



# Efecto del portainjerto sobre el comportamiento vegetativo y productivo de la lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en condiciones de bosque seco tropical colombiano

## Effect of the Rootstock on the Vegetative and Productive Behavior of the Acid Lime Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka) under Colombian Tropical Dry Forest Conditions

Julienne Andrea Barreto-Rojas<sup>1\*</sup> <http://orcid.org/0000-0003-3308-2244>

Mauricio Fernando Martínez<sup>1\*</sup> <http://orcid.org/0000-0002-8145-1764>

Mario Augusto García Dávila<sup>2</sup> <http://orcid.org/0000-0001-8197-6344>

Liliana Ríos-Rojas<sup>1</sup> <http://orcid.org/0000-0002-6978-0434>

Javier Orlando Orduz-Rodríguez<sup>3</sup> <http://orcid.org/0000-0002-7012-4573>

<sup>1</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira. Valle del Cauca, Colombia

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Valle del Cauca, Colombia.

<sup>3</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad, Meta, Colombia.

\*Autores para correspondencia: [jbarreto@agrosavia.co](mailto:jbarreto@agrosavia.co); [mmartinez@agrosavia.co](mailto:mmartinez@agrosavia.co)

Recepción: 19 de abril de 2023

Aceptado: 12 de julio de 2023

### Resumen

**Objetivo.** Evaluar el efecto de seis portainjertos Carrizo, Cleopatra, CPB 4475, Kryder 15-3, Sunky x English y Volkameriana sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento de la lima ácida Tahití en una región de los valles interandinos en el suroccidente de Colombia. **Materiales y métodos.** Se estableció una parcela experimental en las instalaciones de la Corporación Colombiana de Investigación

### Abstract

**Objective.** Evaluate six rootstocks Carrizo, Cleopatra, CPB 4475, Kryder 15-3, Sunky x English, and Volkameriana on the vegetative growth and yield of the Tahiti lime in a region of inter-Andean valleys in southwestern Colombia. **Material and methods.** Under the experimental design of randomized complete blocks, an experimental plot was established in the Colombian Agricultural Research Corpo-

Agropecuaria AGROSAVIA Palmira, bajo el diseño experimental de bloques completos al azar. El comportamiento vegetativo se evaluó anualmente durante nueve años (2010-2018) a través de la medición de las variables altura de planta (m), diámetro de copa (m) y diámetro del tallo (mm). La producción del cultivo se evaluó a partir del cuarto año después del establecimiento, contabilizando el número de frutos y el peso total de frutos por árbol. **Resultados.** Los resultados demuestran una influencia de los portainjertos sobre las variables de crecimiento vegetativo y el rendimiento evaluados. Volkameriana y Kryder 15-3 indujeron el mayor desarrollo para las variables altura y volumen de copa y el mejor índice de compatibilidad de la unión portainjerto-variedad se presentó con el portainjerto Carrizo. Los árboles injertados sobre CPB 4475 y Kryder 15-3, produjeron los mayores rendimientos acumulados. Sunky x English se destacó dentro del grupo de portainjertos evaluados, por inducir arboles de porte bajo, con alta eficiencia productiva. **Conclusión.** La interacción entre la lima ácida Tahití y los portainjertos presentaron un efecto significativo sobre el desarrollo vegetativo y el comportamiento productivo del cultivo en esta región del país. Sunky x English destacó, dentro del grupo de portainjertos evaluados, por generar arboles de porte bajo, con alta eficiencia productiva y requerimientos acordes con la citricultura moderna.

### Palabras clave

Cítricos, patrón, desarrollo, compatibilidad.

ration AGROSAVIA Palmira facilities. The vegetative behavior was evaluated annually for ten years (2010-2018) through the evaluation of plant height (m), crown diameter (m), and stem diameter variables (mm). Crop production was measured from the fourth year after establishment, counting the number of fruits and the weight per tree. **Results.** Our results demonstrate an influence of the rootstock on the evaluated vegetative growth and yield variables. Volkameriana and Kryder 15-3 induced greater development for the height and crown volume variables, the best compatibility index of the rootstock-variety union was presented with the Carrizo rootstock. Trees grafted onto CPB 4475 and Kryder 15-3 produced the highest cumulative yields. Sunky x English stood out within the group of rootstocks evaluated, for generating short trees, with high production efficiency. **Conclusion.** The interaction between the Tahiti acid lime and the rootstock significantly affected the crop's vegetative development and productive behavior in this region of the country. Sunky x English stood out, within the group of rootstocks evaluated, for generating low-sized trees, with high productive efficiency, requirements in line with modern citrus farming.

### Keywords

Citrus, pattern, development, compatibility.

## Introducción

Los cítricos son considerados como uno de los cultivos de mayor aceptación y demanda en el mundo. En el año 2020, según los datos de estadística agropecuaria, la producción de este grupo frutal superó los 134 millones de toneladas, establecidas en nueve millones de hectáreas (FAOSTAT, 2022a). La lima ácida Tahití o lima Persa (*Citrus x latifolia* Tanaka), reconocida por generar frutos grandes (>50 mm), partenocarpicos y de aroma intenso (García-Muñoz *et al.*, 2021), hacen parte de las variedades de cítricos de mayor comercialización a nivel mundial, destinado principalmente para el consumo en fresco.

Países como Argentina, Brasil, China, India y México se destacan como las principales regiones productoras (FAOSTAT, 2022b).

La propagación de cítricos comercialmente se realiza de forma asexual, a través de la injertación de una yema en un portainjerto, mismos que proporcionan un mecanismo a través del cual se confiere a la copa características que permiten mayor adaptación o tolerancia a condiciones bióticas o abióticas limitantes, considerándose una estrategia valiosa para el establecimiento de nuevas plantaciones, frente a los escenarios climáticos cambiantes (Albacete *et al.*, 2015).

En lima ácida Tahití (LAT), el efecto del portainjerto es estudiado por diversos autores, en su mayoría concluyeron que el portainjerto influye sobre características de interés agronómico, como tamaño del árbol, sanidad, rendimiento y calidad del fruto, entre otros; sin embargo, al comparar los resultados obtenidos en el desarrollo de la lima ácida Tahití en diferentes localidades, se observan variaciones en los resultados que pueden estar asociadas a las características edafoclimáticas de cada sitio de evaluación. Por ejemplo, Milla *et al.* (2009), luego de dos años de establecimiento en las condiciones de Palavecino, Venezuela, reportaron un efecto del portainjerto sobre el crecimiento de la lima ácida Tahití, sus resultados, al evaluar un grupo de cuatro portainjertos, indicaron que Volkameriana indujo una mayor altura (4.13 m) y un diámetro y volumen de copa superior (6.61 m y 68.9 m<sup>3</sup>, respectivamente), mientras que Swingle y Cleopatra indujeron los menores crecimientos para las variables mencionadas. En contraste, un estudio realizado por Piña-Dumoulin *et al.* (2006), en el estado de Maracay, Venezuela, luego de tres años de establecimiento, reportaron, al evaluar el crecimiento de lima ácida Tahití, que los árboles establecidos en el portainjerto Volkameriana alcanzaron una altura máxima de 2.91 m, y crecimientos inferiores para las variables diámetro (2.85 m) y volumen de copa (13.79 m<sup>3</sup>); por otro lado, Román-Pérez *et al.* (2017), no reportaron diferencias significativas en parámetros de crecimiento vegetativo, al evaluar el desarrollo de la lima ácida Tahití en cinco portainjertos en la zona costera del noroeste y la zona central de Puerto Rico.

A su vez, Curti-Díaz *et al.* (2012), en un estudio realizado en Veracruz, México, obtuvo resultados contrastantes al reportar mayor crecimiento de lima ácida Tahití (altura), en el portainjerto Swingle, que los obtenidos en Volkameriana, demostrando el impacto de las condiciones de establecimiento sobre la influencia del portainjerto en el desarrollo de la copa, lo cual permite determinar la importancia del establecimiento de programas de investigación de portainjertos para para cada región productora.

