

Aprobación: 27 Julio 2021

RESUMEN:

Introducción. En Venezuela, los cítricos son el quinto frutal más importante, con una superficie cosechada de 18 084 ha y rendimiento promedio de 14,2 t ha⁻¹, por debajo de la producción mundial. A pesar de ello, hay poca información sobre la fisiología y agronomía de los injertos de cultivares de cítricos más utilizados en el país, como parte de una estrategia para seleccionar las mejores combinaciones (injerto/portainjerto) y las épocas más limitantes para la producción del cultivo. **Objetivo.** Evaluar a nivel agronómico y fisiológico cinco cultivares de cítricos durante el período 2013-2015. **Materiales y métodos.** Se realizó un ensayo en plantas de cítricos sembradas entre el período de enero del 2013 y agosto del 2015 en el Centro Nacional de Investigación Agropecuaria, Maracay, Venezuela, en tres repeticiones bajo un diseño completamente al azar, para evaluar variables asociadas al intercambio gaseoso y fenología del cultivo en cinco cultivares de los cítricos más importantes de Venezuela. **Resultados.** 1) Los árboles de cítricos mostraron apertura parcial de los estomas para incrementar la transpiración y disminuir el estrés por alta

NOTAS DE AUTOR

rleon@agrosavia.co

temperatura y sequía, sin provocar disminuciones en la tasa de fotosíntesis. 2) Las plantas con los mayores valores promedio en las variables de intercambio gaseoso en los injertos (Cleopatra y Volk) y en el portainjerto (Dancy durante los períodos más secos y Valencia en los más lluviosos), provocaron que las combinaciones de Cleopatra-Dancy, Cleopatra-Valencia, Volk-Valencia y Volk-Dancy, alcanzaran el mayor rendimiento fotosintético durante todos los períodos de evaluación. 3) La fase fenológica de brotación en las plantas de cítricos fueron las fuentes de sumideros más importantes para las tasas de asimilación neta de fotosíntesis. **Conclusiones.** El cultivar Cleopatra-Dancy tuvo el comportamiento más estable para las variables asociadas al intercambio gaseoso y Volk-Dancy para producir en épocas más secas.

PALABRAS CLAVE: fisiología, citrus, cambio climático.

ABSTRACT:

Introduction. In Venezuela, citrus is the fifth most important fruit crop, with a harvested area of 18,084 ha, and an average yield of 14.2 t ha⁻¹, below world production. Despite this, there is little information on the physiology and agronomy of the grafting of the most commonly used citrus cultivars in the country, as part of a strategy to select the best combinations (graft/rootstock) and the most limiting seasons for crop production. **Objective.** To evaluate agronomic and physiological levels of five citrus cultivars during the period 2013-2015. **Materials and methods.** A trial was carried out on citrus plants sown between the period of January 2013 and August 2015 at the National Center for Agricultural Research, Maracay, Venezuela, in three replications under a completely randomized design, to evaluate variables associated with gas exchange and crop phenology in five cultivars of the most important citrus fruits of Venezuela. **Results.** 1) Citrus trees showed partial opening of the stomata due to high temperature and drought without causing decrease in photosynthetic rate. 2) The plants with the highest average values in the gas exchange variables in the graft (Cleopatra and Volk) and in the rootstock (Dancy during the driest periods and Valencia in the wettest periods) caused the Cleopatra-Dancy, Cleopatra-Valencia, Volk-Valencia, and Volk-Dancy combinations to achieve the highest photosynthetic yield during all evaluation periods. 3) The budding phenological stage in citrus plants were the most important sink sources for the net photosynthetic assimilation rates. **Conclusions.** The cultivar Cleopatra-Dancy had the most stable behavior for variables associated with gas exchange and Volk-Dancy for producing in drier seasons.

KEYWORDS: physiology, citrus, climate change.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela los cítricos fueron el quinto frutal más importante para el año 2017, con una superficie cosechada de 18 084 ha y rendimiento promedio de 14,2 t ha⁻¹ (Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios de Venezuela, 2020).

Los principales patrones o portainjertos usados en el país son: a) mandarina Cleopatra, *Citrus reshni* Hort. Ex Tan.; b) *Citrumelo swingle*, *C. paradisi* Macf. x *P. trifoliata* L. y c) limón Volkameriano, *C. volkameriana* Pasquale. Este último, hasta hace quince años, fue el patrón más importante, sin embargo, en la actualidad predomina el uso de la mandarina Cleopatra. Mientras que para los portainjertos se destaca para las naranjas, los cultivares ‘Valencia’, ‘Hamlin’, ‘Criolla’ y ‘California’; en el caso de las mandarinas, resaltan ‘Dancy’ y ‘King’, para las limas, se indican ‘Mexicana’ y ‘Tahití’, y para la toronja sobresalen ‘Duncan’ y ‘Marsh’. Se puede observar un bajo número de injertos y portainjertos, lo cual torna muy frágil la citricultura venezolana, ante posibles brotes de enfermedades, tales como Huanglongbing, la cual afecta los haces vasculares de las plantas, disminuye el rendimiento y la calidad de la fruta, así como una baja competitividad para el mercado internacional (Aular & Casares, 2011), y condiciones de estreses ambientales como altas temperaturas, radiación y sequía, las cuales afectan la productividad del cultivo (Long et al., 2017).

La temperatura es un factor clave en la adaptación y la diversificación de las funciones celulares básicas en las especies citrícolas. La mandarina y el pomelo parecen ser los más tolerantes, con la menor regulación descendente de los parámetros fotosintéticos y la menor acumulación de compuestos oxidativos. Mientras que, el citrón es la especie más sensible con una marcada disminución en el rendimiento fotosintético, mayor acumulación de parámetros oxidativos, inducción insuficiente de enzimas antioxidantes y baja regulación de la síntesis de ascorbato y glutatión (Santini et al., 2013).

En cuanto a los ciclos de evaluación, en el período frío hay una reducción en la fotosíntesis y la conductancia estomática es significativamente mayor en *Citrus medica* L. y *Fortunella japonica* (Thunb). El portainjerto Swingle en comparación con el período cálido mostró resultados de 64 %, 78 % para fotosíntesis neta y 53 %, 67 % para conductancia estomática, respectivamente, mientras que en *Citrus deliciosa* Ten. y *Citrus maxima* (Burm.) Merr. obtuvieron 25 %, 31 % para fotosíntesis neta y 34 %, 33 % para conductancia estomática, respectivamente (Santini et al., 2013).

La importancia relativa de las limitaciones estomáticas y no estomáticas para la fotosíntesis bajo estrés hídrico, aún no se comprende en su totalidad. A medida que disminuye el contenido relativo de agua foliar, el control estomático y la fotosíntesis también disminuyen, mientras que las relaciones metabólicas aumentan (Zhou et al., 2007), lo que limita la regeneración de ribulosa-1,5-fosfato (RuBP) e inhibición de la fotosíntesis en hojas de *Citrus grandis* y *Citrus sinensis* en diferentes pH de suelo (Long et al., 2017).

La fotosíntesis es sensible a los cambios de conductancia estomática; hay altas correlaciones de la fotosíntesis a la conductancia estomática y al déficit de presión de vapor en las hojas de *Citrus unshiu* Marc (Mandarina). Se ha demostrado que la disminución de la fotosíntesis es un fenómeno común en las plantas C3. Se cree que este fenómeno es causado por el cierre del estoma, la respiración elevada y la fotoinhibición como resultado de la alta radiación, altas temperaturas y alto déficit de presión de vapor en verano (Osório et al., 2006).

