

## Recursos biofísicos

## Artículo de investigación científica y tecnológica

# Caracterización edafoclimática de la zona productora de lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en el Tolima (Colombia), afectada por una fisiopatía

## Edaphoclimatic characterization of the productive zone of Tahiti lime (*Citrus latifolia* Tanaka) in Tolima (Colombia) affected by a physiopathy

Liliana Ríos-Rojas,<sup>1\*</sup> Jhon Fabio Correa,<sup>2</sup> Carlos A. Rojas-Marín,<sup>3</sup> Diana Yaritza Dorado-Guerra<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Investigadora PhD, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira, Palmira, Colombia. Correo: [lriosr@agrosavia.co](mailto:lriosr@agrosavia.co). [orcid.org/0000-0002-6978-0434](https://orcid.org/0000-0002-6978-0434)

<sup>2</sup> Profesional de apoyo a la investigación, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Nataima, Espinal, Colombia. Correo: [jfcorrea@agrosavia.co](mailto:jfcorrea@agrosavia.co). [orcid.org/0000-0002-4379-3720](https://orcid.org/0000-0002-4379-3720)

<sup>3</sup> Investigador máster, Universidad del Tolima, Grupo de investigación en biodiversidad y dinámica de ecosistemas tropicales. Ibagué, Colombia. Correo: [carojasm@ut.edu.co](mailto:carojasm@ut.edu.co)

<sup>4</sup> Estudiante doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Valencia, España. Correo: [diadogue@doctor.upv.es](mailto:diadogue@doctor.upv.es)

Editora temática: Judith del Carmen Martín Atencia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Fecha de recepción: 30/10/2017

Fecha de aceptación: 30/05/2018

Para citar este artículo: Ríos-Rojas, L., Correa, J. F., Rojas-Marín, C. A., & Dorado-Guerra, D. Y. (2018). Caracterización edafoclimática de la zona productora de lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en el Tolima (Colombia), afectada por una fisiopatía. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(3), 545-567.

DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol19\\_num3\\_art:862](https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num3_art:862)



Esta licencia permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de la obra de modo no comercial, siempre y cuando se dé el crédito y se licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

\* Autor de correspondencia. Diagonal a la intersección de la Carrera 36A con Calle 23, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

## Resumen

En el departamento del Tolima (Colombia) se han observado huertos afectados por una fisiopatía que induce una muerte progresiva de los árboles. Una fisiopatía es un daño o trastorno vegetal, provocada por agentes de origen abiótico. En Estados Unidos y México se ha reportado una problemática similar, denominada *wood pocket*. En California (EE. UU.), el inconveniente se solucionó con el uso de patrones resistentes, pero en Arabia Saudita y Omán este resultado no fue replicable. Se ha reportado que este desorden fisiológico se potencia en clima cálido seco, condición propia de la zona de estudio: altas temperaturas, déficit hídrico, altas velocidades de infiltración del suelo y un mal manejo del riego. Estos

factores llevan a que las plantas tengan una baja disponibilidad hídrica para suplir la alta demanda atmosférica, lo que causa un estado de estrés durante la época productiva. La zona productora presenta un déficit hídrico hasta ocho meses en el año, y la evapotranspiración supera en un 34% a la precipitación. En años muy secos, como 2015, la anomalía puede presentarse durante todo el año. Asimismo, la capacidad de almacenamiento del suelo no supera el 7,3%, inferior al 14% reportado para suelos arenosos. Es necesario ajustar los programas de riego tanto en zonas afectadas como no afectadas, con el fin de prevenir el problema.

**Palabras clave:** capacidad de retención de agua, *Citrus latifolia*, déficit de humedad en el suelo, fisiopatía, lima ácida Tahití, riego, Tolima (Colombia)

## Abstract

In the department of Tolima (Colombia), citrus orchards affected by a physiopathy that induces a progressive death of the trees was observed. A physiopathy is a plant damage or disorder caused by abiotic origin agents. A similar problem called wood pocket was reported for the United States and Mexico. In California (U.S.A.), the problem was solved with the use of resistant rootstocks. In Saudi Arabia and Oman this result could not be replicated. It has been reported that this physiological disorder is enhanced in dry hot climate, typical condition found in the study area: high temperatures, water deficit, high soil infiltration rates and poor

irrigation management. These factors lead to plants having low water availability to meet the high atmospheric demand, causing a state of stress during the productive season. The citrus production area shows eight months of water deficit during the year, and the evapotranspiration exceeds in 34% the precipitation. In very dry years, as 2015, the anomaly may occur throughout the year. Likewise, the soil storage capacity does not exceed 7.3%, i.e. a lower value than the 14% reported for sandy soils. It is necessary to adjust the irrigation programs in affected and unaffected areas to prevent this problem.

**Keywords:** *Citrus latifolia*, irrigation, physiological disorder, soil water deficit, Tahiti lime, Tolima (Colombia), water-holding capacity

## Introducción

En el año 2011, la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano (Agronet) (2016) reportó que en el departamento del Tolima (Colombia) se habían cosechado 2.853 ha de lima ácida Tahití, con una producción de 60.508 t y un rendimiento promedio de 28 t/ha. Dadas las condiciones climáticas y sanitarias, para 2013 estos valores se vieron fuertemente disminuidos, y el área productora reportada fue de solo 300 ha, con una producción total de 4.500 t, y un rendimiento de 15 t/ha (Agronet, 2016). En 2011, la producción de lima ácida Tahití disminuyó en un 63 %, debido a la fisiopatía que el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) diagnosticó como *wood pocket*, con base en referencias teóricas que aludían a síntomas similares, ya que este problema nunca se había reportado en Colombia.

En 1957, Knorr describió la fisiopatía *wood pocket* en Florida. En 1928, Fawcett y Calavan la habían reportado en Riverside (California, EE. UU.), en árboles de limón Lisboa de 10 años. Durante la década de 1950, esta fisiopatía destruyó la industria de lima ácida Tahití en la Florida, y su aparición en México (el primer productor mundial) mostró la gravedad del problema, pues en un corto periodo disminuyó la rentabilidad del mercado de fruta y productos procesados (Almeyda-León et al., 2002; Calavan, 1957; Fawcett & Calavan, 1948; Knorr, Suit, & DuCharme, 1957).

Se considera que *wood pocket* es genéticamente inherente a la mayoría de los limones Persa, Bearss o Tahití. Es un problema grave, que ha sido reconocido solo en algunas regiones productoras del mundo, como Arabia Saudita, Belice, Egipto, Estados Unidos, México y el Sultanato de Omán (Almeyda-León et al., 2002; Garnier, Zreik, & Bové, 1991; Knorr et al., 1957). Se ha encontrado que es especialmente severo en climas cálidos y secos que presentan altas temperaturas (Calavan, 1957).

Los estudios iniciales referidos a la aparición de *wood pocket* en Estados Unidos indican que la fisiopatía se transmite únicamente por injerto, al utilizar yemas

de plantas de lima ácida Tahití con esta condición genética (Colburn & Goldweber, 1971). Su estrategia de manejo consistió en utilizar portainjertos resistentes, y los materiales utilizados en Estados Unidos también se evaluaron en países como Arabia Saudita y Omán, donde se mostraron susceptibles (Roistacher, 2001).

Es preciso mencionar que en las condiciones del departamento del Tolima se encontraron síntomas similares a los que la literatura reportó para *wood pocket* (Klotz, Calavan, & Weathers, 1972), asociados a una condición severa de climas cálidos secos y altas temperaturas (Calavan, 1957). Sin embargo, no se posee evidencia suficiente para reconocer *wood pocket* en la zona. Asimismo, aún no se han realizado análisis de los portainjertos de la zona de estudio afectada.

El diagnóstico patológico que la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoica) realizó en 2012 descartó que el daño fuera promovido por agentes patógenos, de lo cual se infiere que se trata de una fisiopatía. Por consiguiente, en adelante no se hará referencia al problema como *wood pocket*, sino como una fisiopatía.

De acuerdo con García de Pedraza (1982), se suele llamar fisiopatía a los daños en plantas y cultivos provocados por agentes de origen abiótico, y se destacan los efectos de fenómenos atmosféricos, como altas o bajas temperaturas, granizo, helada, golpe de calor, lluvia torrencial y sequía, entre otros.

El mal manejo del sistema de hidratación del cultivo puede potenciar una fisiopatía, y en 2010 AGROSAVIA comprobó esta situación en huertos del Tolima. Además, en la zona productora de lima ácida Tahití en este departamento, la condición de clima seco tropical (según la clasificación de Holdridge [1967]) es generalizada.

De igual forma, el análisis climático de 2005 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam, 2005) muestra que en la zona de estudio la temperatura promedio mensual fue de

24 °C a 29 °C, y que la evapotranspiración anual superaba hasta en un 34% las precipitaciones. Adicionalmente, los periodos de déficit de precipitaciones van de siete a ocho meses, y en años muy secos, como 2015, la anomalía puede presentarse durante todo el año.

Esta situación climática, la presencia de la fisiopatía en la zona y la identificación de un sistema sensible al déficit hídrico, hacen pensar que la muerte de los árboles causada por la enfermedad puede estar siendo potenciada por el ecosistema y el manejo hídrico.

Teniendo en cuenta que el crecimiento y el desarrollo de la planta son influenciados por el medioambiente, en especial por la disponibilidad de agua (Vélez, Álvarez-Herrera, & Alvarado-Sanabria, 2012), es posible que la magnitud del déficit hídrico de la zona haya afectado la “sanidad” de los huertos de lima ácida Tahití.

Lo anterior se debe a que la limitación del desarrollo radical (Melgar, Dunlop, & Syvertsen, 2010; Rodríguez-Gamir, Primo-Millo, Forner, & Forner-Giner, 2010) y el aumento de la demanda por el inicio de la producción hacen que la planta sea incapaz de mantener el flujo hídrico, y el exceso de esfuerzo para capturar el agua desde el suelo provoca que el sistema vascular colapse por cavitación. Con las traqueidas colapsadas y fracturadas, en forma masiva la planta no puede continuar conduciendo agua y nutrientes a la parte aérea, lo que causa la muerte.

Al respecto, Pérez-Pérez, García, Robles y Botía (2010) mencionan que, en climas en los que las plantas sufren estrés por déficit hídrico, las hojas muestran marchitamiento, a causa de la reducción del potencial hídrico foliar, la disminución de la conductancia estomática, la baja tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y la conductividad hidráulica de la raíz, que conducen a la muerte total del árbol.

Es necesario que en futuros trabajos se demuestre si el necrosamiento que se observa en la madera de las plantas del Tolima que han sido afectadas por la fisiopatía se debe a la ruptura del tejido vascular, que colapsa por la cavitación ante el déficit hídrico.

En 2012, al detectar la fisiopatía, AGROSAVIA realizó una investigación con el fin de dimensionar su cobertura, y encontraron los síntomas en la totalidad de las fincas visitadas de seis municipios, en huertos de cuatro años, menores a la edad reportada por la literatura (Roistacher, 2001).