Colombia se considera un país emergente como productor de variedades de cítricos de creciente interés para el mercado internacional, como la lima ácida Tahití (Barry *et al.*, 2020). Alcanzar una mayor participación en el mercado internacional requiere de la producción de un volumen de fruta constante y un producto que satisfaga las exigencias en los parámetros de calidad que presentan los mercados internacionales. La evaluación de portainjertos promisorios representa una oportunidad para optimizar el sistema de producción de cítricos, a través de la consolidación de regiones especializadas en la producción de variedades de gran acogida en el mercado internacional. Al tener en cuenta lo anterior y en la búsqueda de optimizar el sistema de producción de la lima ácida Tahití, este trabajo

tiene como objetivo evaluar el efecto de seis portainjertos sobre el desarrollo vegetativo y productivo de lima ácida Tahití *Citrus × latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez en un ambiente de bosque seco tropical ubicado en el municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

La parcela experimental se estableció durante el segundo semestre del año 2009 en la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, ubicado en Palmira, Valle del Cauca, Colombia, (03°30'43,6" latitud N, 76°18'53,5" longitud O), a una altura de 1 001 msnm, temperatura media anual de 25 °C, precipitación media anual de 1 182 mm y humedad relativa media de 75.35%. El suelo de la parcela presenta una textura predominante arcillo-limoso, con una capacidad de retención de humedad de 35.00%, pH 6.63 y conductividad eléctrica dS/m 0.32, sin restricción por salinidad para el establecimiento de LAT.

### Material vegetal y manejo agronómico

El huerto experimental fue sembrado utilizando árboles de un año, establecidos con una distancia de siembra de 7.0 m entre surco y 6.0 m entre plantas. Los portainjertos utilizados fueron Citrange Carrizo (*C. sinensis* x *P. trifoliata* (L.)), Citrumelo CPB 4475 (*C. paradisi* Macf. x *P. trifoliata* (L.) Raf.), Kryder 15-3 (*Poncirus trifoliata* L Raf), limón Volkameriana (*C. volkameriana* Tan. y Pasq.), mandarina Cleopatra (*C. reshni* Hort. Ex. Tn.) y Sunky x English (*Citrus sunki* Hort. ex Tan. x *Poncirus trifoliata* (L.)).

El plan de fertilización se definió con base en los resultados de los análisis del suelo y se ajustó año a año de acuerdo con los requerimientos del cultivo, teniendo en cuenta las recomendaciones de fertilización para lima ácida Tahití para la región (Dorado *et al.*, 2015; Murcia *et al.*, 2020). El método de fertilización fue edáfico, incorporando cada cuatro meses las dosis requeridas al suelo en el área bajo la copa y se complementó con una aplicación foliar trimestral de macronutrientes, relacionado con un incremento en la producción del cultivo (Alayón *et al.*, 2014).

En la parcela se utilizó un sistema de riego localizado de alta frecuencia con dos microaspersores de 40 L/h/árbol, en época de baja precipitación se aplicó el riego tres días a la semana, con una descarga por riego de 80 L/árbol en etapa productiva. En época de lluvia, la frecuencia de riego se redujo y sólo se utilizó cuando la precipitación acumulada por día eran menores a los requerimientos del cultivo. La aplicación de riego se realizó durante toda la fase experimental, teniendo en cuenta el balance hídrico. El control de malezas se realizó cada dos meses de forma mecanizada y fue complementado con aplicaciones de glufosinato de amonio, en el área del plato, durante toda la fase experimental. Durante el tiempo del experimento y de acuerdo con el estado de desarrollo del cultivo se realizaron labores de podas de formación, mantenimiento y sanidad, así como de control de plagas y enfermedades. El manejo agronómico fue homogéneo para todos los tratamientos.

### Parámetros de crecimiento vegetativo

Las variables de crecimiento vegetativo, altura de planta (AP en m), diámetro de la copa (DC en m), diámetro del tronco del injerto (DT<sub>i</sub> en mm) y diámetro del tronco del portainjerto (DT<sub>p</sub> en mm), evaluadas respectivamente 10 cm por encima y 10 cm por debajo del sitio de injertación, fueron evaluadas de forma anual, durante ocho años consecutivos, en el periodo transcurrido entre marzo de 2010 y abril de 2018, teniendo en cuentas las recomendaciones de (Teodoro *et al.*, 2020). Con los datos de DT<sub>i</sub> y DT<sub>p</sub>, se determinó el índice de compatibilidad (IC), a través del cociente resultante de DT<sub>p</sub>/DT<sub>i</sub>. El volumen de copa (VC en m<sup>3</sup>), se calculó utilizando la fórmula propuesta por Turrell (1946) descrita en la ecuación (1):

$$VC = 0.5236 * H * DC^2 \quad (1)$$

Donde:

VC = Volumen de la copa (m<sup>3</sup>)

0.5236 es una constante

H = Altura de la planta sin tener en cuenta la distancia entre el suelo y las ramas bajas (m)

DC<sup>2</sup> = Diámetro de la copa al cuadrado (m<sup>2</sup>).

### Análisis de crecimiento

El incremento medio anual de la altura de la planta (IMAH) se calculó utilizando la ecuación 2, de acuerdo con Imaña y Encinas (2008):

$$IMAH = \frac{Y_t}{t_0} \quad (2)$$

Donde:

IMAH = Incremento medio anual de la altura de la planta

Y<sub>t</sub> = altura de planta

t<sub>0</sub> = edad a partir del tiempo cero.

La tasa de crecimiento relativo (TCR) con base al volumen de copa se calculó siguiendo el enfoque clásico descrito por Benedetto y Tognetti (2016) como se observa en la ecuación (3):

$$TCR = \frac{\ln VC_2 - \ln VC_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

Donde:

TCR = Tasa de crecimiento relativa

VC<sub>2</sub> y VC<sub>1</sub> = Masa seca final e inicial de la plántula, respectivamente

t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub> = Tiempo de crecimiento transcurrido.

Con la información obtenida de las evaluaciones de crecimiento, se graficó el comportamiento de la variable volumen de copa, respecto al tiempo después de establecimiento y se determinaron los modelos de análisis funcional. Las curvas de crecimiento y los modelos de crecimiento fueron determinados mediante análisis funcional, utilizando como parámetro de elección el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) cercano a la unidad.

### *Producción y rendimiento*

El efecto de los portainjertos sobre la producción de lima ácida Tahití se evaluó durante cinco años consecutivos, en el periodo transcurrido entre enero de 2013 y abril de 2018. La cosecha se realizó de forma manual, teniendo en cuenta el color externo de la fruta al momento de la cosecha, este es el principal indicador de madurez de la lima ácida Tahití según la norma técnica colombiana (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec), 2021). Para los registros de producción se contabilizaron el número de frutos cosechados por árbol y el peso, teniendo en cuenta el diseño experimental. La producción acumulada de cada portainjerto se determinó sumando el peso de fruta cosechada durante las evaluaciones.

La eficiencia productiva ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) para cada portainjerto, se determinó como el cociente entre el peso de la fruta por árbol y el volumen de copa efectiva (Curti-Díaz *et al.*, 2012).

Para estimar las relaciones existentes entre el comportamiento productivo y las variables vegetativas evaluadas (AP, DT<sub>p</sub>, DT<sub>i</sub>, DC y IC) y establecer el grado de asociación lineal entre las variables, se realizó un análisis de correlación de Pearson (Franco y Hidalgo, 2003) y se propusieron modelos predictivos de la eficiencia productiva para cada portainjerto a través del análisis de regresión lineal múltiple (Baños *et al.*, 2019).

### *Análisis estadístico*

El experimento se estableció mediante un diseño bloques completos al azar (BCA), con cuatro repeticiones y seis tratamientos (portainjertos): Carrizo, Cleopatra, CPB 4475, Kryder 15-3, Sunky x English y Volkameriana. La unidad experimental por tratamiento fueron seis árboles. Todos los datos registrados fueron analizados estadísticamente a través del análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba de separación de medias que se realizó, utilizando la prueba de Duncan a una “probabilidad de error del 5%” (Mendoza y Bautista, 2002). Para el modelo de regresión, se tuvieron en cuenta aquellas variables que presentaron una correlación significativa con la producción. Los resultados fueron validados con la técnica de selección de variables “paso a paso”, la cual agrupa las variables independientes que mejor explican la producción, sin que ninguna de ellas presente colinealidad (Rodríguez, 2001) y el método de regresión Forward, a través del cual se seleccionan las variables que cumplen con el criterio de entrada (Acuña *et al.*, 2012), permitiendo establecer las ecuaciones para cada portainjerto. Todos los datos se analizaron utilizando el programa Statistical Analysis System SAS, Enterprise Guide versión 8.3 (2020).