Hay evidencia que la fotosíntesis en las hojas de cítricos está regulada por un aumento en la demanda de sumideros en lugar de la concentración absoluta de carbohidratos en las hojas (Ribeiro et al., 2012). La alta concentración de sacarosa en los tejidos de las hojas induce la expresión de genes responsables del almacenamiento y uso de carbohidratos, mientras que regula la disminución de la expresión de los genes responsables de las actividades fotosintéticas (Ainsworth & Bush, 2011). En la medida que hay una fuerte demanda de sumideros, los genes relacionados con la síntesis y exportación de sacarosa son reprimidos en las hojas de cítricos antes que cualquier cambio significativo en la concentración de carbohidratos (Nebauer et al., 2011), lo que ocurre en paralelo con la reducción de la fotosíntesis (Syvertsen, 2017; Syvertsen & Garcia-Sanchez, 2014).

Los cítricos son sensibles a muchos estreses ambientales, tales como la sequía y frío, el cual afecta de forma positiva la floración (Chica & Albrigo, 2013), la salinidad (iones de cloro o sodio afectan negativamente el crecimiento) (Gonzalez et al., 2012), la deficiencia de nutrientes, la irradiancia, la alta temperatura y la alta demanda de evaporación atmosférica, típico de zonas de climas cálidos, donde la radiación es superior a la requerida para saturar la fotosíntesis de las hojas, dependen del riego y buenos drenajes para mejorar el rendimiento (Syvertsen, 2017).

Los efectos negativos del estrés suelen reducir el crecimiento de los árboles, el rendimiento y la calidad de los frutos. En condiciones naturales, los árboles de cítricos a menudo experimentan múltiples condiciones de estrés, por lo que hay interacciones directas e indirectas entre casi todos los tipos de estrés abióticos y bióticos. Las respuestas fisiológicas de los árboles de cítricos expuestos a dos o más factores de estrés pueden variar según la intensidad o duración del mismo. Por ejemplo, dado que la acumulación de cloro en las hojas de los cítricos se ha relacionado con el uso de agua y la alta transpiración a una concentración elevada de CO₂, se recomienda una alta humedad relativa, la cual puede mejorar la eficiencia del uso del agua en las hojas y aumentar la tolerancia a la sal. Además, incluso en portainjertos con tolerancia a la salinidad, el estrés tiene efectos directos en las raíces, predispone a los árboles a factores estresantes ambientales bióticos, incluido el ataque de la pudrición de la raíz, nematodos y enfermedades bacterianas. Las plagas de las raíces pueden, a su vez, afectar la tolerancia a la sal de raíces de cítricos y pueden aumentar la absorción de sal. Las temperaturas de las hojas expuestas al sol, por lo general, exceden los óptimos, por lo que reducir la temperatura de la hoja con sombra puede aumentar las variables asociadas al intercambio gaseoso y crecimiento de árboles. La sequía moderada o el estrés por salinidad en invierno, pueden reducir la actividad fisiológica y el crecimiento (Syvertsen, 2017).

Hay muchas prácticas que los productores de cítricos pueden hacer para mejorar los problemas asociados con el estrés abiótico, como la elección de las mejores combinaciones de portainjerto e injertos hasta el manejo apropiado de los métodos de riego y aplicación de fertilizantes (Syvertsen & Garcia-Sanchez, 2014). La tolerancia al estrés por sequía, alta temperatura y salinidad, son fenómenos de toda la planta que requieren una apreciación de las interacciones entre portainjertos e injertos de cítricos en el campo (Syvertsen, 2017).

Los cítricos en las condiciones tropicales están sujetos a una gran variación estacional de las condiciones ambientales a lo largo del ciclo anual, entre ellos, períodos de invierno con alta precipitación y los de verano con sequía, radiación y altas temperaturas. Estas condiciones ambientales podrían ser limitantes para el crecimiento y desarrollo de los cítricos. Aunque la respuesta fisiológica de estas especies a los cambios ambientales naturales es un tema muy importante con respecto al manejo integrado del huerto (Ribeiro et al., 2012) y esencial para el avance de la comprensión de los patrones de desarrollo de la especie, mucha información de los cítricos se ha generado en condiciones subtropicales sobre variables asociadas a la fenología y al intercambio gaseoso y su efecto en las variables asociadas al rendimiento en los cítricos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar a nivel agronómico y fisiológico cinco cultivares de cítricos durante el período 2013-2015.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ensayo se sembró en el Campo Experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, estado Aragua, a 445 m.s.n.m.; área clasificada como bosque seco tropical, con precipitación media anual entre 900-1000 mm, temperatura media de 25 °C y evapotranspiración alrededor de los 1400 mm (estación climatológica del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay).

El comportamiento temporal de las principales variables climáticas asociadas a la producción agrícola y para cada época de evaluación se muestran en la Figura 1.

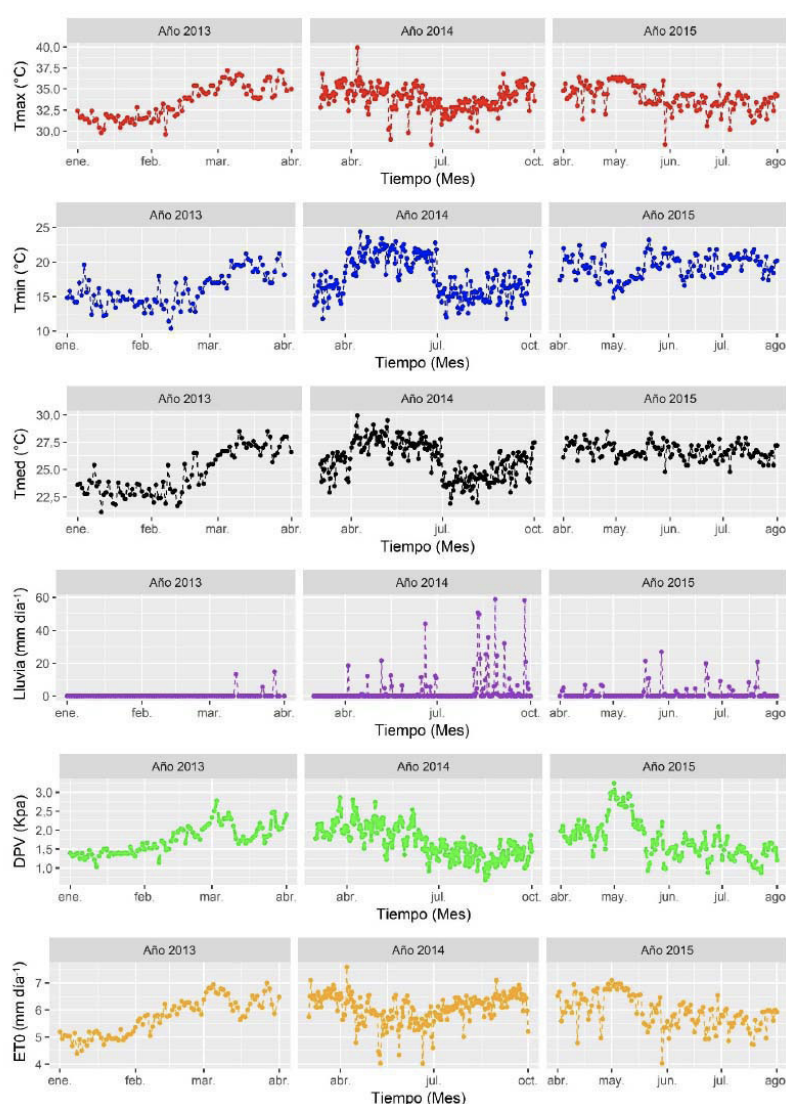


FIGURA 1

Condiciones climatológicas temporales del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela, durante el periodo 2013-2015.

Figure 1. Temporary weather conditions of the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela, during the period 2013-2015.

Descripción y diseño del experimento

Se utilizaron diez plantas en fase de inicio de producción, con edad comprendida entre cuatro y seis años de sembradas con una distancia de 6 m × 4 m, con riego por microaspersión, bajo un diseño experimental en bloques completos al azar y tres repeticiones.