La región posee las propiedades de un clima seco tropical, con una temperatura media anual de 27,5 °C y una oferta ambiental caracterizada por un balance hídrico negativo (precipitación-evapotranspiración), que sucede de seis a nueve meses al año. Los suelos presentan condiciones de alto drenaje, formados por materiales provenientes de la actividad volcánica del cerro Machín y a la dinámica fluvial del río Magdalena y sus tributarios (Corporación Autónoma Regional del Tolima [Cortolima], 2006; Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras [Ingeominas], 1998). Las condiciones enunciadas resultan ideales para el estímulo de una fisiopatía por estrés hídrico.

Los suelos de la región se caracterizan por tener una velocidad de infiltración promedio de 17,46 mm/hora, que es calificada de moderada a rápida, lo cual favorece los procesos de drenaje, y poseen además una capacidad de almacenamiento de agua entre baja y muy baja.

Teniendo en cuenta estas dos propiedades hidrodinámicas del suelo, no se recomiendan sistemas de aplicación de riego de altos caudales, como gravedad y aspersión, y se prefieren altas frecuencias en cortos periodos, con sistemas como microaspersión o goteo, con el fin de disminuir las grandes pérdidas por percolación profunda.

La condición de clima cálido seco de la zona y las rápidas velocidades de infiltración del agua en el suelo llevan a que las plantas tengan una baja disponibilidad de agua para suplir la elevada demanda atmosférica, y durante la época productiva se encuentran típicamente en déficit. Las malas prácticas agrícolas en el manejo hídrico de los huertos, por escasez o una inadecuada aplicación del riego, hacen que el problema se intensifique.

En los huertos del Tolima, la fisiopatía se ha expresado de manera diferencial, y esto implica la necesidad de identificar las características climáticas e hidrofísicas del suelo de la zona productora, que permitan determinar los factores que benefician o potencian el desarrollo de la fisiopatía, asociada a las condiciones locales, para generar recomendaciones de manejo en zonas afectadas, y de prevención donde aún no se presenta.

## Materiales y métodos

### Zona de estudio

El área de estudio comprende la zona del departamento del Tolima donde la Asociación de Productores del Limón del Valle del Magdalena (Yuma) ha reportado la existencia del cultivo. La base de datos consultada para la ubicación de los predios, que se encuentra actualizada a 2016, pertenece al ICA, es inédita, y se obtuvo gracias a la comunicación personal con la señora Matilde Antía, quien era la representante legal de la asociación Yuma en 2016.

El área productora de lima ácida Tahití en el Tolima se encuentra enmarcada en las siguientes coordenadas planas con proyección Magna-Sirgas: Xmax 960300 - Ymax 1080500; Xmin 840000 - Ymin 890000, que cubren parte del valle cálido del Magdalena, en inmediaciones del centro-norte del departamento.

Se realizó una depuración de la base de datos, en términos de una correcta georreferenciación, la presencia del cultivo y la incidencia de la fisiopatía. Con este fin se realizaron visitas presenciales a las fincas y llamadas telefónicas a propietarios. Se continuó con el filtrado por criterios económicos y el efecto de la fisiopatía, y así se seleccionaron los predios en los que el cultivo ocupara un área igual o mayor a una hectárea, pues esta se considera el área familiar mínima rentable para la lima ácida Tahití (Tafur, Toro, Perfetti, Ruiz, & Morales, 2006). Además, se tuvieron en cuenta los huertos de más de dos años, ya que en aquellos con una edad menor no se reportan efectos de la fisiopatía.

### Material vegetal

De acuerdo con las visitas y entrevistas realizadas a los productores, se reportó que el cultivar lima ácida Tahití, sobre los portainjertos Volkameriano, es el más utilizado en todos los predios, y que en menor proporción se encuentran los patrones Carrizo, CPB, Troyer y Sunky. Esta información permite deducir que el portainjerto no tendría incidencia en la fisiopatía, ya que no hay un patrón común.

Sin embargo, los productores no tienen un registro de la identidad genética del portainjerto, ni un historial georreferenciado de la siembra y las resiembras. Esto demuestra la necesidad de realizar un estudio de la identidad genética de los patrones en los huertos afectados, para corroborar el efecto de este factor.

### Información climática

El conjunto de la información climática se consultó en la base de datos de alta resolución WorldClim (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005), una geodatabase global de promedios mensuales, basada en un gran número de observaciones de precipitación y temperaturas máxima, media y mínima, en el periodo comprendido entre los años 1950 y 2000. Los datos topográficos provinieron del Shuttle Topography Radar Mission (STRM).

En Colombia, WorldClim fue estructurada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). La resolución espacial es de 30 segundos de arco, equivalente a cerca de 0,86 km<sup>2</sup> en el Ecuador, y es particularmente robusta en Latinoamérica, ya que incluye datos de precipitación media mensual de 18.895 estaciones, temperatura media de 13.842 y temperaturas mínima y máxima de 5.321 (Hijmans et al., 2005).

WorldClim se ha usado ampliamente, debido a la calidad de los datos y a su fácil adquisición. Zomer, Bossio, Trabucco, Yuanjie, Gupta y Singh (2007) y Zomer, Trabucco, Bossio y Verchot (2008) la validaron, aplicando el método Hargreaves para generar el mapa de Global Potential Evapotranspiration

(Global-PET). Estos resultados permitieron que Henríquez-Dole y Miner-Vega (2014) afirmaran que es una base de datos confiable.

Esta herramienta ha sido empleada en estudios sobre temas como el efecto del cambio climático en el sistema cultivo (Evangelista, Young, & Burnett, 2013; Läderach, Martínez-Valle, Schroth, & Castro, 2013; Schroth, Läderach, Cuero, Neilson, & Bunn, 2015), humedad del suelo (Topete-Ángel et al., 2014), distribución de plagas (Holt, Salkeld, Fritz, Tucker, & Gong, 2009) y distribución de especies de interés (Castro-Díez, Godoy, Saldaña, & Richardson, 2011; Cianci, Hartemink, & Ibáñez-Justicia, 2015; Kumar & Stohlgren, 2009).

También se ha usado para calcular la evapotranspiración potencial y estimar el balance hídrico (Coral, García-Tommaselli, & Leal, 2015; Cronemberger, Vicens, Bastos, Fevrier, & Barroso, 2011; De Carvalho-Alves et al., 2013; Vaca & Golicher, 2016; Zomer et al., 2008).

### Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>)

Dada la poca probabilidad de conseguir datos consistentes y suficientes desde estaciones climáticas para calcular la ET<sub>o</sub> en la zona, se recurrió al mapa de Global-PET (Zomer et al., 2007; Zomer et al., 2008), en el que se calculó a partir de información de WorldClim, se calcularon datos medios mensuales de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima, usando el método de Hargreaves, basado en temperatura (Hargreaves & Samani, 1985).

Según Zomer et al. (2007), este tiene los valores más cercanos a los que se obtuvieron con la ecuación de Penman-Monteith (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998) de estaciones climáticas de América del Sur y África, en comparación con los métodos, también basados en temperatura, de Thornthwaite (1948), de Thornthwaite modificado por Holland (1978) y de Hargreaves modificado por Droogers y Allen (2002).

La evapotranspiración de referencia media mensual responde al método de Hargreaves, el cual requiere

conjuntos de datos medios mensuales de temperaturas media, mínima y máxima, y radiación extraterrestre al tope de la atmósfera. El modelo usado es el siguiente:

$$ET_o = 0,0023 \times RA \times (T_{media} + 17,8) \times 0,5 TD$$

Donde:

ET<sub>o</sub>: evapotranspiración de referencia diaria (mm/día)

RA: radiación extraterrestre al tope de la atmósfera (equivalente a mm/día)

T<sub>media</sub>: temperatura media diaria (°C)

TD: diferencia entre las temperaturas máxima y mínima diarias (°C)

La RA (mm/día) total por mes se calcula usando la metodología de Allen et al. (1998), multiplicando el valor diario de RA para el día 15 del mes por el número de días del mes.

### Hidrodinámica del suelo

Las pruebas hidrodinámicas se realizaron en la primera fase del proyecto, en tres municipios de la zona de estudio: Coello, El Espinal y Flandes. En ellos se buscaba caracterizar los procesos de infiltración y retención de agua en el suelo, definir posibles barreras a la infiltración y movimientos tanto laterales como en profundidad, así como la capacidad de almacenamiento del suelo. Con esta información se podrán tomar decisiones acertadas sobre el tipo de riego que se debe utilizar, sus frecuencias y periodos.

En cada huerto se realizaron pruebas hidrodinámicas de *velocidad de infiltración*, determinada con los anillos infiltrómetros en campo (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica [USDA], 1999) y de *conductividad hidráulica*, a partir de muestras tomadas en campo con el barreno Uhland, que fueron llevadas al laboratorio para aplicarles el método de permeámetro de carga constante.

También se evaluó la *retención de humedad*, determinada por dos factores principales y específicos para cada suelo: granulometría y estructura (Pérez-García, 2008). Para valorarla, en la curva característica de retención de humedad se define para cinco presiones entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) (0,3; 0,5; 1,0; 3,0 y 15 bares). Dentro de este rango se encuentra la humedad que la planta puede aprovechar.

De igual forma, se analizaron la *resistencia mecánica* a la penetración, determinada mediante el uso de un penetrómetro, y clasificándola según la escala de Pla (1998), así como la *textura* en laboratorio, por el método Bouyoucos (Schoeneberger, Wysocki, Benham, & Broderson, 1998).

### Información auxiliar

Los datos auxiliares utilizados incluyeron cartografía base en formato vectorial, como los mapas de límites políticos departamentales y municipales del Tolima, así como el mapa de suelos a escala 1:100.000, elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Malagón-Castro, Pulido-Roa, Llinás-Rivera, Chamorro-Bello, & Fernández-Lamus, 1995). Se hizo uso de la memoria del mapa para definir algunas características edáficas.

Respecto a la fisiopatía, en las fincas en estudio se verificó la presencia de los síntomas: un estado de estrés constante, hojas enrolladas, un material vegetal deshidratado (hojas, ramas y frutos) con tonos amarillo-marrón y defoliación. Se realizaron análisis físicos de suelos y pruebas hidrodinámicas en los sitios de los huertos de estudio en los que se encontraron árboles gravemente afectados.

En cada finca experimental se realizó un seguimiento a la humedad del suelo con sensores de humedad tipo capacitancia, para definir los factores que influyen en el cambio del contenido hídrico. Asimismo, se indagó con los productores el manejo hídrico del huerto, verificando la existencia y tipo de un sistema de riego.

## Resultados y discusión

### Zona de estudio

En este estudio, la fisiopatía fue identificada en 27 de los 42 municipios del Tolima. Tras consolidar una base de datos de productores de cítricos, compuesta por información proveniente de la Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohfrucol) y el ICA, se reportaron 141 predios con lima ácida Tahití. Al depurar la base de datos, 129 predios fueron georreferenciados, descartando aquellos de menos de 0,2 ha y los considerados patios, así como los huertos de menos de dos años, ya que en estos típicamente no se presentan los síntomas.