## Resultados

### Parámetros de crecimiento vegetativo

Los portainjertos y el tiempo de establecimiento de la parcela ejercieron un efecto significativo sobre las variables de crecimiento evaluadas ( $p \leq 0.05$ ). La AP, el VC el IC de la lima ácida Tahití, presentaron diferencias significativas atribuibles al uso del portainjerto durante el periodo evaluado (2010-2018). La altura de la lima Tahití, nueve años después de establecimiento (2018), presentó crecimientos superiores a los 4 m en los portainjertos Volkameriana, Kryder 15-3 y Citrumello CPB 4475, mientras que Sunky x English tuvo un efecto enanizante, generando árboles con una altura menor a 2 m para las condiciones evaluadas (cuadro 1).

Cuadro 1

Altura de la lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.) injertada sobre seis portainjertos en el periodo 2010-2018

Portainjertos	Altura de la planta (m)							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018
Volkameriana	1.46cd	1.71 a	1.98 a	3.23 a	3.51 a	3.62 a	4.65 a	4.5 a
Sunky x English	1.45 d	1.65 d	1.74 b	2.44 d	2.34c	2.29 d	2.13 c	1.84 b
Carrizo	1.50 bc	1.66 bc	1.89 a	2.86 bc	3.56 a	3.55 ab	4.39 ab	3.95 a
CPB 4475	1.53 b	1.67 b	1.86 a	2.68 c	3.42 a	3.34abc	4.10 b	4.21 a
Kryder 15-3	1.54 a	1.64 d	1.92 a	3.08 ab	3.24 ab	3.25 bc	4.50 b	4.38 a
Cleopatra	1.49 bc	1.67 b	1.96 a	2.79 c	2.94 a	3.04 a	4.05 b	3.83 a
CV%	4.52	10.79	10.26	14.57	8.31	17.66	22.38	23.87
Pr>F	<0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

Medias seguidas de igual letra en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

En cuando a VC, los árboles injertados sobre los portainjertos Volkameriana y Kryder 15-3, presentaron un desarrollo similar en un rango entre 85.05 y 88.66 m<sup>3</sup>, supera estadísticamente a Sunky x English, el cual mantuvo la tendencia de ser el portainjerto con menor desarrollo. El volumen de copa de la lima ácida Tahití, injertada sobre este portainjerto, nueve años después de establecimiento, fue de 13.43 m<sup>3</sup> (cuadro 2).

El índice de compatibilidad presentó variaciones en los cocientes obtenidos para cada portainjerto durante el periodo de evaluación; sin embargo, nueve años después de establecimiento, el IC de la lima ácida Tahití, sobre los portainjertos evaluados, no presentó variaciones estadísticas significativas atribuibles al uso del portainjerto con resultados que fluctuaron entre 1.01 y 1.04 (cuadro 3).

Cuadro 2

Volumen de copa de la lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.) sobre seis portainjertos en el periodo 2010-2018

Portainjertos	Volumen de copa (m <sup>3</sup> )							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018
Volkameriana	0.33ab	0.94a	2.47a	16.27a	31.82ab	43.79 a	85.83 a	88.66a
Sunky x English	0.30b	0.77b	1.94b	7.58c	11.97d	12.78 c	13.21 c	13.43 c
Carrizo	0.35a	0.79b	2.32a	11.98 b	38.03 a	46.16 a	87.7 ab	64.49 ab
CPB 4475	0.31b	0.84b	2.21ab	13.72 ab	30.47 b	39.28 a	69.43 b	67.68 ab
Kryder 15-3	0.33b	0.81b	2.19ab	13.36 ab	32.81ab	37.58 a	93.74 a	85.05 a
Cleopatra	0.32b	0.79b	2.21ab	11.09 b	22.02 c	29.28 b	67.30 b	67.00 ab
CV%	5.42	7.25	10.25	6.32	15.2	4.85	3.25	4.21
Pr>F	<.0001	<.0001	0.0038	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Medias seguidas de igual letra en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 3

Índice de compatibilidad de la lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.) sobre seis portainjertos en el periodo 2010-2018

Portainjertos	Índice de compatibilidad							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018
Volkameriana	1.13a	1.17a	1.03ab	1.06ab	1.09b	1.10cd	1.02abc	1.03a
Sunky x English	1.16a	1.11b	0.99ab	0.96c	0.99c	1.05d	1.04abc	1.03a
Carrizo	1.20a	1.08b	1.00ab	1.02bc	0.98a	1.16bc	1.00cb	1.01a
CPB 4475	1.22a	1.12b	1.06a	1.11a	1.31a	1.31a	1.07a	1.04a
Kryder 15-3	1.15a	1.11b	1.01ab	1.08ab	1.14b	1.23b	0.97c	1.01a
Cleopatra	1.15a	1.11b	0.93b	0.96c	1.09b	1.12cd	1.04ab	1.02a
CV%	6.58	3.247	13.04	2.62	19.79	3.76	2.78	2.51
Pr>F	<.0001	0.0583	0.439	<.0001	0.656	<.0001	0.0229	0.5121

Medias seguidas de la misma letra en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

*Análisis de crecimiento*

Los resultados del análisis de crecimiento de la lima ácida Tahití, presentaron diferencias estadísticas significativas para los portainjertos evaluados ( $p \leq 0.05$ ). En cuanto al incremento medio anual, determinado con base en la altura de la planta (IMAH); en el primer año de establecimiento, el portainjerto Kryder 15-3 (1.54 m), presentó el mayor incremento, difiriendo estadísticamente de Cleopatra (1.49 m), Volkameriana (1.46 m) y Sunky x English (1.43 m). Nueve años después de establecimiento, los incrementos en la lima ácida injertada sobre Volkameriana, Kryder 15-3, Carrizo, CPB 4475 y Cleopatra, no presentan diferencias

estadísticas significativas entre ellos, difiriendo únicamente con el portainjerto Sunky x English, el cual presentó el menor IMAH durante todo el experimento (cuadro 4), lo cual confirma el efecto enanizante de este portainjerto sobre la lima ácida Tahití, para las condiciones evaluadas.

Cuadro 4

Desarrollo vegetativo de la lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.) sobre seis portainjertos en el periodo 2010-2018

Portainjerto	Incremento medio anual (m)								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Volkameriana	1.46cd	1.06a	0.66a	0.81a	0.70a	0.60a	0.51a	0.58a	0.50ab
Sunky x English	1.43d	0.89d	0.58b	0.60d	0.46c	0.38d	0.32b	0.26c	0.20c
Carrizo	1.50abc	1.01b	0.63a	0.71cb	0.71a	0.59ab	0.50a	0.55ab	0.44ab
CPB 4475	1.53ab	0.99b	0.62a	0.67c	0.68a	0.55abc	0.48a	0.51ab	0.42b
Kryder 15 -3	1.54a	0.92cd	0.64a	0.77ab	0.64ab	0.54bc	0.50a	0.56ab	0.50ab
Cleopatra	1.49bc	0.95c	0.65a	0.70c	0.58b	0.50c	0.47a	0.50b	0.46ab
X	1.49	0.97	0.63	0.71	0.63	0.53	0.46	0.49	0.42
CV%	4.52	7.10	10.32	14.46	23.31	17.71	17.57	22.41	24.90
Pr>F	<.0001	<.0001	0.0007	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Medias seguidas de la misma letra en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

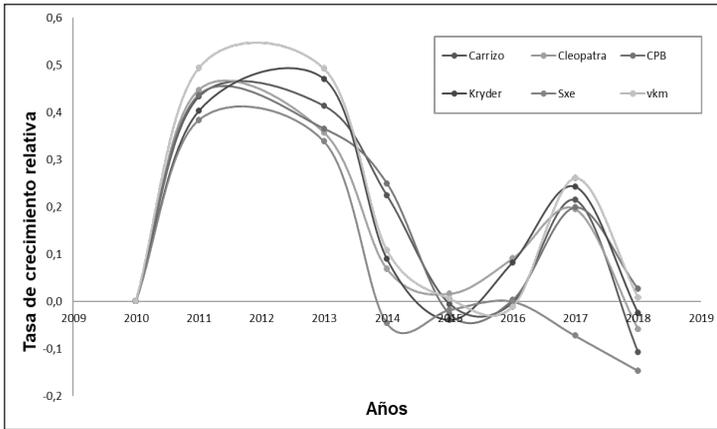
La tasa relativa de crecimiento de la lima ácida Tahití, presentó un comportamiento oscilatorio, alcanzado picos de incremento de biomasa en los primeros cuatro años de establecimiento, lo cuales fueron disminuyendo una vez que se estabilizó la producción (2013), hasta alcanzar valores cercanos a cero, luego de nueve años de establecimiento. Todos los portainjertos evaluados se adaptaron al patrón de crecimiento descrito, es decir, mayores crecimientos al inicio del cultivo, con una disminución en los incrementos a partir del cuarto año de establecimiento (figura 1).