Las evaluaciones se realizaron en enero, febrero, marzo del 2013; marzo, julio, octubre del 2014 y abril, junio y agosto del 2015.

Material vegetal

Se utilizaron tres portainjertos y dos injertos (Cuadro 1).

CUADRO 1
Cultivares de cítricos evaluados en el Centro Nacional de Investigaciones
Agropecuarias, Maracay, Venezuela, durante el período 2013-2015.

Injerto	Nombre científico	Portainjerto	Nombre científico	Siglas
Naranja Valencia	<i>Citrus sinensis</i>	Cleopatra	<i>Citrus reshni</i> Hort. ex Tan	CV
Naranja Valencia		Sunky	<i>Citrus sunki</i> Hort. ex Tanaka.	SKV
Naranja Valencia		Volkameriano	Citrus × limon	VV
Mandarina Dancy	<i>Citrus reticulata</i>	Volkameriano	(L.) Burm.f., Fl. <i>indica</i> , 173, 1768, non Osbeck, Reise Ostindien, 250, 1765.	VD
Mandarina Dancy		Cleopatra		CD

Table 1. Citrus cultivars evaluated at the Centro Nacional de Investigaciones
Agropecuarias, Maracay, Venezuela, during the period 2013-2015.

Variables evaluadas

Se evaluaron la conductancia estomática (C ; $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la fotosíntesis (P_n ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la transpiración (E ; $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), el diferencial térmico [(DT; corresponde a la resta entre la temperatura del aire y de la hoja ($^{\circ}\text{C}$)). Esto se realizó en una planta por unidad experimental (UE) y dos hojas por planta entre las 9:00 y 11:00 a.m. con un medidor infrarrojo de gases (IRGA) CI-340 Photosynthesis Systems (CID Inc, Washington, USA).

Las variables fenológicas (brotación, floración, frutos verdes y frutos maduros) se registraron con base a las observaciones visuales de las fases más predominantes (Ordúz-Rodríguez et al., 2010), de tal forma que se identificaron en la planilla de evaluación las que aparecieron con mayor porcentaje en la copa de la planta durante todos los períodos de evaluación (Fournier, 1974).

Con los datos de las variables de intercambio gaseoso, se determinó la estabilidad y adaptabilidad fenotípica de los cultivares, mediante el método de Lin & Binns (1988). Las variedades más estables fueron las que presentaron un valor P_{ig} más cercano a cero. La ecuación para obtener el estadístico fue la siguiente (ecuación 1):

$$\sum_{j=1}^n P_i \frac{(X_{ij} - M_j)^2}{2n} \quad (1)$$

Donde: P_{ig} = estadístico del parámetro de estabilidad del cultivar i , X_{ij} = respuesta de la variable dependiente del i ésimo cultivar en la j ésima localidad, M_j = respuesta máxima observada entre todos los cultivares en la localidad j , n = número de localidad.

También se calculó el índice ambiental, para lo cual los ambientes con comportamiento promedio menor que el promedio general fueron los ambientes menos favorables, mientras que, los superiores al promedio general fueron aquellos con valores positivos y más favorables. Por lo cual, se estimó el índice de superioridad de Lin y Binn para todos los ambientes y para los favorables y desfavorables.

Análisis estadístico

Se efectuó un análisis de varianza bajo un arreglo factorial en el tiempo, con el fin de detectar la significancia de las fuentes de variación para cada variable, seguido por el análisis de comparación múltiple de Tukey con el programa INFOSTAT, versión estudiantil (Di-Rienzo et al., 2016). Para las variables asociadas al intercambio gaseoso se realizó un mapa de calor y un análisis multivariado por componentes principales con el programa R studio (De-Mendiburu, 2017).

RESULTADOS

Análisis de las variables asociadas al intercambio gaseoso

En la variable fotosíntesis se presentaron diferencias significativas $p < 0,05$. Los mayores valores durante todas las evaluaciones se obtuvieron en el injerto Dancy sobre el portainjerto Volkameriano, injerto Valencia sobre el portainjerto Volkameriano y el injerto Dancy sobre el portainjerto Cleopatra, con valores de 11,52, 8,52 y 8,09 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Este comportamiento se debió a que estos cultivares alcanzaron los mayores promedios en las fechas de marzo 2013, abril 2013, julio 2014 y octubre 2014 (Cuadros 1 y 2), períodos en los cuales, la mayor fase fenológica estuvo representada por la brotación de nuevas hojas (Cuadro 3), lo que indujo la mayor fotosíntesis, por ser el principal sumidero; de forma similar con el injerto Dancy sobre el portainjerto Volkameriano, con las mayores tasas de asimilación de CO_2 durante los períodos de enero del 2013, abril 2013 y julio 2014, en este último período de evaluación, tuvo 41 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, lo que provocó la mayor tasa de fotosíntesis. Comportamiento similar reportó el injerto Valencia sobre el portainjerto Volkameriano, durante octubre 2014 y abril 2015 (Cuadro 4). La variable transpiración se comportó de forma similar y fue mayor en el injerto Dancy sobre el portainjerto Volkameriano, el injerto Cleopatra sobre el portainjerto Volkameriano y el injerto Dancy sobre el portainjerto Cleopatra, con valores promedios de 0,58, 0,58 y 0,54 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Cuadro 5). El injerto Dancy sobre el portainjerto Cleopatra fue superior durante casi todos los períodos de evaluación, principalmente enero 2013, marzo 2013, abril 2013 y abril 2015, períodos secos y con altas temperaturas. Mientras tuvieron mayores valores el injerto Valencia sobre el el portainjerto Cleopatra y Dancy sobre el portainjerto Volkameriano, principalmente en enero 2013 y agosto 2015, marzo 2013 y abril 2013, respectivamente (Cuadro 5).

CUADRO 2

Fotosíntesis de los cultivares de cítricos evaluados desde enero del 2013 hasta agosto del 2015 en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Cultivar	DMS=11,7621													
	1/01/2013	1/03/2013	1/04/2013	1/03/2014	1/07/2014	1/10/2014	1/04/2015	1/06/2015	1/08/2015	Prome- dio	R	DS		
CD	3,95 AB cd	11,78 A a	14,96 A a	3,12 CD de	10,35 B a	19,82 BC a	5,57 AB bc	1,00 DE f	2,31 A ef	8,09	3	6,62		
CV	1,88 C de	8,17 A b	3,62 AB bc	2,88 E cd	10,66 B a	20,13 B a	0,38 B e	4,43 BC bc	5,50 A bc	6,40	4	6,04		
SKV	3,03 AB de	1,98 A fg	1,80 C hi	6,38 AB bc	2,39 BC ef	27,65 B ab	1,84 AB gh	4,61 A cd	1,34 A i	5,67	5	8,12		
VD	14,72 A b	5,40 A bc	9,65 A b	2,96 DE bc	41,00 A ab	4,65 C bc	10,47 A b	2,72 CD c	12,12 A b	11,52	1	11,73		
VV	2,30 BC ef	2,00 A fg	2,54 BC de	3,54 BC cd	1,05 C gh	49,84 A ab	7,28 A bc	0,24 E h	7,93 A b	8,52	2	15,06		
Promedio	5,17	5,87	6,51	3,78	13,09	24,42	5,11	2,60	5,84	8,04		6,90		
DS	5,39	4,20	5,65	1,48	16,22	16,49	4,08	1,97	4,38	6,65		5,75		

DMS: Diferencia mínima significativa. Cultivares con letra mayúscula distinta en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$) en el período de evaluación. Cultivares con letra minúscula distinta en la misma fila son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$) entre períodos de evaluación. ^aClasificación. / ^{MSD}Minimum significant difference. Genotypes with a common capital letter in the same column are not significantly different (Tukey, $p > 0,05$) in the evaluation period. Genotypes with a common lowercase letter in the same row are not significantly different (Tukey, $p > 0,05$) between evaluation periods. ^RRanking.