Con el mencionado filtrado se obtuvieron 39 predios en 11 municipios, en los cuales se pudo contactar a 23 productores y verificar visualmente 21 predios, distribuidos en los municipios de Alvarado, Armero-Guayabal, Coello, El Espinal, Flandes, Guamo, Lérica, Melgar, Saldaña, San Luis y Venadillo. En tres de estos municipios, Coello, El Espinal y Flandes, donde la fisiopatía se ha presentado de una manera especialmente severa, se hizo seguimiento a su presencia y se realizó una caracterización hidrodinámica del suelo.

En la figura 1a, se muestran los predios identificados como productores de lima ácida Tahití a partir de la base de datos aportada por Yuma, de propiedad del ICA. En la figura 1b, se relacionan espacialmente los municipios (predios) con presencia de síntomas de la fisiopatía, que fueron verificados por el equipo ejecutor. Por su parte, en la tabla 1 se hace un listado de los predios, los municipios y los detalles del sitio, como el portainjerto reportado por el productor, la aplicación o no de riego y el sistema usado con ese fin.

Asimismo, se relaciona un predio donde no se presenta la fisiopatía, en Alvarado (predio Miravalle), y en el que se reportan temperaturas: mínima de 21,7 °C y máxima de 33 °C, no muy disímiles a las informadas en otros en los que sí se encuentra. Sin embargo, la diferencia en este predio es la edad del cultivo, que aún no está en producción estable y además tiene un riego con frecuencia diaria.

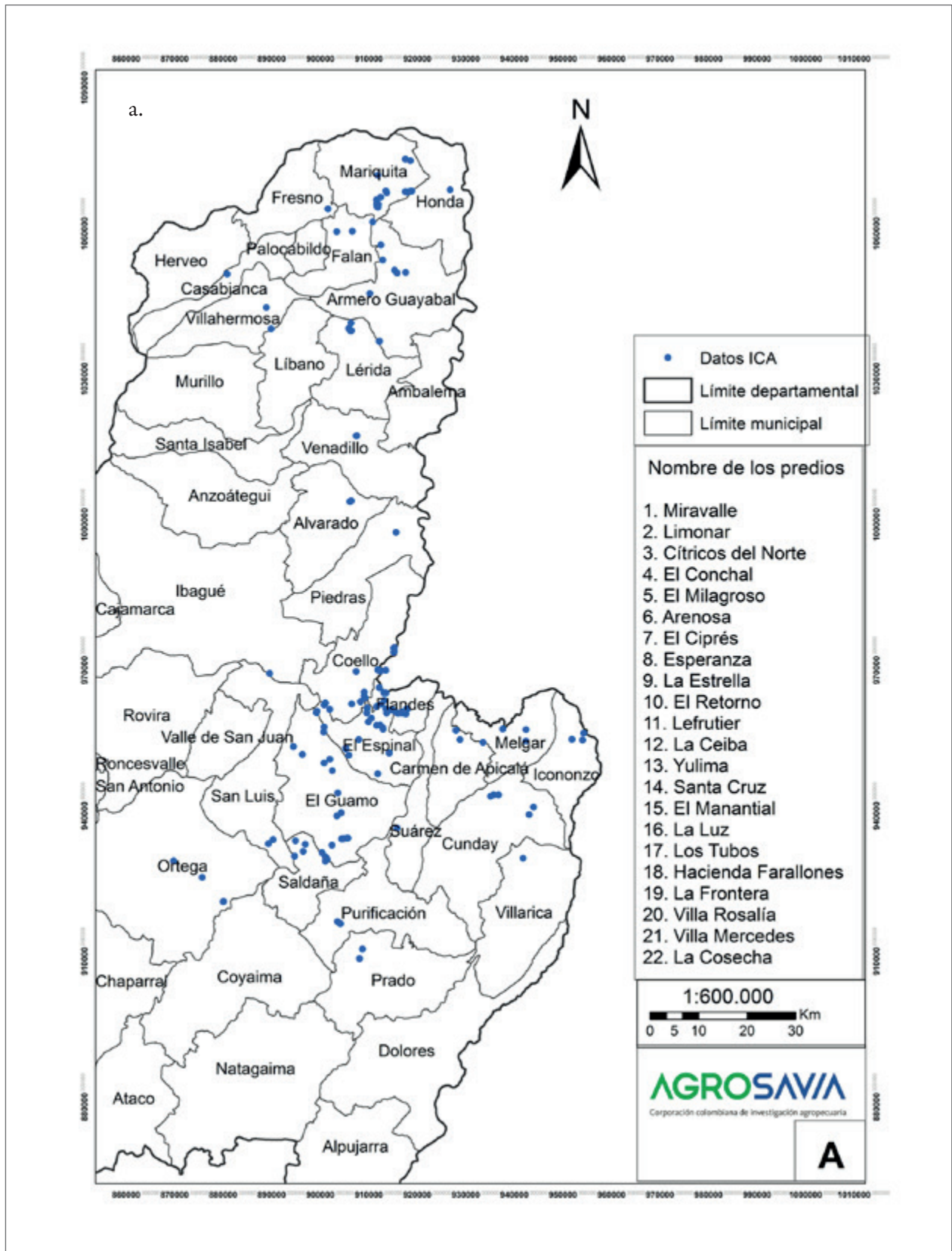
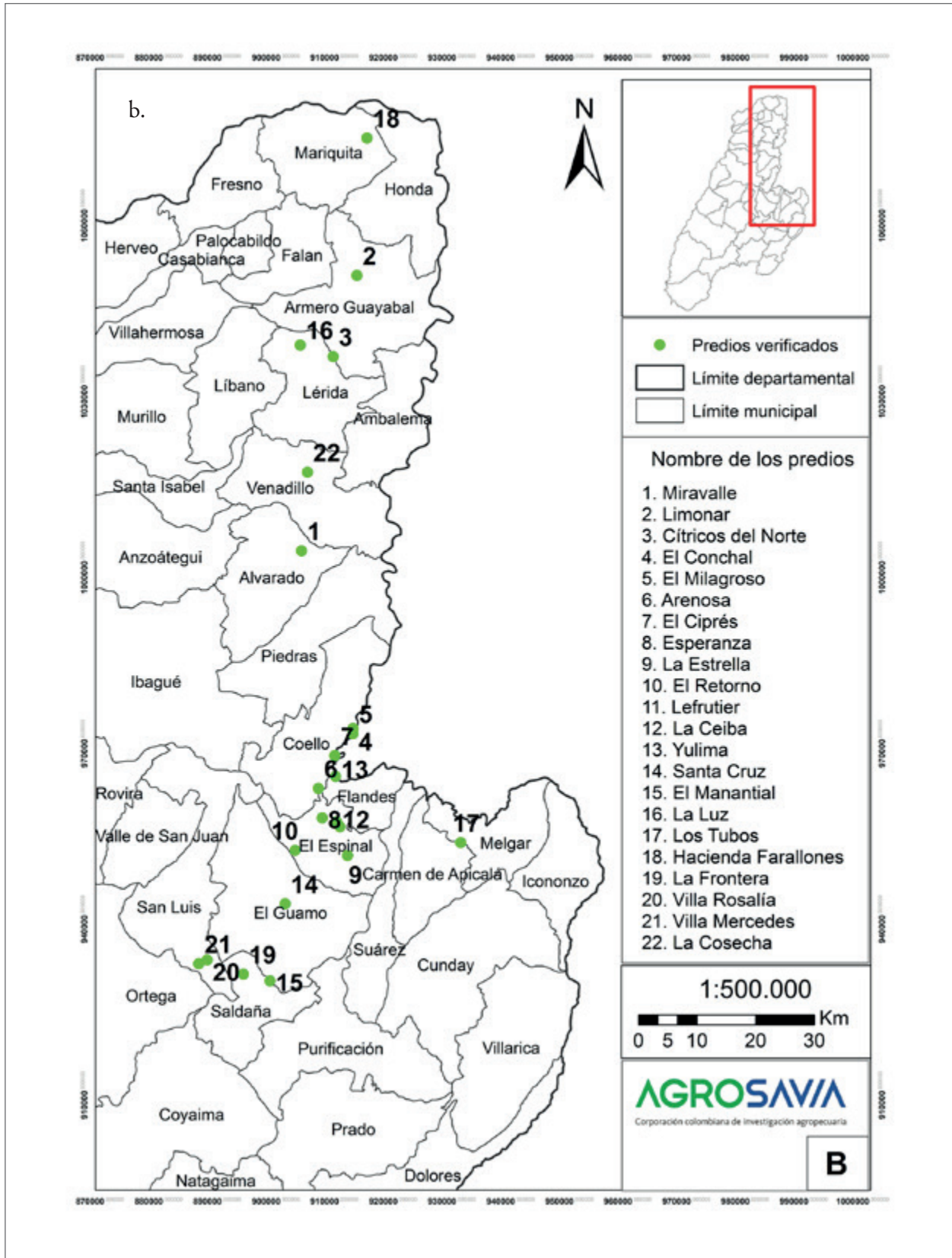


Figura 1. Ubicación de predios en la zona de estudio. a. Predios con lima ácida Tahití en el Tolima  
Fuente: Elaboración propia





Caracterización edafó-climática de la zona productora de lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en Tolima, Colombia, afectada por una fisiopatía

**Figura 1.** Ubicación de predios en la zona de estudio. b. Predios con huertos de lima ácida Tahití en los que se ha verificado la fisiopatía.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 1.** Predios con huertos de lima ácida Tahití en los que se ha verificado la fisiopatía

<b>Id</b>	<b>Municipio</b>	<b>Predio</b>	<b>m s. n. m.</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>Edad</b>	<b>Patrón</b>	<b>Riego</b>	<b>Fisiopatía</b>
1	Alvarado	Miravalle	356	20	2 a 4 años	Volkameriana	Microaspersión	No
2	Armero-Guayabal	El Limonar	255	106	2 meses a 8 años	Volkameriana, Carrizo	Microaspersión	Sí
3	Armero-Guayabal	Cítricos del Norte	302	43	5 años	Volkameriana	Microaspersión	Sí
4	Coello	El Conchal	292	14	6 años	Volkameriana	Microaspersión	Sí
5	Coello	El Milagroso	296	18	4 años	Volkameriana, CPB, Carrizo	Microaspersión	Sí
6	Coello	La Arenosa	326	1	6 años	No sabe	Gravedad	Sí
7	Coello	El Ciprés	297	19	3 a 4 años	Volkameriana, CPB	Microaspersión	Sí
8	El Espinal	La Esperanza	345	14	8 años	Volkameriana	Microaspersión	Sí
9	El Espinal	La Estrella	327	15	6 meses a 2 años	Troyer, Carrizo, CPB	Microaspersión	Sí
10	El Espinal	El Retorno	371	12	6 años	Volkameriana	Microaspersión	Sí
11	El Espinal	Lefrutier	324	9,6	5 a 8 años	Volkameriana, Carrizo	Goteo	Sí
12	El Espinal	La Ceiba	331	10	8 años	Volkameriana, Carrizo, Sunky	Microaspersión	Sí
13	Flandes	Yulima	308	15	6 años	Volkameriana, CPB	Microaspersión	Sí
14	Guamo	Santa Cruz	350	10	2 años	Volkameriana	Microaspersión	Sí
15	Guamo	El Manantial	308	4	3 años	Volkameriana	Microaspersión	Sí
16	Lérida	La Luz	648	2	3 años	No sabe	No	Sí
17	Melgar	Los Tubos	313	1	4 años	No sabe	No	Sí
18	Mariquita	Farallones	340	100	1 a 5 años	Volkameriana, CPB, Sunky, Troyer	Microaspersión	Sí
19	Saldaña	La Frontera	351	24	3 años	Volkameriana, Sunky	Microaspersión	Sí
20	San Luis	Villa Rosalía	372	7	6 años	Volkameriana	Microaspersión	Sí
21	San Luis	Villa Mercedes	351	3	5 años	Volkameriana	Microaspersión	Sí
22	Venadillo	La Cosecha	446	100	4 años	Volkameriana, CPB, Sunky	Fertirriego	Sí

Fuente: Elaboración propia

## Clima

De acuerdo con la información de WorldClim, los huertos afectados están en una zona con temperaturas medias mensuales que van desde 24 °C hasta cerca de 29 °C, y el predio La Luz, en el municipio de Lérida, fue el que menores promedios de temperatura mensual presentó. A su vez, el predio El Ciprés, ubicado en el municipio de Coello, registró los mayores promedios.