Las funciones representativas del crecimiento del volumen de copa de lima ácida Tahití, injertada en seis portainjertos y obtenidas utilizando el modelo lineal, se presentan en el cuadro 5. Los resultados indican que el desarrollo del volumen de copa de la lima Tahití se ve influenciado por el portainjerto, ya que para cada tratamiento (portainjerto) se obtuvieron funciones específicas.

El comportamiento de la variable volumen de copa presentó un incremento gradual a través del tiempo y obtuvo su máximo desarrollo luego de ocho años de establecimiento. En la figura 2 se observa que, para todos los portainjertos se presentan tres fases de crecimiento. La primera tuvo una duración de tres años (2010-2012), caracterizada por una baja velocidad de crecimiento, la segunda fase (2013-2017) presentó un crecimiento lineal acelerado, durante este periodo el desarrollo del volumen de copa mostró un incremento uniforme durante seis años y, finalmente, una fase de establecimiento donde la tasa de crecimiento disminuyó hasta que los valores obtenidos para esta variable se estabilizaron.

Figura 1

Tasa de crecimiento relativo del cultivo de la lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.) sobre seis portainjertos en el periodo 2010-2018



Sxe = Sunky x English  
vkm = Volkameriana

Cuadro 5

Modelo lineal para el crecimiento de volumen de copa (m<sup>3</sup>) de la lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.) sobre seis portainjertos en el periodo 2010-2018

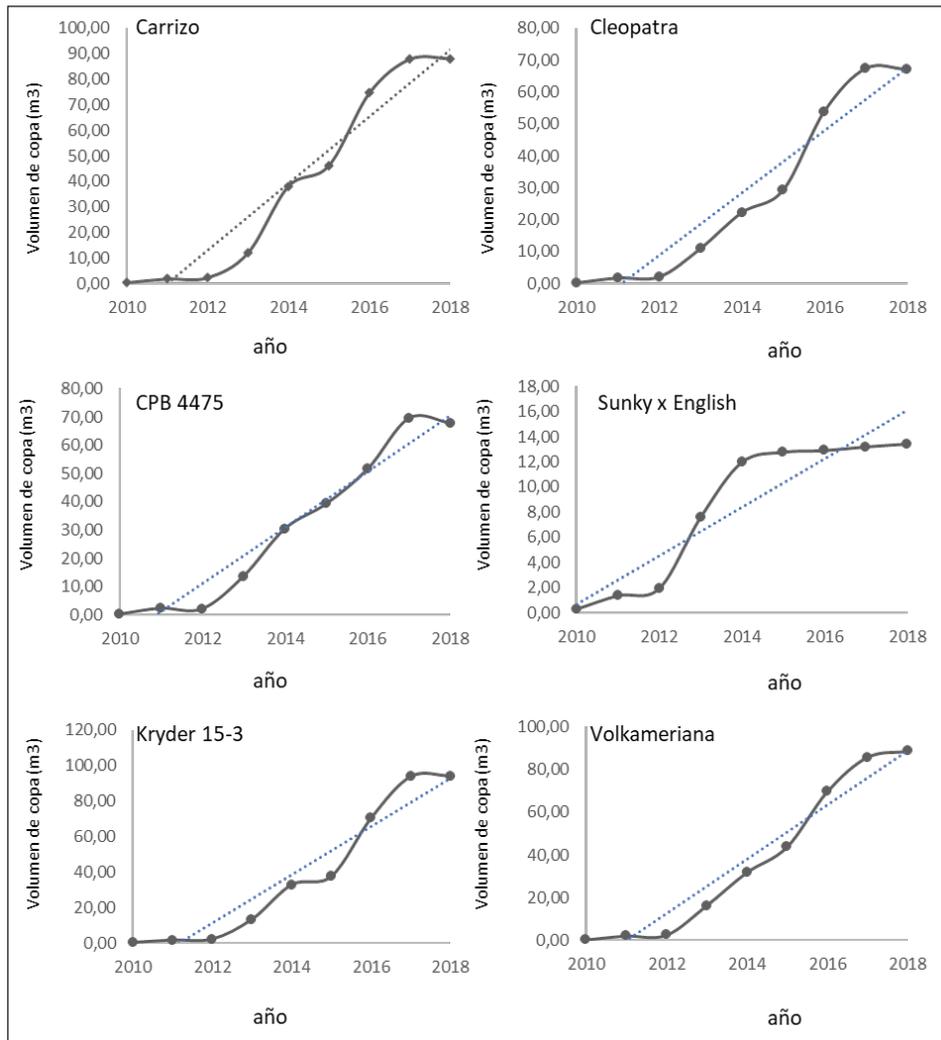
Portainjerto	R <sup>2</sup>	Modelo
Carrizo	0.93	$y = 13.114x - 26373$
Cleopatra	0.92	$y = 9.743x - 19594$
CPB 4475	0.95	$y = 9.9116x - 19931$
Kryder 15-3	0.91	$y = 13.53x - 27210$
Sunky x English	0.85	$y = 1.9183x - 3855.1$
Volkameriana	0.94	$y = 12.773x - 25686$

Al analizar independientemente cada tratamiento, se evidencia en general que todos siguieron el patrón de crecimiento descrito. Sin embargo, se observieron algunas diferencias en la duración de las fases; por ejemplo, la segunda fase, relacionada con el crecimiento lineal acelerado para los portainjertos Carrizo, Cleopatra, CPB 4475, Kryder 15-3 y Volkameriana, tuvo una duración de seis años (2013-2017), mientras que el portainjerto Sunky x English sólo presentó este crecimiento lineal durante tres años (2013-2015).

Las variaciones en la duración de las fases también se presentan en la fase de desaceleración del crecimiento, en Sunky x English, inició luego del quinto año de establecimiento, mientras que para los demás portainjertos se dio a partir del octavo año (2017). Las curvas de desarrollo obtenidas indican que los portainjertos Kryder 15-3, Volkameriana y Carrizo, indujeron mayores crecimientos en el volumen de copa, mientras

que Sunky x English indujo los menores valores de crecimiento para esta variable en la lima Tahití (figura 2).

Figura 2  
Curvas de crecimiento de la lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.) sobre seis portainjertos periodo 2010-2018



### Producción y rendimiento

El análisis de varianza indica que los portainjertos y la edad del cultivo ejercieron un efecto significativo sobre las variables de rendimiento evaluadas.

Los resultados durante el primer seguimiento (2013), muestran que los árboles injertados sobre el portainjerto Carrizo, presentaron mayor rendimiento, superando

estadísticamente a los demás portainjertos evaluados (cuadro 6), lo cual podría ser un indicador de precocidad para este portainjerto. Este comportamiento superior del portainjerto Carrizo, se mantuvo hasta el séptimo año después de evaluación (2016); sin embargo, para este periodo sólo presentó diferencias significativas con el portainjerto Sunky x English. Al finalizar la evaluación (2018) los árboles injertados sobre CPB 4475 (174.2 kg/planta), seguido de Kryder 15-3 (168.42 kg/planta) y Cleopatra (135.5 kg/planta), presentaron los mayores rendimientos, mientras que la lima ácida Tahití, injertada en Sunky x English, obtuvo el menor rendimiento 41.5 kg/planta

Respecto a los rendimientos acumulados por planta después de seis años de evaluación (2013-2018), los portainjertos Carrizo, CPB 4475 y Kryder 15-3 se destacan con producciones acumuladas que superaron los 650 kg/planta; sin embargo, la eficiencia productiva de los árboles injertados sobre Sunky x English fue superior (6 kg/m<sup>3</sup>); a comparación de la eficiencia obtenida con los demás portainjertos que osciló entre 3.1 y 4.26 kg/m<sup>3</sup> (cuadro 6).