Valencia-Cleopatra (CV), Valencia-Sunky (SKV), Valencia-Volkameriano (VV), Dancy-Volkameriano (VD), Dancy-Cleopatra (CD).

Table 2. Photosynthesis of citrus cultivars evaluated from January 2013 to August 2015 at the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

CUADRO 3

Estado fenológico de los cultivares de cítricos evaluados desde enero del 2013 hasta agosto del 2015 en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Cultivar	1/01/2013	1/03/2013	1/04/2013	1/03/2014	1/07/2014	1/10/2014	1/04/2015	1/06/2015	1/08/2015
VV	Fv	FvFm	Br/Fv	Fl/Br/Fv	Fl/Br/Fv	Fv/Br	Fm/Fv	Fl/Fv	Fv
CV	Fv/Br (poco)	Fm	Fm/ Br/Fv	Fl/Br/Fv	Br/Fl/Fv	Fv/Br	Fv/Fm	Fl/Fm/Fv/Br	Fv
SKV	Fv	Fm/Fv	Br/Fl	Fv/Fl/Br	Fv/Fl/Br	Fv/Br	Fv/Fm	Fl/Fv/Fm/Br	Fv
VD	Fv / Fm	Fm	Br/Fl/Fm	Br/Fl	Br/Fl/Fv	Br/ Fv	Br/Fm	Br/Fl/Fv	Fv
CD	Fm	Fv	Br/Fv	Br/Fl	Br/Fl/Fv	Br/Fv	Br/Fv	Br/Fl/Fv	Fv

Br Brotación; Fl floración; Fv frutos verdes en crecimiento; Fm frutos maduros cercanos a cosecha. El orden de cada fase fenológica se reporta con base a la que es más predominante en la copa de la planta. / BrBrotation; Flflowering; Fvgrowing green fruits; Fmripe fruits close to harvest. The order of each phenological phase is reported based on the one that is more predominant in the crown of the plant. Valencia-Cleopatra (CV), Valencia-Sunky (SKV), Valencia-Volkameriano (VV), Dancy-Volkameriano (VD), Dancy-Cleopatra (CD).

Table 3. Phenological status of citrus cultivars evaluated from January 2013 to August 2015 at the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

CUADRO 4

Transpiración de los cultivares de cítricos evaluados desde enero del 2013 hasta agosto del 2015 p en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Cultivares			DMS=0,1959															Prome- dio	R	DS	
CD	1,01	A a	0,83	A b	0,53	A cd	0,19	B d	0,65	AB b	1,11	B a	0,69	A cd	0,19	A de	0,00	B e	0,58	2	0,41
CV	1,17	A bc	0,23	C d	0,23	BC d	0,29	B c	0,41	B d	1,50	AB ab	0,69	AB b	0,17	A e	0,22	A de	0,54	3	0,49
SKV	0,72	C b	0,66	BC bc	0,29	B d	0,27	B	0,28	B c	1,08	BC ab	0,40	B c	0,03	A e	0,13	A de	0,43	4	0,34
VD	0,95	BC bc	1,03	A b	0,39	A c	0,51	AB c	0,27	C de	1,64	A ab	0,35	B cd	0,04	A ef	0,04	AB f	0,58	1	0,53
VV	0,70	C ab	0,36	C b	0,07	C d	0,30	B bc	0,42	B b	0,81	C a	0,38	B b	0,33	A b	0,09	AB cd	0,38	5	0,26
Promedio	0,91		0,62		0,30		0,31		0,40		1,23		0,50		0,15		0,09		0,50		0,38
DS	0,20		0,33		0,17		0,12		0,15		0,34		0,17		0,12		0,08		0,19		0,10

DMSDiferencia mínima significativa. Genotipos con una letra mayúscula común en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, $p>0,05$) en el período de evaluación. Genotipos con una letra minúscula común en la misma fila no son significativamente diferentes (Tukey, $p>0,05$) entre periodos de evaluación. RClasificación. / MSDDMinimum significant difference. Genotypes with a common capital letter in the same column are not significantly different (Tukey, $p>0,05$) in the evaluation period. Genotypes with a common lowercase letter in the same row are not significantly different (Tukey, $p>0,05$) between evaluation periods. RRanking.

Valencia-Cleopatra (CV), Valencia-Sunky (SKV), Valencia-Volkameriano (VV), Dancy-Volkameriano (VD), Dancy-Cleopatra (CD).

Table 4. Transpiration of citrus cultivars evaluated from January 2013 to August 2015 at the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

CUADRO 5

Comportamiento promedio de los cultivares de cítricos evaluados desde enero del 2013 hasta agosto del 2015 para la variable conductancia estomática (C) en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Cultivares																		C, DMS= 45,4109										Prome- dio	R	DS
CD	33,92	A b	65,99	A b	26,16	AB c	31,33	A b	75,66	A b	178,88	CD ab	25,83	AB cd	6,13	CD d	15,61	A cd	51,06	3	52,42									
CV	44,23	A b	29,61	A b	11,53	B b	7,12	A b	25,02	B b	358,02	BC ab	13,43	BC b	14,48	AB b	8,16	CD b	56,84	2	108,58									
SKV	21,91	A ab	35,39	A a	18,93	AB ab	6,64	A cd	23,00	B ab	29,66	E a	8,68	DE bc	0,58	E e	3,84	DE de	16,51	5	12,58									
VD	43,47	A a	47,68	A a	32,29	A bc	45,77	A a	51,48	A a	83,56	DE a	10,56	CD cd	1,50	DE e	10,30	BC de	36,29	4	26,85									
VV	18,53	A bc	57,23	A b	18,10	AB bc	13,72	A bc	23,45	B bc	419,29	AB ab	7,77	E de	7,86	BC cd	2,94	A e	63,21	1	128,35									
Promedio	32,41		47,18		21,40		20,91		39,72		213,88		13,25		6,11		8,17		44,78		62,83									
DS	11,91		15,02		7,99		17,12		23,40		169,64		7,35		5,59		5,15		29,24		50,81									

DMSDiferencia mínima significativa. Genotipos con una letra mayúscula común en la misma columna no son significativamente diferentes (Tukey, $p>0,05$) en el periodo de evaluación. Genotipos con una letra minúscula común en la misma fila no son significativamente diferentes (Tukey, $p>0,05$) entre periodos de evaluación. RClasificación. / MSDDMinimum significant difference. Genotypes with a common capital letter in the same column are not significantly different (Tukey, $p>0,05$) in the evaluation period. Genotypes with a common lowercase letter in the same row are not significantly different (Tukey, $p>0,05$) between evaluation periods. RRanking.

Valencia-Cleopatra (CV), Valencia-Sunky (SKV), Valencia-Volkameriano (VV), Dancy-Volkameriano (VD), Dancy-Cleopatra (CD).

Table 5. Average behavior of citrus cultivars evaluated from January 2013 to August 2015 for the stomatal conductance variable (C) at the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Las relaciones hídricas para los cultivares de cítricos evaluados en esta investigación estuvieron definidas por los efectos de los periodos secos y con las mayores temperaturas, las tasas de fotosíntesis más altas se alcanzaron en aquellos genotipos cuyas plantas abrieron de forma parcial los estomas para evitar la pérdida por transpiración como parte del mecanismo fisiológico frente a condiciones por estrés abiótico. Esto se observó con la variable conductancia estomática, en la cual el injerto Dancy sobre el portainjerto Cleopatra, el injerto Valencia sobre el portainjerto Cleopatra y el injerto Valencia sobre el portainjerto Volkameriano, alcanzaron comportamientos superiores al promedio, debido a que estos genotipos destacaron con más del doble que el resto de los genotipos para el período de evaluación más lluvioso, con valores de 178,88, 358,02 y 419,29 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente (Cuadro 4). El injerto Dancy sobre el portainjerto Volkameriano fue significativamente superior en la mayoría de los periodos secos, en las épocas con las menores temperaturas y más lluviosos, pero no superó al injerto Dancy sobre el portainjerto Cleopatra, el injerto Valencia sobre el portainjerto Cleopatra y el injerto Valencia sobre el portainjerto Volkameriano, respectivamente.