En todos los huertos estudiados, los meses de julio, agosto y septiembre fueron aquellos en los que se alcanzan promedios de temperatura más altos. Posteriormente, las temperaturas disminuyen, y en octubre, noviembre y diciembre se presentan las más bajas de todo el año (figura 2).

De igual manera, se observa que la temperatura mínima promedio anual que se alcanza en los predios es cercana a los 22,0 °C, con excepción de Miravalle (Alvarado), La Luz (Lérida) y La Cosecha (Venadillo), con 21,7 °C, 19,9 °C y 21,1 °C, respectivamente.

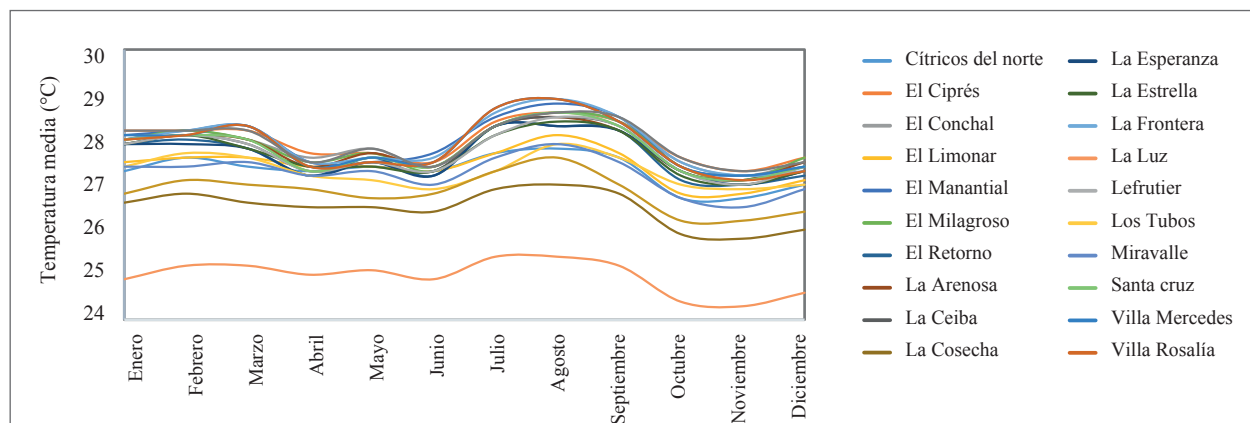
Así mismo, los promedios de temperatura anual máxima son cercanos a los 33,0 °C en la mayoría de los predios, exceptuando La Cosecha (Venadillo), Farallones (Mariquita) y La Luz (Lérida), con 31,9 °C en los dos primeros casos, y 30,1 °C en el tercero, que durante julio y agosto presentan los valores de temperatura máxima más altos de todos los predios.

Por otro lado, los valores del rango de temperatura mensual, que es la variación de la temperatura entre

sus valores máximos y mínimos mensuales, muestran que durante el año en la mayoría de los municipios la temperatura varía en promedio 11,0 °C, con excepción de Farallones (Mariquita), donde el rango es de 10,1 °C en promedio. Julio y agosto son los meses en los cuales se presenta una mayor variación, con un promedio de 12,5 °C, y el mes con la menor variación es noviembre, con un promedio de 9,7 °C.

Cabe destacar que las temperaturas reportadas en la zona de estudio superan la media (23,4 °C) y la mínima (12,5 °C) que Hernández, Mateus y Orduz-Rodríguez (2015) calificaron como óptimas para la lima ácida Tahití. Dado que la temperatura es una medida de calor y que es la precursora del cambio de estado del agua, a medida que aumenta, un mayor volumen de agua pasa de líquido a vapor, lo que deseca el medio circundante, y hace que la atmósfera demande más agua. Si no hay agua disponible en el suelo, sucede el cierre estomático, con la consecuente ralentización o bloqueo de las funciones fisiológicas.

En cuanto a la precipitación, los predios se ubican en una zona con régimen bimodal, con un primer máximo en los meses de abril y mayo, y el segundo en octubre. Las épocas más secas se presentan en los trimestres junio-julio-agosto y diciembre-enero-febrero (figura 3). Así mismo, se encuentran en una zona con precipitaciones anuales que van desde 1.265 mm (El Conchal en Coello) hasta 1.987 mm (Farallones en Mariquita). El municipio de Coello presenta los valores más bajos.



**Figura 2.** Temperatura media mensual de los predios muestreados.

Fuente: Adaptada de Hijmans et al. (2005)

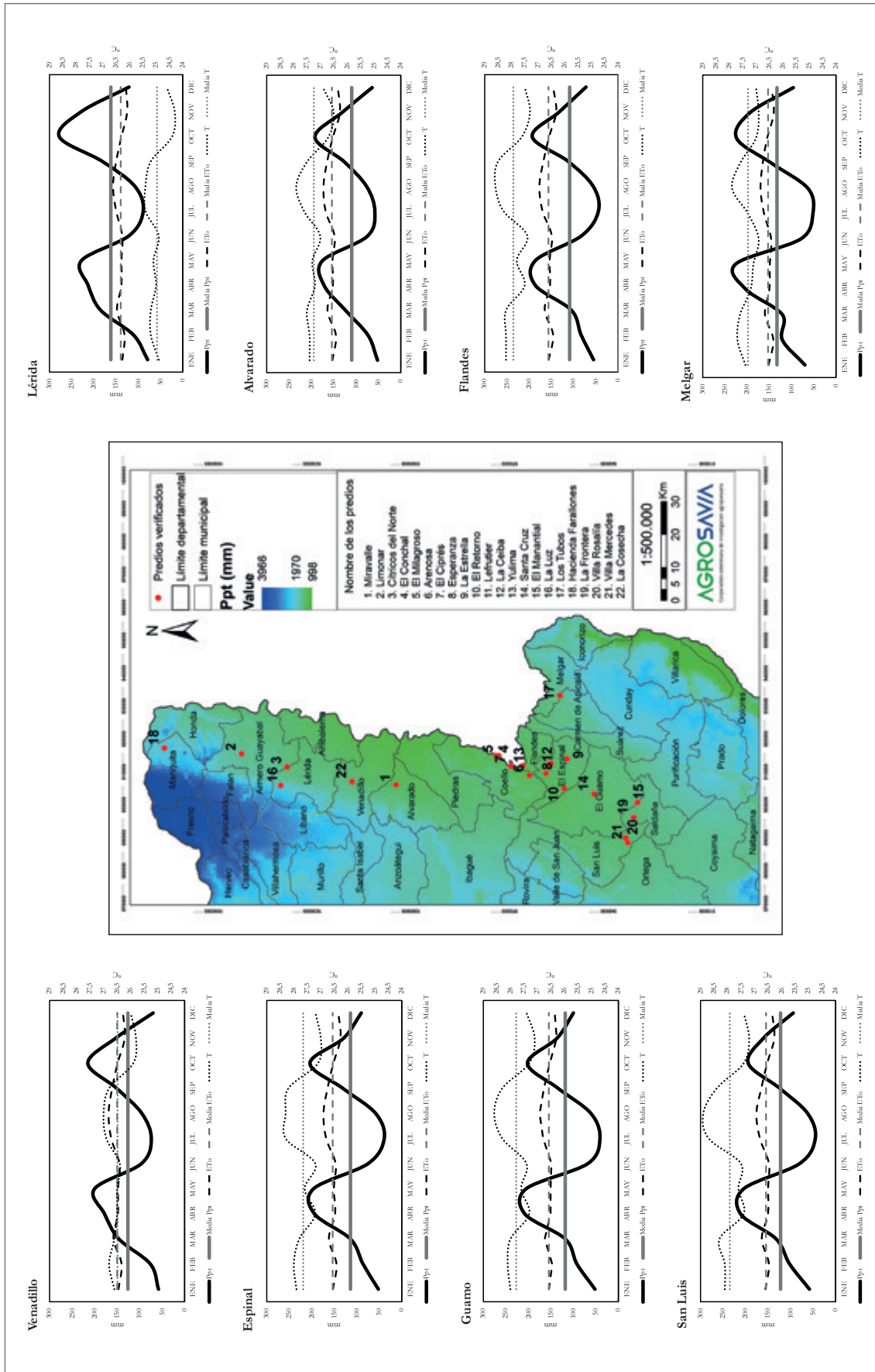


Figura 3. Distribución de la precipitación media mensual multianual, Ppt: precipitación; Eto: evapotranspiración; T: temperatura. Fuente: Adaptada de Hijmans et al. (2005)

En la zona, la evapotranspiración está por encima de los 1.600 mm/año (figura 4a), lo que significa que, con excepción de los predios Farallones (Mariquita) y La Luz (Lérida), el déficit se presenta en 8 de los 12 meses del año. En este sentido, el desbalance mensual de los meses secos sería el que potencia la aparición de la fisiopatía en Farallones y La Luz (tabla 1). En la figura 4b, se relaciona el balance hídrico promedio mensual multianual para la zona de estudio.