Cuadro 6

Comportamiento productivo de lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.) sobre seis portainjertos en el periodo 2010-2018

Portainjerto	Producción (kg/planta)						Producción acumulada (2013-2018) (kg/planta)	Eficiencia g/m <sup>3</sup>
	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Volkameriana	21.87b	84.4a	135.8a	122.2a	111.2b	94.3b	575.77	3.107
Sunky x E.	13.1b	58.7b	81.2b	67.4b	55.31c	41.5c	314.61	6.237
Carrizo	29.85a	86.8a	163.4a	142.0a	132.22ab	104.7b	656.93	3.642
CPB 4475	12.4b	71.1ab	132.5a	134.1a	162.05a	174.2a	686.53	3.983
Kryder 15 -3	22.0b	81.6a	148.9a	141.0a	140.23ab	168.42a	695.09	3.687
Cleopatra	21.3b	72.1ab	166.3a	119.0a	125.01ab	135.5ab	592.27	4.265
CV%	43.64	44.38	49.63	53.34	49.99	38.98	—	—
Pr>F	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	—	—

PA= producción acumulada. E= eficiencia. Medias seguidas de la misma letra en la misma columna no presentan diferencias estadísticas significativas.

Al analizar el grado de asociación lineal entre las variables de crecimiento vegetativo y el componente de producción calculada con los datos obtenidos después de la estabilización del cultivo (2016-2018), se determinó que la producción presentó una correlación positiva fuerte ( $p > 0.01$ ) con las variables número de fruto, altura de planta y diámetro de copa (cuadro 7).

En cuanto a las funciones de variables determinantes de la eficiencia, las ecuaciones obtenidas a través del modelo de regresión lineal presentan coeficientes de correlación altos y significativos ( $p \leq 0.01$ ), lo cual indica que, de acuerdo con los valores de estos parámetros estadísticos, sería posible predecir la eficiencia de la lima ácida Tahití bajo las

condiciones evaluadas. En el cuadro 8 se presenta las ecuaciones de regresión generadas para cada portainjerto y su correspondiente coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

### Cuadro 7

Matriz de correlaciones entre las variables de producción y el crecimiento vegetativo, evaluadas durante el periodo 2016-2018

	Producción	Numero de fruto	Altura planta	Diámetro portainjerto	Diámetro injerto	Diámetro copa	Índice compatibilidad
Producción	1.00	<b>0.94</b>	<b>0.53</b>	<b>0.38</b>	<b>0.38</b>	<b>0.57</b>	-0.008 n.s.
Numero de fruto		1.00	<b>0.45</b>	<b>0.36</b>	<b>0.33</b>	<b>0.57</b>	0.027 n.s.
Altura planta			1.00	<b>0.52</b>	<b>0.47</b>	<b>0.69</b>	-0.05 n.s.
Diámetro portainjerto				1.00	<b>0.52</b>	<b>0.44</b>	0.099 n.s.
Diámetro injerto					1.000	<b>0.34</b>	<b>-0.22</b>
Diámetro copa						1.00	<b>0.064</b>
Índice compatibilidad							1.00

Los coeficientes de correlación altamente significativos se muestran en negrita (Pearson  $p < 0.01$ ). n.s.= correlación no significativa.

### Cuadro 8

Funciones de variables determinantes de eficiencia de la lima ácida Tahití (*Citrus x latifolia* Tan.), coeficientes de correlación sobre seis portainjertos en las condiciones de Palmira, Valle del Cauca

Portainjerto	Modelo de regresión lineal múltiple	$R^2$	Pr > F (modelo)
Carrizo	$y = 6.32 + 0.0009 \text{ NF} - 0.30 \text{ AP} - 0.72 \text{ DC}$	0.61	<.0001
Cleopatra	$y = 6.96 + 0.01 \text{ PN} - 1.15 \text{ DC}$	0.57	<.0001
CPB 4475	$y = 13.2 + 0.01 \text{ PN} + 0.7 \text{ AP} - 1.66 \text{ DC}$	0.72	<.0001
Kryder 15-3	$y = 9.35 + 0.001 \text{ NF} - 0.94 \text{ AP} - 0.8 \text{ DC}$	0.45	<.0001
Sunky x E.	$y = 12.13 + 0.04 \text{ PN} - 2.19 \text{ DC}$	0.50	<.0001
Volkameriana	$y = 4.82 \text{ AP} + 0.01 \text{ PN} - 0.32 \text{ AP} - 0.53 \text{ DC}$	0.66	<.0001

Las variables incluidas en los modelos de regresión varían para cada portainjerto. Sin embargo, el número de fruto (NF), la producción (PN), el diámetro de copa (DC) y la altura de planta (AP) fueron las variables que más influyeron sobre la eficiencia de la lima ácida Tahití. Al analizar los modelos predictivos, se observa que a medida aumenta la PN y disminuye el DC, se induce un incremento en el promedio de la eficiencia productiva para lima ácida Tahití, indicando que una disminución en el diámetro de copa está relacionada con un aumento en la eficiencia en los árboles.

## Discusión

La elección del portainjerto en función de su influencia sobre características del cultivo como desarrollo vegetativo, adaptación a factores bióticos o abióticos limitantes o el efecto sobre la calidad de la fruta, puede determinar el éxito o fracaso de un cultivo de cítricos (Bowman y Joubert, 2020; Carvalho *et al.*, 2021; Ferrer *et al.*, 2022; Garcia-Muñoz *et al.*, 2021).

Los resultados de este estudio concuerdan con hallazgos reportados previamente, acerca del efecto del portainjerto sobre las características de desarrollo vegetativo y la producción de lima ácida Tahití en regiones tropicales y subtropicales importantes para la producción como Brasil (Figueredo *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2016; Stenzel y Neves, 2004), Colombia (Chaparro-Zambrano *et al.*, 2013; Garcia-Muñoz *et al.*, 2021; López y Cardona, 2007), México (Curti-Díaz *et al.*, 2012; Gaona-Ponce *et al.*, 2018) y Venezuela (Piña-Dumoulin *et al.*, 2006). Sin embargo, al analizar el efecto de portainjerto en el crecimiento de la lima ácida Tahití se encontraron variaciones, que pueden ser asociadas al efecto de las características edafoclimáticas de cada localidad; por ejemplo, Curti-Díaz *et al.* (2012), determinaron en la localidad de Veracruz, México, caracterizada según Holdridge como selva húmeda subtropical (Equihua *et al.*, 2020), que la lima ácida Tahití injertada sobre los portainjertos Volkameriana, Carrizo y Swingle (CPB 4475) obtuvo una altura promedio de 2.85 m después de 11 años de establecimiento, mientras que la altura promedio, obtenida en las condiciones evaluadas en este experimento en la localidad de Palmira (Colombia) para los tres portainjertos mencionados, supera los 3.80 m. Este mismo comportamiento se evidenció para la variable volumen de copa, el mismo estudio reporta crecimientos de 123.83 m<sup>3</sup> para la LAT injertada en Volkameriana Catania 2 (Volkameriana), 70.09 m<sup>3</sup> con Citrumelo Swingle (CPB 4475), 62.15 m<sup>3</sup> con Tangerina Cleopatra (Cleopatra) y 55.29 m<sup>3</sup> con Tangerina Sunki (Sunky x English), superando los resultados obtenidos en este estudio para los portainjertos Volkameriana (88.66 m<sup>3</sup>) y Sunky x English (13.43 m<sup>3</sup>); mientras que CPB 4475 y Cleopatra en Palmira, generaron mayor volumen de copa con crecimientos de 67.0 m<sup>3</sup> y 62.12 m<sup>3</sup>, respectivamente.

Adicionalmente en algunas localidades se reportó la incompatibilidad entre la lima ácida Tahití y la mandarina Cleopatra (López y Cardona, 2007; Stenzel y Neves, 2004), característica que no fue evidenciada en los resultados de este estudio, ya que la tasa de mortalidad de las plantas injertadas en este portainjerto fue inferior a 5% y todos los árboles fueron productivos. Estas diferencias confirman la importancia de la evaluación de los portainjertos para cada zona productora, ya que la diversidad de microclimas, producto de las variadas condiciones fisiográficas, influyen en el desarrollo vegetativo y productivo de los cítricos (Ordúz-Rodríguez y Mateus, 2012).