Los periodos con los valores promedios más altos de precipitación fueron julio 2014 y octubre 2014. El comportamiento de la interacción positiva en los diferentes ambientes de evaluación puede explicarse, ya que, para el periodo de evaluación comprendido entre el 01 de enero al 01 de abril del año 2013, fue la época con temperatura en aumento. La temperatura presentó un valor medio diario de $24,7 \pm 2,0$ °C, con valores máximos de $33,4 \pm 2,0$ °C y mínimos de $16,0 \pm 2,5$ °C. Se presentaron lluvias en las dos últimas semanas del mes de marzo, cuyo valor acumulado sumó un total de 33,4 mm, valor que al ser comparado con el valor de evapotranspiración potencial acumulada (ET₀) permite concluir que para este periodo se presentó un déficit hídrico con un valor de 482,8 mm. La variable déficit de presión de vapor (DPV) presentó un valor medio de $1,7 \pm 0,4$ kPa y un rango de variación entre 1,0 y 2,8 kPa para este periodo. Esta variación estuvo influenciada por los cambios de temperatura y los días de precipitación que incrementaron la humedad en algunos días del periodo evaluado. Para el caso de la ET₀ el valor medio obtenido fue de $5,73 \pm 0,67$ mm día⁻¹ con un rango variación entre 4,4 y 7,0 mm día⁻¹ (Figura 1).

Para el año 2014 entre el 01 de marzo y 01 de octubre se presentó un valor diario medio de la temperatura de $25,9 \pm 1,7$ °C, con valores máximos y mínimos de $33,9 \pm 1,5$ °C y $17,9 \pm 3,0$ °C, respectivamente. Para este periodo se observó que hubo mayores días de precipitación con valores acumulados de hasta 60 mm día⁻¹, principalmente en los meses de agosto y septiembre. El balance hídrico calculado para este periodo dio como resultado una condición de déficit hídrico de 653,7 mm. El valor medio de DPV fue de $1,7 \pm 0,4$ kPa, esta variable se comportó entre el rango de 0,68 y 2,9 kPa, donde los valores cercanos al límite inferior del rango se presentaron en la época lluviosa. Para la variable ET₀, se obtuvo un valor medio de $6,06 \pm 0,54$ mm día⁻¹ con algunos valores puntuales superiores a 7,0 mm día⁻¹ y otros con un valor inferior cercano a 4,0 mm día⁻¹ (Figura 1). Los periodos con la mayor precipitación fueron julio y octubre 2014, lo que provocó que las variables de intercambio gaseoso en las plantas de cítricos alcanzaran los mayores valores promedio, con el mejor comportamiento para el cultivar Valencia sobre Volkameriano en las variables de conductancia estomática y, por ende, fotosíntesis. Durante este periodo todos los cultivares estuvieron principalmente en producción de nuevos brotes (Cuadro 3), por la alta humedad de la época de evaluación, mientras que las plantas del cultivar Valencia sobre Sunki, alcanzaron los menores valores promedios de intercambio gaseoso, motivado a que durante la evaluación, estas combinaciones de injertos y portainjertos se encontraban en formación de frutos (Cuadros 5 y 6).

CUADRO 6

Índice de superioridad de Lin y Binn en los cultivares de cítricos evaluados desde enero del 2013 hasta agosto del 2015, para las variables fotosíntesis (Pn), transpiración (E) y conductancia estomática (C) en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Cultivares	Pn					E					C										
	IST	R	ISD	R	ISF	R	IST	R	ISD	R	ISF	R	IST	R	ISD	R	ISF	R	SRT	SRD	SRF
CD	2100,44	2	259,89	2	1840,55	3	0,51	2	0,17	1	0,34	2	58219,54	3	422,04	1	57797,50	3	7	4	8
CV	2267,72	4	464,29	4	1803,44	2	0,87	3	0,22	2	0,65	3	9776,81	2	4698,26	3	5078,55	2	9	9	7
SKV	2579,60	5	596,52	5	1983,08	4	1,08	4	0,43	5	0,65	4	158357,79	5	5606,43	5	152751,36	5	14	15	13
VD	2126,56	3	84,22	1	2042,34	5	0,44	1	0,39	3	0,05	1	114063,74	4	1015,22	2	113048,52	4	8	6	10
VV	2055,43	1	459,03	3	1596,40	1	1,76	5	0,42	4	1,34	5	5221,60	1	5144,81	4	76,80	1	7	11	7

IST Índice de superioridad de Lin y Binn para todos los periodos de evaluación. ISD Índice de superioridad de Lin y Binn para los periodos de evaluación desfavorables. ISF Índice de superioridad de Lin y Binn para todos los periodos de evaluación favorables. R Ranking y SR Suma de los rankings para todos los periodos de evaluación, desfavorables y favorables, respectivamente. / TSL Lin and Binn superiority index for all evaluation periods. DSI Lin and Binn superiority index for unfavorable evaluation periods. FSL Lin and Binn superiority index for all favorable evaluation periods. R Ranking and SR Sum of the rankings for all the evaluation periods, unfavorable and favorable, respectively.

Valencia-Cleopatra (CV), Valencia-Sunk (SKV), Valencia-Volkameriano (VV), Dancy-Volkameriano (VD), Dancy-Cleopatra (CD).

Table 6. Lin and Binn superiority index in citrus cultivars evaluated from January 2013 to August 2015 for the variables photosynthesis (Pn), transpiration (E), and stomatal conductance (C) at the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Los resultados obtenidos al aplicar el método de análisis de Lin y Binns (Cuadro 6) indicaron que fue posible identificar grupos de genotipos con valores extremos para el Pi, lo que permite la selección de genotipos de alto y bajo desempeño a través de los ambientes de evaluación.

Los índices de superioridad para todos los períodos de evaluación fueron mayores en el cultivar Valencia sobre Volkameriano, Valencia sobre Cleopatra y Dancy sobre Cleopatra. Similar comportamiento ocurrió para la transpiración, en el injerto Dancy sobre Cleopatra, el injerto Valencia sobre el portainjerto Cleopatra y el injerto Dancy sobre el portainjerto Volkameriano, y para conductancia estomática Dancy sobre el portainjerto Cleopatra, Valencia sobre el portainjerto Cleopatra y el injerto Valencia sobre el portainjerto Volkameriano. Durante todos los períodos de evaluación el injerto Dancy sobre el portainjerto Cleopatra fue quien alcanzó el mayor índice de superioridad en las tres variables de intercambio gaseoso, lo que se podría identificar como una combinación injerto-portainjerto estable en el tiempo. El injerto Dancy sobre el portainjerto Volkameriano tuvo el mismo comportamiento en las tres variables, tal como se observó en las variables con la suma de la clasificación de los tres índices de superioridad en las tres variables y en los tres tipos de índices (total, favorable y desfavorable) (Cuadro 6), por lo tanto, los que tuvieron los menores valores de la suma de la clasificación fueron los que siempre estuvieron la mayoría de las veces en los primeros lugares, tal es el caso del injerto Dancy sobre el portainjerto Cleopatra, Valencia sobre el portainjerto Cleopatra y Valencia sobre el portainjerto Volkameriano, pero Dancy sobre el portainjerto Volkameriano para los períodos menos favorables (período en el que las plantas de cítricos tenían el menor rendimiento comparado con el comportamiento promedio). El cultivar Dancy sobre Cleopatra fue afectado de forma positiva en períodos con condiciones climáticas óptimas y en el total de las evaluaciones, mientras que el injerto Dancy sobre el portainjerto Volkameriano, fue superior en los períodos de evaluación menos óptimos para las plantas de cítricos (Cuadro 3), ambos estuvieron representados en esos períodos de evaluación por la fase fenológica de brotación (Cuadro 4), lo que dio indicios de ser cultivares cuyo sumidero más importante fue la producción de nuevas hojas. Hay que destacar que al observar el mapa de calor (Figura 2), los portainjertos Volkameriano y Cleopatra sobresalieron para las variables fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración, el mayor incremento se dio en julio y octubre del 2014 para el portainjerto Volkameriano, lo que dio indicios que este portainjerto requiere mayor humedad. Dancy alcanzó los mayores valores de fotosíntesis, conductancia y transpiración durante los períodos más secos, lo que dio indicios que es una variedad de mandarina que se puede recomendar para usar como injerto en ambientes con déficit hídrico (Figura 2). Debido al comportamiento superior del portainjerto Volkameriano y Cleopatra como portainjertos y Valencia como injerto, se puede indicar que en esta investigación sobresalieron aquellos