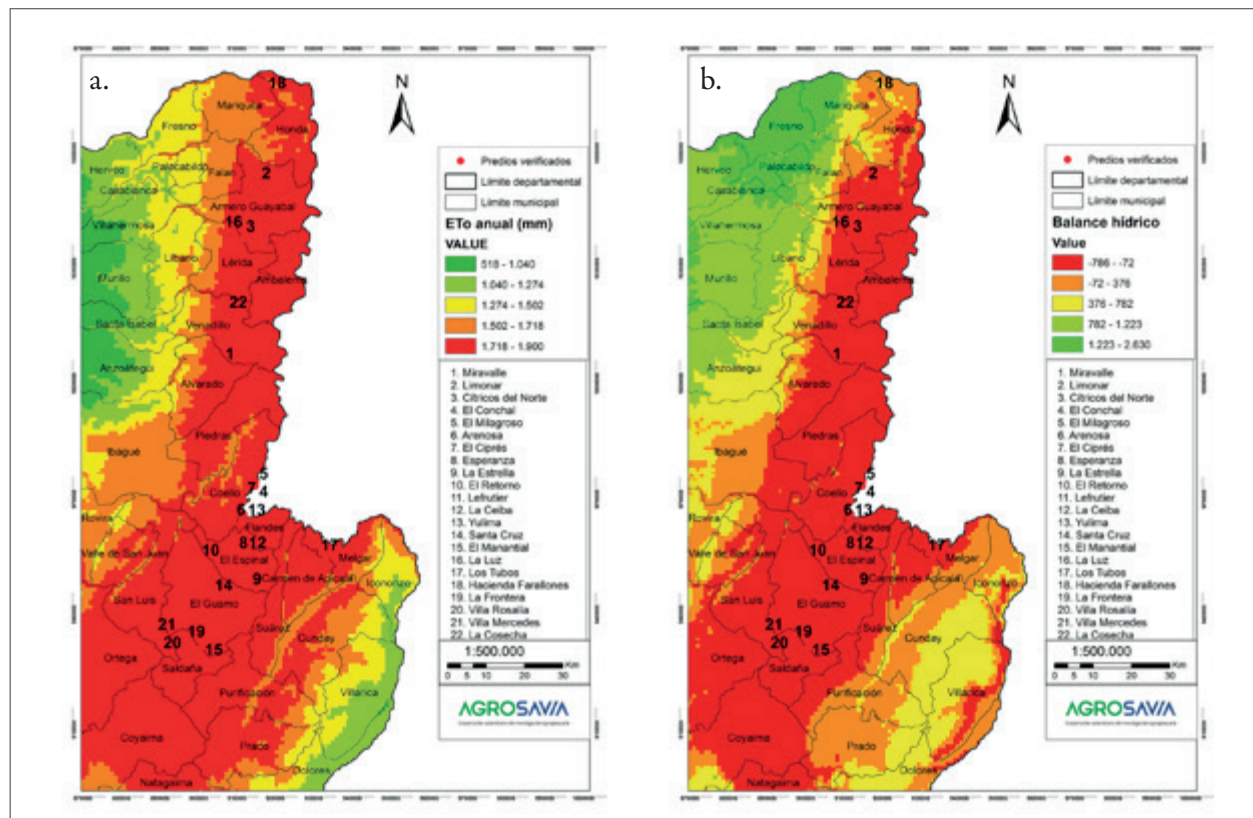
En promedio, los valores de déficit de precipitación más altos (> 90 mm) se presentan en todos los predios durante los meses de enero, julio y agosto. En abril, mayo y octubre no se presenta déficit hídrico en ninguno de los predios verificados, tomando como referencia el balance: precipitación menos evapotranspiración.

Sin embargo, este balance positivo que sucede en algunos meses no implica un efecto igualmente positivo (prevención o disminución) en la fisiopatía,

pues se debe considerar cuánta de esa precipitación se queda almacenada en el suelo y durante cuánto tiempo, hasta que llueva de nuevo.

Cuando la condición ambiental de temperaturas altas y déficit hídrico es continua, como ocurre en la zona de estudio, suceden fallas sistémicas y daños estructurales permanentes (Pérez-Pérez et al., 2010); en el caso de la fisiopatía, cavitación y ruptura de traqueidas. Con la falla del sistema vascular, la planta deja de captar nutrientes y agua, y, en consecuencia, el tejido muere.

La muerte de árboles observada en los huertos del Tolima es secuencial. La planta presenta daños sectorizados, que se expresan en la deshidratación y marchitez del tejido (hojas, tallos y frutos). Esta expresión es una clara muestra del inadecuado manejo hídrico del huerto, pues un riego suplementario correctamente aplicado podría contribuir a superar la condición climática.



**Figura 4.** Análisis de balance hídrico en la zona de estudio. a. Evapotranspiración (mm/año) media anual; b. Balance hídrico total anual (mm/año).

Fuente: Adaptada de Hijmans et al. (2005)

## Manejo hídrico

En cuanto al manejo hídrico, a excepción del predio La Luz en el municipio de Lérica, todos los demás reportan la aplicación de riego, y el sistema más común es la microaspersión. El riego se realiza sin ningún estudio previo en el que se haya determinado el uso efectivo que el cultivo hace del agua, y, en algunos casos, lo llevan a cabo incluso en horas de la noche.

Respecto a las fincas de Coello, El Espinal y Flandes, antes del estudio los productores contaban con un análisis físico de suelos, que indicaban que tenían una baja retención de humedad. Sin embargo, estos resultados no se habían tenido en cuenta para la programación del riego. En estas fincas, el riego se hace en promedio con una frecuencia de tres días, en periodos de dos a tres horas, y resulta completamente insuficiente.

En lo que se refiere al análisis de almacenamiento del suelo, los resultados de este estudio muestran que el punto de marchitez permanente (PMP) se alcanza en menos de 18 horas. Es decir, los huertos con frecuencias de riego de tres días permanecen en completo déficit hídrico durante más de 50 horas.

A la temporalidad se suma la forma de aplicación. Se observa la predominancia del riego por microaspersión con un solo emisor para la totalidad del área de raíces, sin posibilidad de cambio de posición. Esto implica que solo un porcentaje del área de las raíces está siendo hidratado, lo que explica que el daño fisiopático observado sea sectorizado.

## Caracterización edáfica

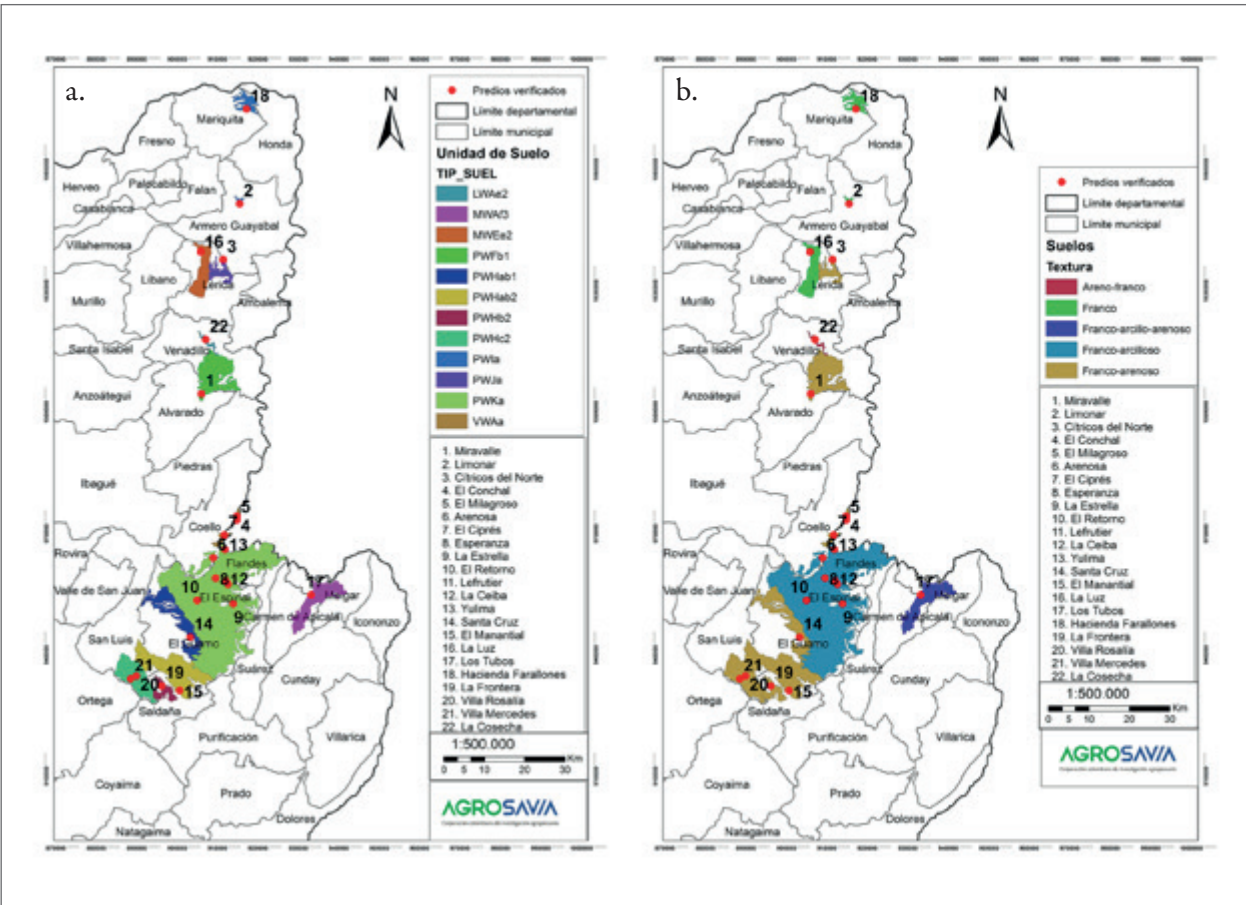
Según la cartografía del IGAC, a escala 1:100.000, los huertos de lima ácida Tahití están distribuidos en 11 unidades de suelos (figura 5), y la más común es la unidad PWKa, en la que se ubican siete huertos, que presenta relieves planos con pendientes del 1 % al 3 %, así como un clima cálido seco, y corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical (Cortolima, 2006). Su material parental está constituido por

sedimentos aluviales recientes, que cubren depósitos de toba.

Le sigue la unidad VWaA, con tres huertos (tabla 2), que está localizada a lo largo del río Magdalena, en clima cálido seco. Sus suelos han evolucionado a partir de aluviones recientes, finos y medios (Cortolima, 2006). En la tabla 2, se muestra que en la zona donde se produce lima ácida Tahití en el Tolima se tienen diferentes capacidades de uso del suelo, dadas sus características físicas, el relieve y limitantes naturales y antrópicos para la producción agrícola. En inmediaciones de Coello y El Espinal los suelos presentan leves limitaciones a las prácticas agrícolas, más requieren un adecuado manejo para su conservación, a ello se refiere la clase IIs. Respecto de la clase IIIs, ubicada cercana Mariquita y Armero-Guayabal, los suelos tienen moderadas limitaciones para la producción y al igual que en la clase IIs, el principal limitante lo representan capas compactas que bloquean la penetración de las raíces en profundidad. Hacia los municipios de San Luis, Guamo y Saldaña los suelos son clase IVs y IVes, limitados por procesos de erosión y bloqueo a la penetración de las raíces. La clase VIIt, ubicada en Venadillo y Lérica indica que son suelos de baja fertilidad con severas limitaciones de uso, reservados para cultivos perennes con intensivas prácticas de manejo para su conservación. En Melgar se observa una clase VIII, lo cual indica que estas tierras no tienen capacidad de uso agrícola y son de estricta conservación (IGAC, 2004).

La nomenclatura de las unidades indica que la totalidad de los huertos presenta un clima cálido seco (w), 15 de ellos se ubican en un paisaje de piedemonte (p), 3 en uno de valles, 2 en montaña y uno en lomerío. La mayoría de estas unidades posee suelos superficiales bien drenados.