Para explicar el efecto del portainjerto sobre el desarrollo vegetativo, estudios realizados en especies frutales como aguacate, cítricos, duraznos y manzanos, indican que el crecimiento de las plantas está relacionado con la cantidad y el tamaño de los vasos del xilema en el tallo, a mayor tamaño de los vasos conductores de la raíz o del tallo del portainjerto, ocurre un

mayor crecimiento del árbol; mientras que, cuando los vasos tiene menor tamaño, es menor el crecimiento de la planta (Bauerle *et al.*, 2011; Fassio *et al.*, 2009; Martínez-Alcántara *et al.*, 2013; Rodríguez, 2012). En cítricos Forner-Giner *et al.* (2014) evaluaron el crecimiento de la naranja Navelina Navel sobre dos portainjertos enanizantes y el portainjerto Citrange Carrizo, reconocido por inducir gran vigor en arboles de naranja. Estos autores asociaron el efecto enanizante del portainjerto con una disminución en la conductancia hidráulica, ocasionada por menor desarrollo en el tamaño de los vasos del xilema, y concluyendo que la reducción en crecimiento se debe a una dificultad en el transporte de agua, desde la raíz hasta la copa, ocasionada por la reducción del diámetro de los vasos; durante los periodos de alta evaporación en las plantas con déficit hídrico, ocurre un cierre de estomas, lo cual conduce a una disminución de la tasa de asimilación fotosintética que afecta negativamente su crecimiento. En este mismo estudio, los autores también indican que existe resistencia vascular al transporte de fotoasimilados, desde la parte aérea de la planta, hacia el sistema radical; en su experimento, los valores de azúcares solubles y almidón, por debajo del sitio de la unión del injerto, presentaron menores concentraciones en portainjertos enanizantes, en comparación con las concentraciones obtenidas en portainjertos que inducen un crecimiento normal; concluyendo que el suministro deficiente de carbohidratos a las raíces puede atrofiar el crecimiento de la copa. De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que, en este estudio, los portainjertos CPB 4475, Kryder 15-3 y Volkameriana, inducen mayor crecimiento de la lima ácida Tahití, debido a una mayor traslocación de fotoasimilados hacia su sistema radical; mientras que los portainjertos que inducen menores crecimientos como Sunky x English, permiten menor disposición de estos elementos debajo del sitio de la unión del injerto por un tamaño reducido de sus vasos conductores.

Adicionalmente, la producción de fotoasimilados y hormonas tienen la capacidad de intervenir en los procesos fisiológicos de la planta, por lo tanto, se considera que también afectan el potencial de crecimiento de un árbol (Domínguez *et al.*, 2006). Estudios realizados por Ljung *et al.* (2005) concluyen que la producción de hormonas en las plantas ocurre de forma simultánea, en la copa y en el sistema radical a través de múltiples fuentes, por lo que se considera que la elección del portainjerto interviene en el perfil hormonal de la planta. De acuerdo con lo anterior, es posible considerar que los portainjertos evaluados en esta investigación inducen diferentes perfiles hormonales en la lima ácida Tahití, interfiriendo de esta manera en el desarrollo de las variables de crecimiento del árbol, su tasa de crecimiento y desempeño general.

En cuanto al rendimiento, Stenzel y Neves (2004) evaluaron para la localidad de Maringa, Brasil, la producción de la lima ácida Tahití con un grupo de siete portainjertos; los resultados al noveno año después de establecimiento, indicaron que la mayor producción se obtuvo con el portainjerto C-13 Citrange (112.4 kg/planta). Al comparar dicho resultado con los del presente experimento, se observó que, para la misma edad del cultivo (nueve años), CPB 4475, el portainjerto de mejor desempeño superó ampliamente el promedio de producción obtenido con C-13 Citrange en Brasil, con una producción de 174.2 kg/planta. Este comportamiento fue similar para los resultados obtenidos con Cleopatra y Volkamer Lemon (Volkameriana) (59.1 y 71.1 kg/planta), ya que, en las

condiciones evaluadas, la lima ácida Tahití injertada en estos portainjertos superaron los promedios de producción (135.5 y 94.3 kg/ planta).

En Colombia, en la Subestación Experimental La Catalina, clasificada por Lentijo *et al.* (2014) como bosque muy húmedo premontano; López y Cardona (2007) realizaron un experimento en un periodo de siete años de cosecha, quienes reportaron para la lima ácida Tahití, datos de producción acumulada de 327 kg/planta injertada sobre Carrizo, 349 kg/planta con Cleopatra y 165.4 kg/planta con el portainjerto CPB 4475. Al comparar los resultados de producción acumulada, con los obtenidos en este estudio, se observa que, en Palmira, se superaron ampliamente los promedios de producción reportados por los autores (>590 kg/planta). Este comportamiento puede estar asociado a las condiciones agroclimáticas inherentes a las zonas donde fueron establecidos los ensayos. Según Ordúz-Rodríguez y Mateus (2012), los factores ambientales propios de cada región productora influyen de manera determinante sobre características como crecimiento y productividad, generando diversidad en las cifras de producción obtenidas en las plantaciones maduras de hasta 100 t/ha.

Por otro lado, según Oustric *et al.* (2017) las plantas presentan condiciones óptimas para su crecimiento y desarrollo acordes con el lugar del centro de origen. Factores abióticos y bióticos ocasionan modificaciones en la expresión génica, desencadenando respuestas a nivel epigenético que modifican el genoma sin cambiar la secuencia de bases, estas modificaciones tienen impacto sobre los mecanismos fisiológicos y de desarrollo de la planta, que permiten la adaptación a las diferentes condiciones medioambientales (Crisp *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2020). En el caso de los portainjertos, factores abióticos como temperatura o condiciones de estrés hídrico, ocasionan alteraciones fisiológicas, moleculares y hormonales que permiten la adaptación, pero afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que podría explicar la variación del efecto de los portainjertos asociados a las diferentes localidades de producción (Neves *et al.*, 2017; Oustric *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2020).

En cuanto a la eficiencia productiva, en las condiciones agroclimáticas evaluadas en este experimento, los portainjertos Carrizo, CPB 4475, Cleopatra, Kryder 15-3 y Vólkameriana, generaron eficiencias superiores a los 3.5 kg de fruta por cada m<sup>3</sup> de copa, superando los reportes que tienen los mismos portainjertos en otras regiones como Venezuela, donde Piña-Dumoulín *et al.* (2006) reportan eficiencias de 0.34 y 0.54 kg/m<sup>3</sup> para los portainjertos Vólkameriana y Cleopatra, respectivamente; y Brasil, donde Stenzel y Neves (2004) reportan una eficiencia promedio de 1.2 kg/m<sup>3</sup> para los mismos portainjertos. El portainjerto Sunky x English en este experimento tuvo un desempeño superior a los demás tratamientos con un promedio de producción superior a los 6 kg/m<sup>3</sup> en volúmenes de copa de 7 m<sup>3</sup>, resultados que concuerdan con lo reportado por Chaparro-Zambrano *et al.* (2013). Berdeja-Arbeu *et al.* (2010) explica que las diferencias de la eficiencia de producción están directamente relacionadas con la frecuencia estomática de las hojas, y concluyen que la frecuencia estomática muestra diferencias significativas por efecto del portainjerto. Por su parte, Forner-Giner *et al.* (2014), al estudiar el comportamiento de la eficiencia en portainjertos enanizantes, demostraron que la resistencia al transporte de fotoasimilados, desde la copa al sistema radical, permite mayor disponibilidad de estos compuestos en la copa, generando un

incremento en la eficiencia, lo cual también podría tenerse en cuenta para explicar las altas eficiencias obtenidas en el portainjerto Sunky x English en este experimento. Los resultados del portainjerto Sunky x English representa una alternativa prometedora para el aumento de las densidades de siembra en el establecimiento de nuevas áreas de lima ácida Tahití, y como estrategia de manejo frente a limitantes fitosanitaria como HLB presente en algunas zonas productoras de Colombia. Medina-Urrutia *et al.* (2019), indican que altas densidades de plantación con materiales altamente eficientes disminuye el impacto por la pérdida de árboles y permite a los productores de cítricos generar ingresos rentables.

## Conclusiones

Los portainjertos evaluados en las condiciones del subtrópico colombiano presentaron un efecto significativo sobre el desarrollo vegetativo y el comportamiento productivo del cultivo de lima ácida Tahití.