cultivares que tuvieron al menos una de sus combinaciones como injerto y portainjerto, respectivamente (Figura 2), mientras que los que tenían el injerto de Dancy destacaron en los períodos más secos, como es el caso del cultivar Dancy sobre Volkameriano.

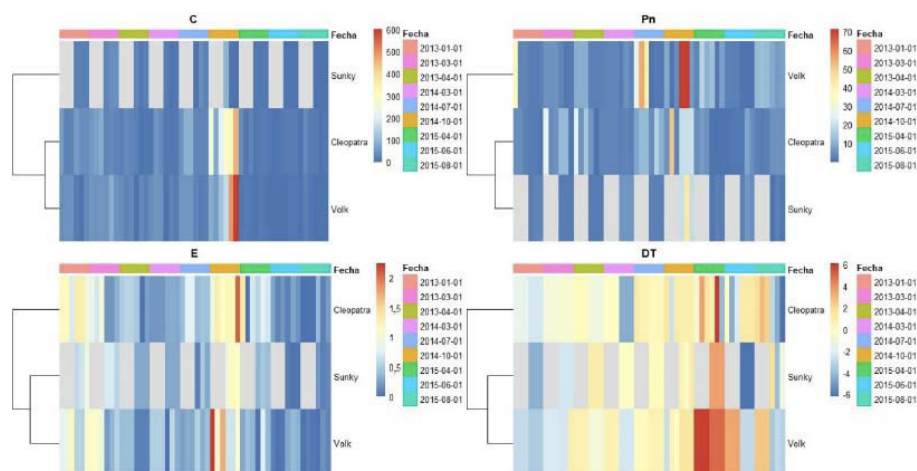


FIGURA 2

Mapa de calor para tres portainjertos de cítricos Cleopatra, Sunky y Volkameriano (Volk), evaluados en las variables conductancia estomática (C), fotosíntesis (Pn), transpiración (E) y diferencial térmico (DT) desde enero del 2013 hasta agosto del 2015 en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Figure 2. Heat map for three citrus rootstocks Cleopatra, Sunky, and Volkameriano (Volk), evaluated in the variables stomatal conductance (C), photosynthesis (Pn), transpiration (E), and thermal differential (DT) from January 2013 to August 2015 at the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Los menores diferenciales térmicos con la mayor expresión de estrés para las plantas se observaron para el 2015 (Figura 3). Esto, ya que para ese año entre el 01 de abril y el 01 de agosto la temperatura diaria media presentó un valor de $26,7 \pm 0,7$ °C, mientras que los valores medios máximos y mínimos fueron de $34,0 \pm 1,5$ °C y $19,4 \pm 1,7$ °C, respectivamente, valores de temperatura que fueron los más elevados de los tres años evaluados. Para este periodo, los eventos de precipitación ocurrieron entre los meses de mayo y julio y se obtuvo otro déficit hídrico calculado de 533,4 mm, mientras que los valores medios para el DPV y la ET0 fueron de $1,7 \pm 0,5$ kPa y $5,93 \pm 0,61$ mm día⁻¹, respectivamente (Figura 1).

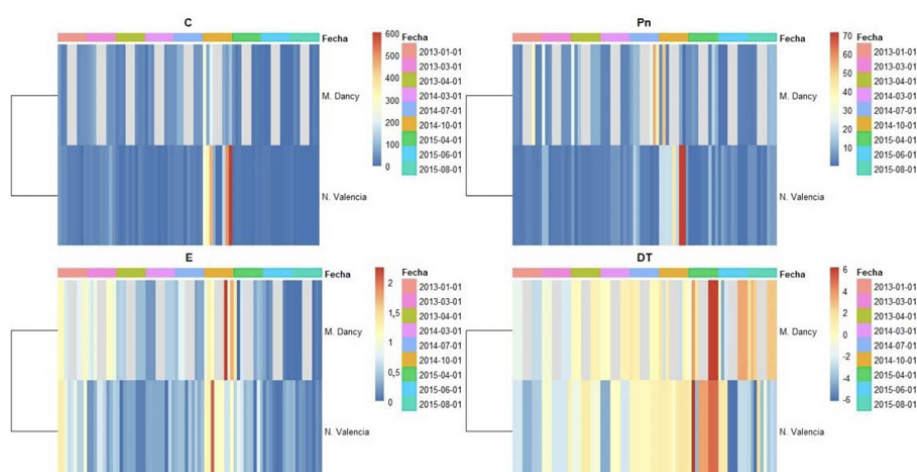


FIGURA 3

Mapa de calor para dos injertos de cítricos variedad Dancy (*Citrus reticulata*) y variedad Valencia (*Citrus sinensis*), en las variables conductancia estomática (C), fotosíntesis (Pn), transpiración (E) y diferencial térmico (DT) desde enero del 2013 hasta agosto del 2015 en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Figure 3. Heat map for two grafts of citrus Dancy variety (*Citrus reticulata*) and Valencia variety (*Citrus sinensis*), in the variables stomatal conductance (C), photosynthesis (Pn), transpiration (E), and thermal differential (DT) from January 2013 to August 2015 at the Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

El diferencial térmico más alto entre los cultivares se observó en casi todos los períodos de evaluación, principalmente para el injerto Dancy sobre el portainjerto Volkameriano, lo que dio indicios de ser la estrategia fisiológica del cultivar para tolerar períodos de estrés abiótico (incremento de la transpiración para bajar la temperatura foliar), mientras que los menores diferenciales térmicos los alcanzaron los cultivares Valencia sobre Sunkyu, Valencia sobre Cleopatra y Valencia sobre Volkameriano (Figura 3). Estas relaciones se pueden explicar con las combinaciones con los portainjertos e injertos respectivamente, ya que el injerto Dancy fue quien alcanzó las menores temperaturas de la hoja y por ende, los mayores diferenciales térmicos, mientras que Volkameriano como portainjerto, a pesar que alcanzó los mayores diferenciales térmicos para octubre del 2014, período con la mayor precipitación, pero, no así para los períodos más secos de la evaluación (Figura 2, 3 y 4).