En cuanto a la textura, 10 de los 21 huertos tienen suelos franco-arenosos (FA), mientras que en 7 de ellos es franco-arcillosa (FAr) (figura 5; tabla 2). En promedio, los huertos tienen una profundidad efectiva de mínimo 40 cm, ideal para el buen desarrollo del cultivo.



**Figura 5.** Suelos de la zona de estudio. a. Unidades de suelo; b. Textura de las fincas verificadas.  
Fuente: Adaptada de Malagón-Castro, Pulido-Roa, Llinás-Rivera, Chamorro-Bello, & Fernández-Lamus (1995)

**Tabla 2.** Unidades de suelo y textura de los huertos de lima ácida Tahití

<b>Id</b>	<b>Municipio</b>	<b>Predio</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Capacidad de uso*</b>	<b>Textura</b>
22	Venadillo	La Cosecha	Lwae2	VIIt	Areno-franco
17	Melgar	Los Tubos	Mwaf3	VIII	Franco-arcillo-arenoso
16	Lérida	La Luz	Mwee2	VIIt	Franco
1	Alvarado	Miravalle	Pwfb1	IVs	Franco-arenoso
14	Guamo	Santa Cruz	Pwhab1	IVs	Franco-arenoso
15	Guamo	El Manantial	Pwhab2	IVes	Franco-arenoso
19	Saldaña	La Frontera	Pwhb2	IVes	Franco-arenoso
20	San Luis	Villa Rosalía	Pwhc2	IVes	Franco-arenoso

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Id	Municipio	Predio	Tipo de suelo	Capacidad de uso*	Textura
21	San Luis	Villa Mercedes	Pwhc2	IVes	Franco-arenoso
2	Armero-Guayabal	El Limonar	Pwia	IIIs	Franco
18	Mariquita	Farallones	Pwia	IIIs	Franco
3	Armero-Guayabal	Cítricos del Norte	Pwja	IVs	Franco-arenoso
6	Coello	La Arenosa	Pwka	IIs	Franco-arcilloso
8	El Espinal	La Esperanza	Pwka	IIs	Franco-arcilloso
9	El Espinal	La Estrella	Pwka	IIs	Franco-arcilloso
10	El Espinal	El Retorno	Pwka	IIs	Franco-arcilloso
11	El Espinal	Lefrutier	Pwka	IIs	Franco-arcilloso
12	El Espinal	La Ceiba	Pwka	IIs	Franco-arcilloso
13	Flandes	Yulima	Pwka	IIs	Franco-arcilloso
4	Coello	El Conchal	Vwaa	IIs	Franco-arenoso
5	Coello	El Milagroso	Vwaa	IIs	Franco-arenoso
7	Coello	El Ciprés	Vwaa	IIs	Franco-arenoso

Fuente: Elaboración propia

## Hidrodinámica

La caracterización del movimiento del agua en el suelo se realizó para tres de los predios vinculados al estudio: El Ciprés (Coello), La Ceiba (El Espinal) y Yulima (Flandes). Los suelos de esta zona pertenecen al abanico de El Espinal, formados por erupciones del volcán cerro Machín, con flujos piroclásticos y depósitos que, al ser lavados, generaron flujos de lodo que se canalizaron a través del río Coello y llegaron hasta el valle del río Magdalena, donde se acumularon (Cortolima, 2006; Ingeominas, 1998).

En las fincas La Ceiba y Yulima, la *conductividad hidráulica* se encuentra entre 0,33 y 0,69 m/día, que es catalogada como moderada y, dadas las

condiciones de suelos arenosos, causa problemas de compactación. En la finca El Ciprés (Coello), se presentó moderadamente rápida, lo que indica un buen drenaje interno. En estas condiciones, la humedad no reside, no se almacena en la zona de raíces, y se infiltra a horizontes más profundos, lo que implica que el balance hídrico en el suelo pueda ser negativo en un muy corto plazo, incluso en menos de un día.

Respecto a la *infiltración básica*, en Yulima se cataloga como moderada, con un promedio de 15,9 mm/h que, ante lluvias que sobrepasen estos valores de infiltración, hace probable el encharcamiento. En tanto, en La Ceiba es rápida (36,4 mm/h) en los primeros 20 cm de profundidad.



Por su parte, en El Ciprés, la infiltración básica es muy rápida (154,1 mm/h), lo cual indica que no deberían presentarse problemas de encharcamiento. Este parámetro también indica que estos suelos tienen problemas de almacenamiento, tanto en capas superficiales como en profundidad, lo que minimiza los periodos en los cuales las plantas tienen agua disponible.

La *resistencia mecánica* a la penetración, determinada con la metodología propuesta por Pla (1998), hace alusión al esfuerzo que debe hacer la raíz para explorar el suelo. En términos de compactación, el suelo de la finca Yulima muestra una restricción ligera al desarrollo de las raíces en los primeros 5 cm de profundidad, con una resistencia de 3,7 MPa. En adelante, y hasta los 17 cm, la restricción aumenta; es decir, el desarrollo de raíces se hace más difícil y la resistencia está por encima de 5,0 MPa. La medición con el penetrómetro solo fue posible hasta este punto.

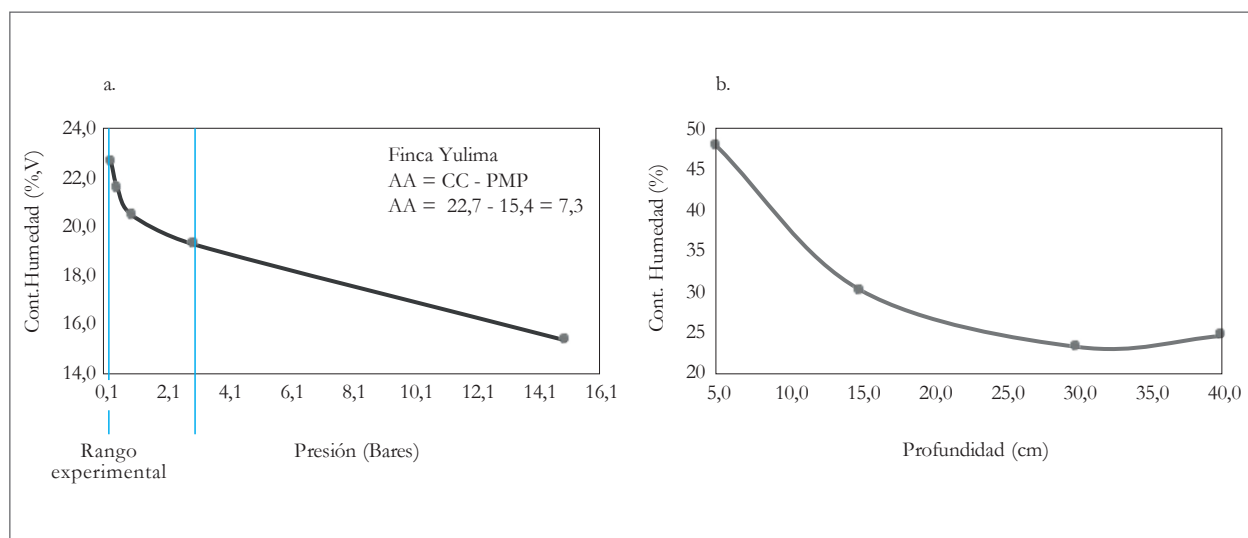
A su vez, en La Ceiba la restricción es ligera en los primeros 40 cm, con resistencias de alrededor de 3,0 MPa, y en adelante se torna alta (> 4,0 MPa), debido a la presencia de una capa endurecida. Una vez que se supera esa capa, vuelve a ser ligera (< 3,0 MPa), pero vale la pena señalar que más allá de ella no se encuentran raíces.

Mientras tanto, en El Ciprés, la restricción es ligera (alrededor de 3,0 MPa) en la capa superficial, se torna alta después de los 10 cm (> 3,5 MPa), y continúa así en profundidad. Esto podría deberse a que en la matriz del suelo se encuentra una espesa capa continua de grava gruesa, que bloquea la penetración del equipo.

Esta condición generalizada en los sitios de estudio, donde la raíz posee límites para su desarrollo, podría generar plantas con raíces muy superficiales, lo que puede ocasionar volcamientos en plantas maduras y una rápida deshidratación. Asimismo, esta limitación, aunada a un contenido y una distribución de humedad bajos, impiden que la planta explore un mayor volumen de suelo, lo que minimiza el aporte a la demanda atmosférica y aumenta la resistencia al movimiento en el sistema aéreo (Rodríguez-Gamir et al., 2010).

#### Almacenamiento de agua en el suelo

El suelo de la finca Yulima presenta un bajo almacenamiento de agua en la zona de raíces, con una CC del 22,7 %, un PMP del 15,4 %, y solo un 7,3 % de almacenamiento (figura 6a), lo que implica que la cantidad de agua que las plantas pueden aprovechar en realidad sea aún menor (Pérez, 2008). Es preciso recordar que estos suelos son de origen coluvio-aluvial,



**Figura 6.** Características de almacenamiento del suelo para la finca Yulima. a. Curva de retención de humedad. b. Almacenamiento (nivel de CC) a diferentes profundidades.

Fuente: Elaboración propia

con materiales depositados por erupciones del volcán cerro Machín y sedimentos de los ríos Coello, Cucuana y Magdalena (Ingeominas, 1998).

En términos generales, estos materiales otorgan porosidad y aeración adecuadas, pero afectan el almacenamiento de agua, dado el escaso aporte de sedimentos finos (Cortolima, 2006). Se evidencia una limitación física a los 15 cm de profundidad en el suelo (figura 6b), ya que se presenta una gran cantidad de rocas continuas, que impiden el desarrollo de las raíces y, claramente, disminuyen la retención de la humedad.

En la finca Yulima, el productor reportó que hace un riego con periodos modales de tres horas y una frecuencia de dos días. Este manejo implica que la planta permanece en déficit la mayor parte del tiempo, aunque sea regada con un alto volumen de agua. Simulando un proceso de riego, con una humedad inicial del 15,6%, la CC del suelo (un 23 %, aproximadamente) se logró treinta minutos después de haberlo iniciado.

Más adelante, un sensor de humedad del suelo, ubicado a 20 cm de profundidad, registró una humedad del 33,8 % durante la siguiente hora de riego, es decir que el suelo se encontraba saturado y la humedad no aumentó con el tiempo. Una vez que el riego se suspendió, el drenaje tardó 15 minutos en llegar de nuevo a la CC. Lo anterior indica que, aunque el agua continúe aplicándose infinitamente, la humedad no se almacena más allá de la CC, y que solo es necesario aplicar agua durante 0,5 horas para lograr el almacenamiento máximo adecuado para este tipo de suelo.

Por otra parte, el suelo de la finca La Ceiba presentó una baja retención de humedad. Se realizó una exploración en profundidad con un barreno tipo holandés, para identificar a qué profundidad se encontraban las raíces y la presencia de alguna barrera o capa compactada en el perfil, teniendo en cuenta los procesos de encharcamiento que se apreciaron en la superficie.