La interacción entre la lima ácida Tahití y los portainjertos Kryder 15-3 y Volkameriana presentó árboles de mayor altura y mayor volumen de copa, mientras que la interacción con el portainjerto Sunky x English generó un efecto enanizante, con una reducción equivalente a 45% del tamaño, respecto a los portainjertos más vigorosos.

En cuanto al rendimiento, los portainjertos CPB 4475 y Kryder 15-3 presentaron un comportamiento superior; sin embargo, la producción obtenida con todos los portainjertos evaluados supera ampliamente el promedio de producción nacional, con un aumento de más del 40% en el rendimiento del cultivo por hectárea.

Sunky x English se destacó dentro del grupo de portainjertos evaluados, por generar árboles de porte bajo con alta eficiencia productiva, superando estadísticamente a los demás portainjertos.

## Agradecimientos

Al proyecto *Recomendaciones de uso para patrones de lima ácida Tahití en diferentes zonas del país, entregadas financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)*, en especial se agradece al técnico agrícola Carlos Octavio Gómez por apoyo en campo y de laboratorio para la captura de datos de la evaluación del desarrollo vegetativo y productivo.

## Literatura citada

- Acuña, C.J.A.; Domínguez, A.H. y Toro, E.M. (2012). Una comparación entre métodos estadísticos clásicos y técnicas metaheurísticas en el modelamiento estadístico. *Scientia et Technica Año XVII*. 2(50): 67-76.
- Alayón, P.; Rodríguez, V.A.; Piccoli, A.B.; Chabbal, M.D.; Giménez, L.I. y Martínez, G.C. (2014). Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Rev. Fac. Cienc. Agrar.* 46(1): 87-96.
- Albacete, A.; Martínez-Andújar, C.; Martínez-Pérez, A.; Thompson, A.J.; Dodd, I.C. y Pérez-Alfocea, F. (2015). Unravelling rootstock x scion interactions to improve food security. *J Exp Bot.* 66(8): 2211-2226. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv027>
- Baños, R.V.; Fonseca, M.T. y Álvarez, M.R. (2019). Análisis de regresión lineal múltiple con SPSS: un ejemplo práctico. *Rev. innov. recer. educ.* 12(2): 1-10. Doi:<https://doi.org/10.1344/reire2019.12.222704>

- Barry, G.H.; Caruso, M. y Gmitter, F.G. (2020). Commercial scion varieties. M. Talon; M. Caruso y F. G. Gmitter (Eds.), *The Genus Citrus*. Woodhead Publishing. Pp. 83-104. Doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00005-X>
- Bauerle, T.L.; Centinari, M. y Bauerle, W.L. (2011). Shifts in xylem vessel diameter and embolisms in grafted apple trees of differing rootstock growth potential in response to drought. *Planta*. 234(5): 1045-1054. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00425-011-1460-6>
- Benedetto di, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas : su aplicación a cultivos intensivos. *RIA, Rev. investig. agropecu.* 42(3): 258-282.
- Bowman, K.D. y Joubert, J. (2020). Citrus rootstocks. M. Talon; M. Caruso y F. G. Gmitter (Eds.), *The Genus Citrus*. Woodhead Publishing. Pp. 105-127. Doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00006-1>
- Berdeja-Arbeu, R.; Villegas-Monter, A.; Ruíz-Posadas, L.M.; Sahagún-Castellanos, J. y Colinas-León, M.T. (2010). Interacción lima Persa-portainjertos. Efecto en características estomáticas de hoja y vigor de árboles. *Rev. Chapingo ser. hortic.* 16(2): 91-97.
- Carvalho de, D.U.; Neves, C.S.V.J.; Cruz da, M.A.; Colombo, R.C.; Yada, I.F.U.; Leite, R.P. y Tazima, Z.H. (2021). Performance of ‘Salustiana’ sweet orange on different rootstocks under Brazilian subtropical conditions. *Sci Hortic.* 287(110226). Doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110226>
- Chaparro-Zambrano, H.N.; Velásquez, R.H.A. y Orduz- Rodríguez, J.O. (2013). Influencia del virus de la tristeza de los cítricos (CTV) en el comportamiento de la lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre seis patrones en el piedemonte llanero de Colombia (1997-2008). *Cienc. Tecnol. Agropecuaria.* 14(1): 33-38.
- Crisp, P. A.; Ganguly, D.; Eichten, S. R.; Borevitz, J. O. y Pogson, B. J. (2016). Reconsidering plant memory: Intersections between stress recovery, RNA turnover, and epigenetics. *Sci Adv.* 2(2): 1-14. Doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.1126/sciadv.15013400>
- Curti-Díaz, S.A.; Hernández-Guerra, C. y Loredo-Salazar, R.X. (2012). Productividad del limón “Persa” injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Rev. Chapingo ser. hortic.* 18(3): 291-305. Doi:<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.11.109>
- Domínguez, M.; Bravo, F. y Río del, M. (2006) Modelos del tamaño de copa de pinus sylvestris l. en bosques del centro de España. *Interciencia.* 31(3): 168-175.
- Dorado, D.; Grajales, L.C. y Ríos, L. (2015). Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae). *Cienc. Tecnol. Agropecuaria.* 16(1): 87-93. Doi:[https://doi.org/10.21930/rcta.vol16\\_num1\\_art:382](https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:382)
- Equihua, M.; Hernández, A.; Pérez, O. y Badillo, G. (2020). Biodiversidad en Veracruz y cambio climático. <https://www.uv.mx/peccuv/files/2019/07/32-MiguelEquihua.pdf> (Consultado 12 febrero 2023).
- FAOSTAT. (2022a). *The Fao Statistical Database On-line.* <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize> (Consultado 28 diciembre 2022).
- FAOSTAT. (2022b). *The FAO Statistical Database On-line.* <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> (Consultado 28 diciembre 2022).
- Fassio, C.; Heath, R.; Arpaia, M.L. y Castro, M. (2009). Sap flow in Hass avocado trees on two clonal rootstocks in relation to xylem anatomy. *Sci Hortic.* 120(1): 8-13. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.09.012>
- Ferrer, V.; Paymal, N.; Quinton, C.; Costantino, G.; Paoli, M.; Froelicher, Y.; Ollitrault, P.; Tomi, F. y Luro, F. (2022). Influence of the rootstock and the ploidy level of the scion and the rootstock on sweet orange (*Citrus sinensis*) Peel Essential Oil Yield, Composition and Aromatic Properties. *Agriculture.* 12(2): 14. Doi: 0.3390/agriculture12020214
- Figueredo de, J.O.; Sanches, E.; Donadio, L.C.; Teofilo sobrihno, J.; Ferraz larajreira, F.; Pio, R. M. y Sempionato, O.R. (2002). Porta-enxertos para a lima-ácida-‘Tahití’ na região de Bebedouro, SP *Rev Bras Frutic.* 24(1): 155-159. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100034>
- Forner-Giner, M.A.; Rodriguez-Gamir, J.; Martinez-Alcantara, B.; Quiñones, A.; Iglesias, D. J.; Primo-Millo, E. y Forner, J. (2014). Performance of Navel orange trees grafted onto two new dwarfing rootstocks (Forner-Alcaide 517 and Forner-Alcaide 418). *Sci Hortic.* 179: 376-387. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.07.032>