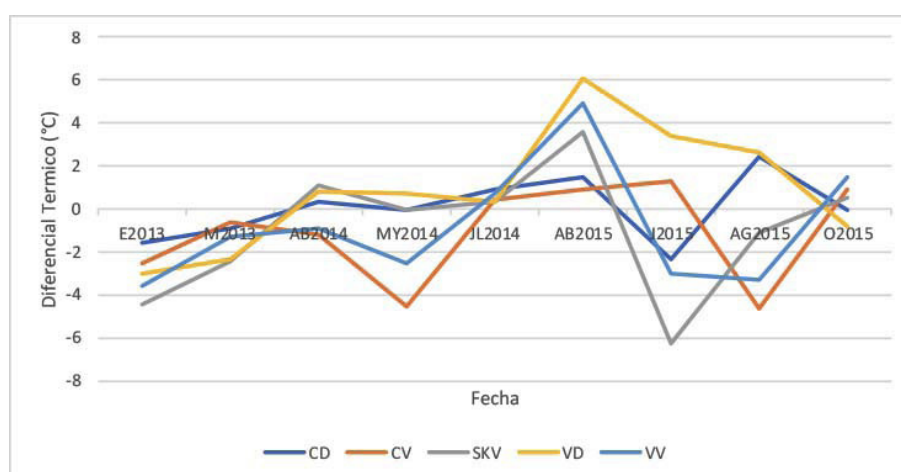


FIGURA 4

Comportamiento promedio para la variable diferencial térmico (°C), en los cultivares de cítricos desde enero del 2013 hasta agosto del 2015 en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Valencia-Cleopatra (CV), Valencia-Sunku (SKV), Valencia-Volkameriano (VV), Dancy-Volkameriano (VD), Dancy-Cleopatra (CD).

Figure 4. Average behavior for the thermal differential variable (°C), in citrus cultivars from January 2013 to August 2015 at National Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay, Venezuela.

Valencia-Cleopatra (CV), Valencia-Sunku (SKV), Valencia-Volkameriano (VV), Dancy-Volkameriano (VD), Dancy-Cleopatra (CD).

DISCUSIÓN

Los árboles de cítricos alcanzaron comportamiento promedio superior para octubre 2014 y julio 2014. El primer período tuvo la mayor precipitación y menor temperatura, adicional al efecto de las temperaturas, las precipitaciones y el comportamiento genético de cada cultivar, otras variables deben analizarse como parte del efecto de la fisiología de los cítricos durante diferentes ciclos fenológicos, tal es el caso de la disminución en la asimilación de CO₂, la cual provoca reducciones de la conductancia estomática durante el estrés por sequía en 'Swingle' citrumelo (De-Campos et al., 2011), estrés salino en mandarina Cleopatra (Anjum, 2010) y estrés por frío en Naranja dulce Valencia (Santos et al., 2011).

Los árboles de cítricos, para disipar el estrés por calor, mostraron una apertura parcial de los estomas, para incrementar la transpiración sin sacrificar las tasas de fotosíntesis, tal como lo reportaron Long et al. (2017), al indicar que la asimilación de CO₂ de la hoja aumentó en la medida que incrementaba la conductancia estomática, mientras que la actividad de Rubisco y la concentración de clorofila a, b y total, disminuyó con el aumento de la concentración intercelular de CO₂, sin embargo, los cinco parámetros fueron similares entre *Citrus grandis* y *Citrus sinensis* en diferentes pH de suelo.

Los árboles de cítricos mostraron un mayor rendimiento fotosintético en época seca, ya que las plantas fijaron 2,9 veces más CO₂ durante el período diurno comparado con la temporada de lluvias. Mientras que, las condiciones de época lluviosa durante el período diurno fueron menos favorables para la fotosíntesis de las plantas de cítricos, al encontrar que la temperatura del aire fue menor a 29 °C, la diferencia de presión de vapor de hoja a aire menor a 2,4 kPa y la densidad de flujo de fotones presentó valores máximos cerca de la saturación de luz. Además, se observó una menor conductancia hidráulica de toda la planta, una menor hidratación del brote y una menor conductancia estomática durante el periodo lluvioso en comparación con la temporada de verano (Syvertsen, 2017).

La alta radiación en la temporada de verano no afectó la función fotoquímica de los cítricos, debido a los mecanismos fotoprotectores. Dichos mecanismos se relacionan con aumentos en la disipación de calor de energía de luz excesiva al nivel de fotosistema II (PSII) y con otros procesos metabólicos que consumen electrones, lo que impide la fotoinhibición de los cítricos en condiciones de alta luz. Estos resultados mostraron que la disminución de la fotosíntesis estuvo asociada con una disminución significativa en la actividad del PSII, resultados similares a los obtenidos en árboles de nectarina en condiciones de riego o con estrés hídrico en la región mediterránea durante verano (Osório et al., 2006) y algunas especies de hojas de cítricos, como toronja (*Citrus paradisi* Macfady) y naranja 'Pera' (*Citrus sinensis* Osbeck) (Jifon & Syvertsen, 2003).

Las menores tasas de fotosíntesis se alcanzaron en los períodos con las mayores temperaturas, baja precipitación y alta demanda evapotranspirativa, con valores promedios de $2,6-8,04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Asimismo, ocurrió en esta investigación para el período 2015, con los menores diferenciales térmicos de las plantas, debido a las mayores temperaturas del aire y déficit de presión de vapor. Comportamiento similar se observó para comparar el efecto de la nebulización en un cultivar de cítrico (Hu et al., 2009), entre ellos, la fotosíntesis disminuyó a las 9:00 h, con 9,34 en el control a $9,90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en el tratamiento con nebulización, siguió patrones similares de variaciones diurnas de conductancia estomática en hojas, con valores de 4,29 y $3,28 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-1} \text{s}^{-1}$, respectivamente a las 11:00 h, después de lo cual se observó una disminución continua en las hojas del testigo sin nebulización, lo que indica que las variaciones climáticas diarias provocaron efectos significativos en las variables asociadas al intercambio gaseoso.

El comportamiento fisiológico de los diferentes cultivares de cítricos estuvo influido por los efectos de los períodos secos y las mayores temperaturas, debido a que se observó que las tasas de fotosíntesis más altas se alcanzaron en aquellos genotipos cuyas plantas mostraron una apertura parcial de los estomas para evitar la pérdida por transpiración como parte del mecanismo fisiológico frente a condiciones por estrés abiótico.

De las cinco combinaciones de cítricos evaluadas en esta investigación, dos sobresalieron (mayores tasas de fotosíntesis), las cuales tenían en común el portainjerto Volkameriano o Cleopatra y el injerto Valencia o Dancy. Resultados similares fueron obtenidos en plantas de limón sometidas a temperaturas entre 10 y 40 °C, las cuales mostraron valores máximos de fotosíntesis con temperaturas entre 25 y 30 °C, con valores de 8,9 y $7,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, pero disminuyeron en temperaturas fuera de este rango, debido a incrementos en la fotorrespiración (Pimentel et al., 2007).

En naranjos dulces de cuarenta años Salustiana (*Citrus sinensis* L.) injertados en portainjerto de Troyer citrange (*C. sinensis* [L.] Osb. × *Poncirus trifoliata* Raf.), se observaron diferencias importantes en los valores diarios de fotosíntesis, debido a cambios en las condiciones ambientales, estas tasas fotosintéticas estuvieron relacionadas de manera negativa con las temperaturas de las hojas. También hubo una disminución significativa en la conductancia estomática y la máxima eficiencia cuántica fotoquímica del PSII, aunque las relaciones fuente-sumidero alteraron el contenido de carbohidratos en las hojas, no se observó ningún efecto de la carga de fruta en la fotosíntesis de naranja dulce Salustiana.

La fotosíntesis no es afectada por los efectos en los centros de reacción de PSII causados por temperaturas más altas de las hojas asociadas con una conductancia estomática más baja (Li et al., 2007). La disminución en el contenido de Rubisco es la causa principal de la represión de carbohidratos durante la fotosíntesis (Araya et al., 2006). El injerto Valencia sobre el portainjerto Sunki tuvo el menor intercambio gaseoso, ya que durante todos los períodos de evaluación, las plantas con esta combinación se encontraban en fase de fructificación, lo que sugiere que cuando hay un sumidero (fruta), la tasa de fotosíntesis no se verá afectada por la carga de la misma, debido a la relación con la demanda del sumidero (Nebauer et al., 2011).