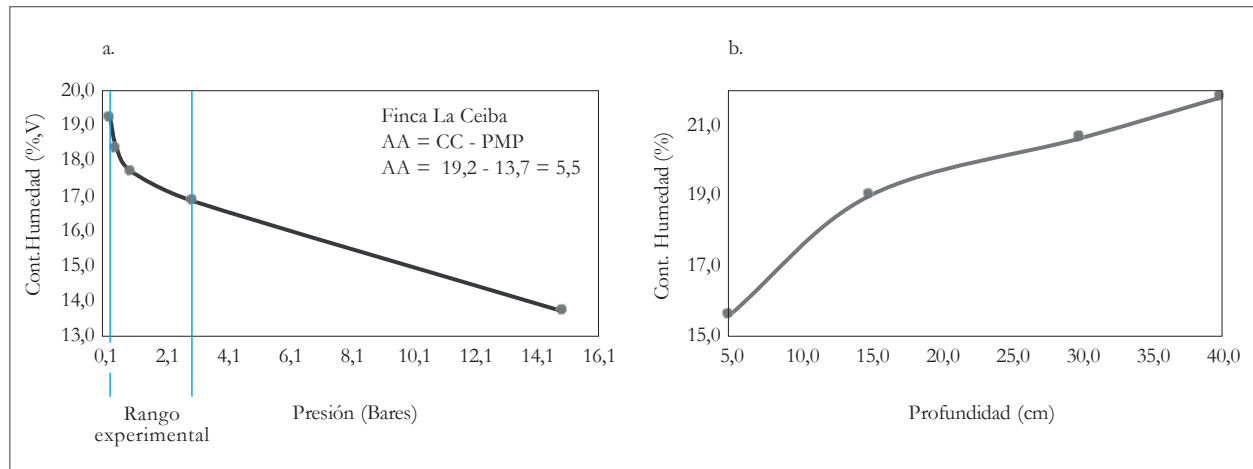
Se observó que el mayor porcentaje de raíces estaba en los primeros 15 cm. A partir de esta profundidad y hasta los 40 cm, había un predominante afloramiento de arenas, con algún grado de compactación, tanto en superficie como en profundidad (densidad aparente: 1,5). Desde los 40 cm, se presentó una limitación física, representada en una capa compacta de difícil penetración, que afectaba el desarrollo de las raíces.

Esta capa hace el papel de “fondo”, que con excesos hídricos causa un “llenado”, que provoca un encharcamiento en profundidad, que aflora a la superficie y puede mantenerse hasta 24 horas. Esta condición es generalizada en el huerto, mas no homogénea, lo cual indica que en algunos sitios este horizonte endurecido está ausente o ha sufrido una ruptura.

El nivel de almacenamiento, definido como agua aprovechable (AA), es claramente bajo, un 5,5 %, la CC un 19,2 % y el PMP un 13,7 % (figura 7a). En la figura 7b se observa un aumento de la humedad en profundidad, que puede deberse al depósito de materiales finos, que penetran fácilmente los primeros 30 cm entre las arenas y después encuentran una limitación en su tránsito en profundidad y, por consiguiente, se depositan.

Es preciso mencionar que en este predio no es recomendable romper la capa endurecida presente en los 40 cm, ya que, más allá de este depósito, se encuentran horizontes permeables (Ingeominas, 1998). El rompimiento de la capa permitiría el flujo en profundidad del agua, que generaría desbalances hídricos aún más drásticos que los causados por la oferta ambiental.

La recomendación para esta situación sería ajustar el suministro hídrico en función de los procesos de almacenamiento, evitando causar excesos hídricos que lleven el perfil al nivel de llenado, incrementar la frecuencia de riego diario con periodos cortos, según la recomendación del contenido de humedad adecuado para el cultivo.



**Figura 7.** Características de almacenamiento del suelo para la finca La Ceiba. a. Curva de retención de humedad; b. Almacenamiento (nivel de CC) a diferentes profundidades.

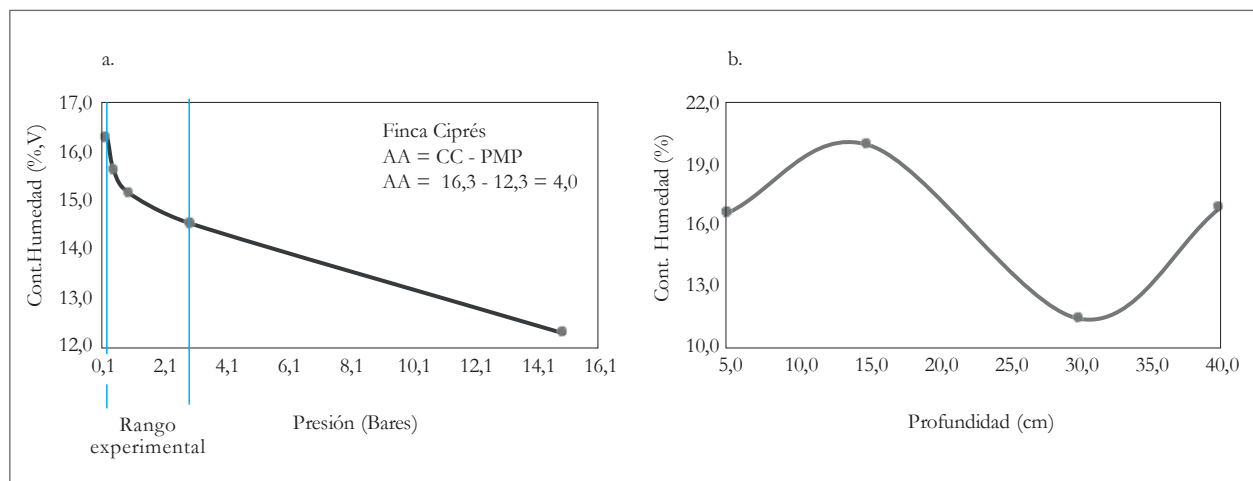
Fuente: Elaboración propia

Por su parte, el suelo de la finca El Ciprés presenta una textura arenosa (A) en profundidad, con muy poca capacidad de almacenamiento (Pérez, 2008), con una CC del 16,3% y un PMP del 12,3%, por lo cual el almacenamiento representa solo un 4,0% (figura 8a). Se realizó una exploración en profundidad y se observó que el mayor porcentaje de raíces se desarrolla en los primeros 40 cm.

Debido al consumo de la planta, la evaporación y el drenaje interno, este suelo se seca rápidamente.

Además de la presencia excesiva de arenas, en el perfil (de 15 a 40 cm) existe una capa continua de rocas, lo cual representa una limitación física para el desarrollo de las raíces y la retención de humedad.

Alrededor de los 15 cm, la presencia de raíces y materia orgánica mejora el almacenamiento, aunque no significativamente (figura 8b). Cabe señalar el efecto limitante de las rocas en profundidad, donde se observa que, entre los 15 y 30 cm, el suelo presenta una disminución en el almacenamiento.



**Figura 8.** Características de almacenamiento del suelo para la finca El Ciprés. a. Curva de retención de humedad en la finca; b. Almacenamiento (nivel de CC) a diferentes profundidades.

AA: agua aprovechable; CC: capacidad de campo.

Fuente: Elaboración propia

Al simular el evento de riego, la humedad alcanzó rápidamente la CC. Se permitió que se drenara hasta “secarse”, con una presión de 3,0 bares (14,5 % de humedad) en 2,5 horas. La humedad continuó disminuyendo hasta llegar al PMP en un promedio de 18 horas. Es decir, si se trata de un riego con una frecuencia de 24 horas (típicamente, los productores lo hacen cada 72 horas), cuando se llega al siguiente, hace 6 horas que la planta dejó de tener agua disponible. Esta pérdida excesiva de humedad se da sobre todo por el drenaje interno cuando finaliza la aplicación del riego hasta llegar a la CC.

### Análisis biofísico

Los resultados de la caracterización edafoclimática muestran un cultivo frutal perenne, expuesto a una situación de déficit hídrico durante una gran parte del año, a causa de las condiciones climáticas, en las que la demanda atmosférica supera a la oferta de precipitaciones en un 34 %.

Al clima se suma la condición de suelos arenosos, altamente drenantes, y en algunos casos con pendientes, que aumentan el drenaje. Adicionalmente, los huertos no poseen sistemas de riego que permitan compensar el déficit, y los productores que los tienen realizan la labor de manera empírica, sin sistemas controlados ni recomendaciones técnicas del uso de agua de la planta.

La problemática consiste entonces en huertos de cítricos sometidos a un déficit hídrico que, como lo manifiestan García-Sánchez, Carvajal, Porras, Botía y Martínez (2003) y Quiñones, Martínez-Alcántara y Legaz (2007), se ven afectados negativamente en sus funciones fisiológicas: fotosíntesis, respiración, reacciones metabólicas y anatómicas, crecimiento, reproducción, desarrollo de semillas, absorción de nutrientes minerales, transporte de asimilados y producción.

De acuerdo con Ballester, Castel, Intrigliolo y Castel (2011), el efecto del estrés depende de la intensidad del déficit, de su duración y de la época en la que ocurre dentro del ciclo del cultivo. Debe tenerse en cuenta que en la zona la lima ácida Tahití tiene

dos picos de producción, con floraciones alrededor de febrero y marzo para el primer ciclo, y agosto y septiembre para el segundo.

Por consiguiente, aunque beneficia la inducción de la floración, el déficit podría estar afectando los procesos de cuajado y llenado del fruto (González-Altozano & Castel, 2003; Vélez et al., 2012). Como efecto del déficit, en este caso se observaron huertos que, a partir de los cuatro años y en algunos casos desde los dos, presentan la fisiopatía, que afecta la sanidad del árbol y limita el desarrollo de estructuras, hasta la muerte prematura.

### Conclusiones

La zona de estudio, considerada una de las más importantes en la producción de lima ácida Tahití en el país, tiene una condición edafoclimática que se caracteriza por altas temperaturas, demanda atmosférica elevada, bajas precipitaciones, escaso almacenamiento de agua en el suelo y, por tanto, déficit hídrico para el mantenimiento productivo y la sanidad de los huertos.

Esta condición ambiental ha potenciado el desarrollo de una fisiopatía en las plantas productoras, lo cual ha generado el deterioro del árbol, la caída de la producción y, en muchas ocasiones, la muerte. El déficit hídrico podría ser superado con un manejo adecuado del riego, ya que constituye el factor de mayor relevancia en lo que respecta a la fisiopatía.

Los productores no riegan de manera correcta. Lo hacen con una frecuencia de 72 horas, en un ambiente productivo donde el agua aprovechable se agota en menos de 7 horas. Es decir, las plantas están permanentemente expuestas a situaciones que generan estrés, e impiden su normal comportamiento vegetativo y productivo. En estas condiciones biofísicas, los huertos deben ser regados con frecuencias no mayores a 7 horas, es decir, 2 veces al día en horas de luz, llevando al suelo a un contenido hídrico cercano a la capacidad de campo.

## Recomendaciones

El drenaje en los sitios estudiados es eficiente y acelerado, dada la presencia de materiales gruesos dispuestos por la dinámica del río Magdalena y sus tributarios. Algunos huertos se ubican en pendiente, por lo cual el depósito de materiales es diferencial; esto hace que se presenten horizontes de grava profundos en los sectores cercanos al río, y someros en las zonas más altas del huerto. Esta condición poco homogénea de las condiciones de almacenamiento del agua implica que el manejo del riego debe ser diferencial.