- Franco, T.L. y Hidalgo, R. (2003). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. [https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/\\_migrated/uploads/tx\\_news/An%C3%A1lisis\\_estad%C3%ADstico\\_de\\_datos\\_de\\_caracterizaci%C3%B3n\\_morfol%C3%B3gica\\_de\\_recursos\\_fitogen%C3%A9ticos\\_894.pdf](https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_datos_de_caracterizaci%C3%B3n_morfol%C3%B3gica_de_recursos_fitogen%C3%A9ticos_894.pdf) (Consultado 28 noviembre 2022).
- Gaona-Ponce, M.; Almaguer-Vargas, G.; Barrientos-Priego, A.F. y Borja-de la Rosa, A.M. (2018). Relationship of rootstock xylem anatomy with the initial growth of “Tahiti” lime (*Citrus x latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez). *Rev. Chapingo, Ser. Cienc. For. y del Ambient.* 24(3): 359-370. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.12.071>
- García-Muñoz, M.C.; Henao-Rojas, J.C.; Moreno-Rodríguez, J.M.; Botina Azaín, B.L. y Romero B, Y. (2021). Effect of rootstock and environmental factors on fruit quality of persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) grown in tropical regions. *J. Food Compos. Anal.* 103(104081). Doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104081>
- Imaña, J., y Encinas, O. (2008). *Epidometría Forestal* [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO\\_EpidometriaForestal.pdf](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf) (Consultado 6 diciembre 2022).
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2021). *Frutas frescas. Lima ácida Tahití. Especificaciones*. <https://ebooks.icontec.org/pdfreader/frutas-frescas-lima-cida-tahit-especificaciones> (Consultado 30 diciembre 2022).
- Lentijo, G.M.; López, A.M.; Espinosa, R. y Botero, J.E. (2014). Inventario de la avifauna en tres estaciones experimentales de Cenicafé, en la cordillera central de Colombia. *Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café*. 65(1): 65. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/550> (Consultado 28 febrero 2023).
- Ljung, K.; Hull, A.K.; Celenza, J.; Yamada, M.; Estelle, M.; Normanly, J. y Sandberg, G. (2005). Sites and regulation of auxin biosynthesis in arabidopsis roots. *Plant Cell*. 17(4): 1090-1104. Doi: <https://doi.org/10.1105/tpc.104.029272>
- López, J. y Cardona, J.H. (2007). *Evaluación de portainjertos de cítricos en la zona central cafetera de Colombia*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/585> (Consultado 30 diciembre 2022).
- Martínez-Alcántara, B.; Rodríguez-Gamir, J.; Martínez-Cuenca, M.R.; Iglesias, D.J.; Primo-Millo, E. y Forner-Giner, M. A. (2013). Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. monstrosa). *Trees-Struct.* 27(3): 629-638. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0817-1>
- Mendoza, H. y Bautista, G. (2002). *Diseño Experimental*. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/> (Consultado 15 de enero 2023).
- Milla, D.; Arizaleta, M. y Díaz, L. (2009). Crecimiento del limero “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tan.) y desarrollo del fruto sobre cuatro portainjertos en un huerto frutal ubicado en el municipio palavecino, Estado Lara, Venezuela. *Rev. Cient. UDO Agric.* 9(1): 85-95. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3293802> (Consultado 2 noviembre 2022).
- Medina-Urrutia, V.; Robles-Gonzalez, M.; Reyes-Hernandez, J. y Virgen-Calleros, G. (2019). Estimación de máximas densidades para mitigar el impacto de la enfermedad HLB en plantaciones de naranja Valencia. *Revista de Invención Técnica*. 3(12): 17-21. DOI: 10.35429/JOTI.2019.12.3.17.21
- Murcia, N.; Martínez, M.F.; Orduz-Rodríguez, J.O.; Rios, L.; López-Galé, Y.; Yacomelo, M. J.; Carabali, A.; Takumasa, D.; García-Muñoz, M.C.; Mesa, N.C.; Gonzalez, J.; Perez A, L.; Rodríguez, D.M.; Montes, J.M.; Betancourt, M.; Rodríguez, I.; Barreto, J. A.; Tarazona, R.; Mateus-Cagua, D.; ... Rodríguez R.A.O. (2020). *Modelo productivo de lima ácida Tahití (Citrus × latifolia Tanaka ex Q. Jiménez) para Colombia*. A.M. Montaña C. y L.G. Gaona (Eds.). Mosquera, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). 431 p. Doi: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7403435>
- Neves, D.M.; Almeida, L.A.; Santana-Vieira, D.D.S.; Freschi, L.; Ferreira, C.F.; Soares, W.D.S.; Costa, M.G.C.; Micheli, F.; Coelho, M.A. y Gesteira, A.D.S. (2017). Recurrent water deficit causes epigenetic and hormonal changes in citrus plants. *Sci. Rep.* 7(1): 1-11. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14161-x>

- Ordúz-Rodríguez, J.O. y Mateus, D.M. (2012). Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia. L. F. Garcés (Ed.), *Cítricos: cultivo poscosecha e industrialización*. Colombia, Artes y Letras S.A.S. Pp. 50-88. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13022> (Consultado 3 febrero 2023).
- Oustric, J.; Morillon, R.; Luro, F.; Herbette, S.; Lourkisti, R.; Giannettini, J.; Berti, L. y Santini, J. (2017). Tetraploid Carrizo citrange rootstock (*Citrus sinensis* Osb. × *Poncirus trifoliata* L. Raf.) enhances natural chilling stress tolerance of common clementine (*Citrus clementina* Hort. ex Tan). *J. Plant Physiol.* 214 (April): 108-115. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.04.014>
- Parra-Quezada, R.A.; Becerril-Román, E. y Castillo-Morales, A. (2004). Crecimiento del manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. domestica (Borkh.) Mansf.] cv. golden deliciosos afectado por humedad del suelo, nutrición y portainjerto. *Rev. Fitotec.* 27(4): 339–348. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027406> (Consultado 12 diciembre 2022).
- Pérez-Zamora, O.; Medina-Urrutia, V. y Becerra-Rodríguez, S. (2002). Crecimiento y rendimiento de naranja Valencia injertada en 16 portainjertos de cítricos establecidos en suelo calcimórfico y calidad del jugo. *Agrociencia.* 36(2): 137-148. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7104038> (Consultado 15 enero 2023).
- Piña-Dumoulin, G.J.; Gastón Laborem, E.; Monteverde, E.E.; Magaña-lemus, S.; Espinoza, M. y Rangel, L.A. (2006). Crecimiento, producción y calidad de frutos en limoneros “Persa” sobre 11 portainjertos. *Agronomía Trop.* 56(3): 433-448. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2006000300007](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000300007) (Consultado 18 febrero 2022).
- Rodríguez, M. (2001). Análisis de Regresión Múltiple. M.-J. Rodríguez-Jaume y R. Mora Catalá (Eds.), *Estadística Informática: casos y ejemplos con el SPSS*. España. Publicaciones de la Universidad de Alicante. Pp. 109-123. <http://hdl.handle.net/10045/12077> (Consultado 28 marzo 2023)
- Rodríguez, J. (2012). *Conductancia hidráulica en patrones de cítricos*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17838/tesisUPV3986.pdf?sequence=1> (Consultado 15 de enero 2023).
- Román-Pérez, F.M.; González-Vélez, A.; Macchiavelli, R. y Estévez, C. (2017). Comportamiento de la lima Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tan) injertada en cinco patrones en dos zonas productoras de Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P. R.* 101(2): 225-236. Doi: <https://doi.org/10.46429/jaupr.v101i2.15791>
- Santos, M.G.; Soares, W.D.S.; Girardi, E.A.; Gesteira, A.D.S.; Passos, O.S. y Ferreira, C.F. (2016). Initial horticultural performance of nine ‘Persian’ lime selections grafted onto Swingle citrumelo. *Sci. Agric.* 73(2): 109–114. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0058>. Santos, A.S.; Neves, D.M.; Santana-Vieira, D.D.S.; Almeida, L.A.H.; Costa, M.G.C.; Soares, W.S.; Pirovani, C.P.; Coelho, M.A.; Ferreira, C.F. y Gesteira, A.S. (2020). Citrus scion and rootstock combinations show changes in DNA methylation profiles and ABA insensitivity under recurrent drought conditions. *Sci. Hortic.* 267(109313). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109313>
- Stenzel, N.M.C. y Neves, C.S.V.J. (2004). Rootstocks for Tahiti lime. *Sci. Agric.* 61(2): 151-155. Doi:<https://doi.org/10.1590/s0103-90162004000200005>
- SAS Institute Inc. (2020). Tareas SAS® en SAS® Enterprise Guide® 8.3 y SAS® Add-In 8.3 for Microsoft Office. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Teodoro, A.V.; Carvalho de, H.W.L., Barros de, I.; Carvalho de, L.M.; Martins, C.R.; Soares, W.D.S.; Girardi, E.A. y Passos, O.S. (2020). Performance of “jaffa” sweet orange on different rootstocks for orchards in the Brazilian Northeast. *Pesqui. Agropecu.* 55(8): 327-345. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01665>
- Turrell, F.M. (1946). *Tables of surfaces and volumes of spheres and of prolate and oblate spheroids, and spheroidal coefficients* (First Edit). University of California Press. Estados Unidos. 153 p.