La mayor tasa de fotosíntesis por consumo de carbohidratos fue tres veces mayor durante la época seca, en la fase de crecimiento vegetativo.

El injerto Dancy sobre los portainjertos Cleopatra y Volkameriano, alcanzaron los mayores valores promedios en las variables de intercambio gaseoso en las épocas en las cuales las plantas se encontraban

en fase de brotación. Las respuestas fotosintéticas obtenidas por Ribeiro et al. (2012) revelaron cómo los carbohidratos específicos pueden influir en la fotosíntesis de las hojas de cítricos en diferentes estaciones. Las correlaciones negativas entre los carbohidratos de la hoja y la capacidad fotosintética máxima no determinan qué regula la fotosíntesis en las hojas de cítricos. Tal rendimiento fotosintético en condiciones de época seca está relacionado con el crecimiento vegetativo en condiciones subtropicales, asimismo se determinó una asociación positiva entre la fotosíntesis y el consumo de fotoasimilados, lo que ocurrió en paralelo a un aumento en el crecimiento vegetativo, dado por el área total de la hoja en las plantas sin manipulación externa de la relación fuente-sumidero (Ribeiro et al., 2012).

CONCLUSIONES

El comportamiento ecofisiológico de las plantas de cítricos permitió definir a los portainjertos Cleopatra y Volkameriano y la combinación del injerto del cultivar Dancy sobre portainjerto Volkameriano como materiales adaptados a condiciones de estrés hídrico y altas temperatura, ya que bajo estas condiciones, las plantas cierran parcialmente los estomas para evitar la pérdida por transpiración, sin afectar las tasas de fotosíntesis y variables asociadas a la productividad del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT), Venezuela PEII 2143 y al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP), Plan Zamora, por la financiación de la investigación.

Se agradece a los investigadores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), los cuales participaron en el desarrollo de este artículo científico. Sin embargo, hay que hacer la salvedad que la institución no participó en la financiación de la misma.

REFERENCIAS

- Ainsworth, E. A., & Bush, D. R. (2011). Carbohydrate export from the leaf: a highly regulated process and target to enhance photosynthesis and productivity. *Plant Physiology*, 155, 64–69. <https://doi.org/10.1104/pp.110.167684>
- Anjum, M. A. (2010). Response of Cleopatra mandarin seedlings to a polyamine-biosynthesis inhibitor under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32, 951–959. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0483-0>
- Araya, T., Noguchi, K., & Terashima, I. (2006). Effects of carbohydrate accumulation on photosynthesis differ between sink and source leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *Plant and Cell Physiology*, 47(5), 644–652. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcj033>
- Aular, J., & Casares, M. (2011). Consideraciones sobre la producción de frutas en Venezuela. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(Spe.1), 187–198. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500022>
- Chica, E. J., & Albrigo, L. G. (2013). Expression of flower promoting genes in sweet orange during floral inductive water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(2), 88–94. <https://doi.org/10.21273/JASHS.138.2.88>
- Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios de Venezuela. (2020). *Estadísticas agrícolas*. Recuperado 19 febrero, 2020 de <https://fedegro.org/estadisticas-agricolas/produccion-agropecuaria/produccion/>
- De-Campos, M. K. F., De Carvalho, K., De Souza, F. S., Marur, C. J., Pereira, L. F. P., Bespalhok, J. C., & Vieira, L. G. E. (2011). Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic ‘Swingle’ citrumelo plants over

- accumulating proline. *Environmental and Experimental Botany*, 72(2), 242–250. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.03.009>
- De Mendiburu, F. (2017). *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-8*. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Di-Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, & C. W. (2016). *InfoStat versión 2016*. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- Fournier, L. A. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba*, 24(4), 422–423.
- Gonzalez, P., Syvertsen, J. P., & Etxeberria, E. (2012). Sodium distribution in salt-stressed citrus rootstock seedlings. *HortScience*, 47(10), 1504–1511. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.10.1504>
- Hu, M. J., Guo, Y. P., Shen, Y. G., Guo, D. P., & Li, D. Y. (2009). Midday depression of photosynthesis and effects of mist spray in citrus. *Annals of Applied Biology*, 154(1), 143–155. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00282.x>
- Jifon, J. L., & Syvertsen, J. P. (2003). Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. *Tree physiology*, 23(2), 119–127. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.2.119>
- Li, W. D., Duan, W., Fan, P. G., Yan, S. T., & Li, S. H. (2007). Photosynthesis in response to sink—source activity and in relation to end products and activities of metabolic enzymes in peach trees. *Tree Physiology*, 27(9), 1307–1318. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.9.1307>
- Lin, C., & Binns, M. (1988). A method for analyzing cultivar x location x year experiments: A new stability parameter. *Theoretical Applied Genetics*, 76(3), 425–430. <https://doi.org/10.1007/BF00265344>
- Long, A., Zhang, J., Yang, L. -T., Ye, X., Lai, N. -W., Tan, L. -L., Lin, D., & Chen, L. -S. (2017). Effects of low pH on photosynthesis, related physiological parameters, and nutrient profiles of citrus. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 185. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00185>
- Nebauer, S. G., Renau-Morata, B., Guardiola, J. L., & Molina, R. V. (2011). Photosynthesis down-regulation precedes carbohydrate accumulation under sink limitation in Citrus. *Tree Physiology*, 31(2), 169–177. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq103>
- Orduz-Rodríguez, J. O., Monroy, H. J., & Fischer, G. (2010). Comportamiento fenológico de la mandarina ‘Arrayana’ en el piedemonte del Meta, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 63–70. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17595#textoCompletoHTML>
- Osório, M. L., Breia, E., Rodrigues, A., Osório, J., Le Roux, X., Daudet, F. A., & Chaves, M. M. (2006). Limitations to carbon assimilation by mild drought in nectarine trees growing under field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 55(3), 235–247. <http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.11.003>
- Pimentel, C., Bernacchi, C., & Long, S. (2007). Limitations to photosynthesis at different temperatures in the leaves of Citrus limon. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(2), 141–147. <http://doi.org/10.1590/S1677-04202007000200006>
- Ribeiro, R. V., Machado, E. C., Habermann, G., Santos, M. G., & Oliveira, R. F. (2012). Seasonal effects on the relationship between photosynthesis and leaf carbohydrates in orange trees. *Functional Plant Biology*, 39(6), 471–480. <https://doi.org/10.1071/FP11277>
- Santini, J., Giannettini, J., Pailly, O., Herbette, S., Ollitrault, P., Berti, L., & Luro, F. (2013). Comparison of photosynthesis and antioxidant performance of several *Citrus* and *Fortunella* species (Rutaceae) under natural chilling stress. *Trees*, 27(1), 71–83. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0769-5>
- Santos, C. M. A., Ribeiro, R. V., Magalhães Filho, J. R., Machado, D. F. S. P., & Machado, E. C. (2011). Low substrate temperature imposes higher limitation to photosynthesis of orange plants as compared to atmospheric chilling. *Photosynthetica*, 49(4), 546–554. <https://doi.org/10.1007/s11099-011-0071-6>
- Syvertsen, J. P. (2017). Aspects of stress physiology of citrus. *Acta Horticulturae*, 1177, 51–58. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1177.5>
- Syvertsen, J. P., & Garcia-Sanchez, F. (2014). Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Environmental Experimental Botany*, 103, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.015>

Zhou, Y., Lam, H. M., & Zhang, J. (2007). Inhibition of photosynthesis and energy dissipation induced by water and high light stresses in rice. *Journal of Experimental Botany*, 58(5), 1207–1217. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl291>

NOTAS

- 1 Este trabajo formó parte de una investigación financiada por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT), Venezuela PEII 2143 y al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP), Plan Zamora.

ENLACE ALTERNATIVO

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/index> (html)