En los huertos estudiados, sería recomendable adicionar materia orgánica, que ayude a mejorar la retención de humedad y las propiedades físico-químicas del suelo.

Asimismo, es necesario mejorar la frecuencia de aplicación de la nutrición, ya que se ha comprobado que los productores realizan fertilizaciones cada cuatro meses, algunos cada seis. Como se recomienda con el riego, la nutrición debe tener una mayor frecuencia, pues la baja capacidad de retención incluye también a los nutrientes, que pueden ser lavados con los altos volúmenes de riego aplicados por los productores, un problema intensificado por la falta de partículas de arcilla que los retengan.

## Agradecimientos

A Jairo García, exinvestigador PhD de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y a Eleonora Rodríguez, investigadora PhD de la misma institución, por su participación en la fase previa de esta investigación. A la Asociación de Productores del Limón del Valle del Magdalena (Yuma), por su apoyo con la información acerca de huertos de lima ácida Tahití, y por convenios de investigación entre productores y AGROSAVIA. A los ingenieros Nury Triana, Fernando Escovar, Alfonso Montaña y Andrés Rincón, por ceder los huertos para el desarrollo del proyecto, y al editor en jefe de la revista, el doctor Takumasa Kondo, por su valioso apoyo en la versión preliminar del manuscrito.

## Descargos de responsabilidad

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por la financiación de este estudio, están de acuerdo con la publicación del presente artículo y declaran que no existe ningún conflicto de interés que afecte los resultados.

## Referencias

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements* [FAO Irrigation and drainage paper 56]. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO).
- Almeyda-León, I. H., Iracheta-Cárdenas, M. M., Jasso-Argumedo, J. J., Curti-Díaz, S. A., Ruiz-Beltrán, P., & Rocha-Peña, M. A. (2002). Reexamination of citrus viroids of Tahiti lime in Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20, 152-160.
- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2011). Response of Clementina de Nules citrus trees to summer deficit irrigation. Yield components and fruit composition. *Agricultural Water Management*, 98(6), 1027-1032.
- Calavan, E. C. (1957). *Wood pocket* disease of lemons and seedless limes. *California Citrograph*, 42(7), 265-268.
- Castro-Díez, P., Godoy, O., Saldaña, A., & Richardson, D. M. (2011). Predicting invasiveness of Australian acacias on the basis of their native climatic affinities, life history traits and human use. *Diversity and Distributions*, 17(5), 934-945.
- Cianci, D., Hartemink, N., & Ibáñez-Justicia, A. (2015). Modelling the potential spatial distribution of mosquito species using three different techniques. *International Journal of Health Geographics*, 14(1), 10. doi:10.1186/s12942-015-0001-0.
- Colburn, B., & Goldweber, S. (1971). Certified Lime Clone Status. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 84, 305-307.
- Coral, A., García-Tommaselli, J., & Leal, A. C. (2015). Cálculo de balance hídrico usando modelamiento de datos espaciales: estudio aplicado a la cuenca del río Buena Vista, Ecuador. *Formação*, 1(22), 119-137.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima). (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca mayor del río Coello*. Recuperado de <https://www.cortolima.gov.co/estudios>.
- Cronemberger, F. M., Vicens, R. S., Bastos, J. S., Fevrier, P. V. R., & Barroso, G. M. (2011). Mapeamento Bioclimático do Estado do Rio de Janeiro. Em Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)* (pp. 5745-5752). Curitiba, Brasil: INPE
- De Carvalho-Alves, M., De Carvalho, L. G., Vianello, R. L., Sediya, G. C., De Oliveira, M. S., & De Sá-Junior, A. (2013). Geostatistical improvements of evapotranspiration spatial information using satellite land surface and weather stations data. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(1-2), 155-174.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Washington, EE. UU.: USDA.
- Droogers, P., & Allen, R. G. (2002). Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and Drainage Systems*, 16(1), 33-45.
- Evangelista, P., Young, N., & Burnett, J. (2013). How will climate change spatially affect agriculture production in Ethiopia? Case studies of important cereal crops. *Climatic Change*, 119(3-4), 855-873.
- Fawcett, H., & Calavan, E. (1948). *Wood pocket*: may be result of virus or toxin in parent tree in certain strain of Lisbon lemon. *California Agriculture*, 2(9), 12-15.
- García de Pedraza, L. (1982). Fisiopatías de origen atmosférico. Su carácter local o adventicio. *Boletín del Servicio de Plagas*, 8(2), 127-141.
- García-Sánchez, F., Carvajal, M., Porras, I., Botía, P., & Martínez, V. (2003). Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of 'Fino 49' lemon. *European Journal of Agronomy*, 19(3), 427-437.
- Garnier, M., Zreik, L., & Bové, J. M. (1991). Witches' broom, a lethal mycoplasmal disease of lime trees in the sultanate of Oman and the United Arab Emirates. *Plant Disease*, 75(6), 546-551.
- González-Altozano, P., & Castel, J. R. (2003). Riego deficitario controlado en "Clementina de Nules". II: Efectos sobre el crecimiento vegetativo. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(2), 93-101.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.
- Henríquez-Dole, L., & Miner-Vega, A. J. (2014). Revisión y validación de la evapotranspiración potencial (ETP) media anual y media mensual en Honduras obtenida por métodos ambientales de percepción remota. *Ciencia y Tecnología*, (14), 77-98.
- Hernández, D., Mateus, D., & Orduz-Rodríguez, J. (2015). Características climáticas y balance hídrico de la lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en cinco localidades productoras de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 217-229.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965-1978.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
- Holland, H. (1978). *The chemistry of the atmosphere and oceans*. Nueva York, EE. UU.: Wiley.
- Holt, A. C., Salkeld, D. J., Fritz, C. L., Tucker, J. R., & Gong, P. (2009). Spatial analysis of plague in California: niche modeling predictions of the current distribution and potential response to climate change. *International Journal of Health Geographics*, 8(1), 1-14. Recuperado de <https://ij-healthgeographics.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1476-072X-8-38>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Tolima* [Memoria técnica]. Bogotá, Colombia: Autor.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2005). *Atlas climatológico de Colombia: Segunda parte. Distribución espacio-temporal de las variables del clima*. Recuperado de [http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile487&downloadname=E%3A%5CPortal%5CAtlas%20Climatologico\\_Segunda%20Parte.pdf](http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile487&downloadname=E%3A%5CPortal%5CAtlas%20Climatologico_Segunda%20Parte.pdf).
- Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (Ingeominas). (1998). *Memorias. Mapa geológico de Colombia*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Klotz, L. J., Calavan, E. C., & Weathers, L. G. (1972). *Virus and viruslike diseases of citrus* (Circular 559). Berkeley, EE. UU.: University of California.
- Knorr, L. C., Suit, R. F., DuCharme, E. P. (1957). *Handbook of citrus diseases in Florida* (Bulletin 587). Gainesville, EE. UU.: University of Florida.
- Kumar, S., & Stohlgren, T. J. (2009). Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 1(4), 94-98.
- Läderach, P., Martínez-Valle, A., Schroth, G., & Castro, N. (2013). Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. *Climatic Change*, 119(3-4), 841-854.
- Läderach, P., Schepp, K., Ramírez, J., Jarvis, A., & Eitzinger, A. (2010). Impacto del cambio climático para el cultivo de café en Nicaragua. En C. Martínez-Alonso (Ed.). *Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina: libro de actas del seminario internacional Siasse 2008* (Manual técnico N.º 99) (pp. 54-64). Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie).
- Malagón-Castro, D., Pulido-Roa, R. D., Llinás-Rivera, C., Chamorro-Bello, C., & Fernández-Lamus, J. (1995). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Melgar, J. C., Dunlop, J. M., & Syvertsen, J. P. (2010). Growth and physiological responses of the citrus rootstock Swingle citrumelo seedlings to partial rootzone drying and deficit irrigation. *The Journal of Agricultural Science*, 148(5), 593-602.
- Pérez-García, N. (2008). *Determinación de curvas características en suelos no saturados con celdas de presión* [Publicación técnica N.º 313]. San Fandila, México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Pérez-Pérez, J. G., García, J., Robles, J. M., & Botía, P. (2010). Economic analysis of navel orange cv. 'Lane late' grown on two different drought-tolerant rootstocks under deficit irrigation in South-eastern Spain. *Agricultural Water Management*, 97(1), 157-164.
- Pla, I. (1998). *Modelling the processes of dissolution and precipitation of salts in soils as related to management of irrigation and drainage*. Trabajo presentado en el 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Montpellier, Francia. Recuperado de <http://nates.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp29/349-r.pdf>.
- Quiñones, A., Martínez-Alcántara, B., & Legaz, F. (2007). Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122(3), 399-409.
- Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario (Agronet). (2016). *Estadísticas. Agrícola. Área, producción, rendimiento y participación* [Bases de datos]. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>.
- Rodríguez-Gamir, J., Primo-Millo, E., Forner, J. B., & Forner-Giner, M. A. (2010). Citrus rootstock responses to water stress. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 95-102.
- Roistacher, C. N. (2001). *Wood Pocket*. A genetic disorder in the larger fruited lime. En Citrus Nurserymen's Association, *Proceedings of the 6th Congress International Citrus Nurserymen's Association* (pp. 312-315). Ribeirão Preto, Brazil: Autor.
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Broderson, W. D. (1998). *Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos*. Lincoln, EE. UU.: USDA.
- Schroth, G., Läderach, P., Cuero, D. S., Neilson, J., & Bunn, C. (2015). Winner or loser of climate change? A modeling study of current and future climatic suitability of Arabica coffee in Indonesia. *Regional Environmental Change*, 15(7), 1473-1482.
- Tafur, R., Toro, J. C., Perfetti, J. J., Ruiz, D., & Morales J. R. (2006). *Plan Frutícola Nacional (PFN)* [Documento técnico]. Recuperado de [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_14\\_FINAL%20PFN%20COMPLETO.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_14_FINAL%20PFN%20COMPLETO.pdf).
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Topete-Ángel, J. P., Ruiz-Corral, J. A., Ron-Parra, J., González-Eguarte, D. R., Ramírez-Ojeda, G., & Durán-Puga, N. (2014). Utilizando el modelo Newhall para representar el impacto real del cambio climático en la humedad de suelo en Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 1859-1870.
- Vaca, R. A., & Golicher, D. J. (2016). Integración del balance hídrico en la modelación de la distribución de especies de árboles mexicanos. *Botanical Sciences*, 94(1), 25-42.
- Vélez, J. E., Álvarez-Herrera, J. G., & Alvarado-Sanabria, O. H. (2012). El estrés hídrico en cítricos (*Citrus* spp.): una revisión. *Orinoquia*, 16(2), 31-39.
- Zomer, R. J., Bossio, D. A., Trabucco, A., Yuanjie, L., Gupta, D. C., & Singh, V. P. (2007). *Trees and water: smallholder agroforestry on irrigated lands in Northern India* [Research report N.º 122]. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
- Zomer, R. J., Trabucco, A., Bossio, D. A., & Verchot, L. V. (2008). Climate change mitigation: a spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1-2), 67-80.

