

**INFLUENCIA DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN ALGUNOS
PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum*
Cav.)**

TATIANA ALEJANDRA ROSERO ROJAS

JESSEL DANIELA SOLARTE GUERRERO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO
2019**

**INFLUENCIA DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN ALGUNOS
PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum*
Cav.)**

TATIANA ALEJANDRA ROSERO ROJAS

JESSEL DANIELA SOLARTE GUERRERO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar a título profesional en:
Ingeniero Agrónomo**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO
2019**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado, son responsabilidad del autor”

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Javier García Álzate
Jurado

Lucio Eduardo Legarda Burbano
Jurado

Jairo Mosquera Guerrero
Presidente

San Juan de Pasto, 2019

DEDICATORIA

Con todo mi amor, dedico este trabajo de grado a mi hermano, mi luz y mi ángel Luis Fernando Rosero Rojas, quien confió en mí en cada instante de la vida y me apoyó cuando más lo necesité. Agradezco sus palabras reconfortantes, sus consejos y cariño que me guiaron para convertirme en la persona que soy hoy en día. Agradezco su amistad, su don de gente y su vibrar. Gracias por cada sonrisa, cada palabra, cada momento compartido y la huella indeleble que dejaste en mí corazón. Te amaré eternamente.

Tatiana Alejandra Rosero Rojas

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirnos, ser el motor de nuestras vidas y darnos fuerzas para continuar.

A nuestros padres por amarnos y apoyarnos incansablemente para alcanzar cada objetivo, ser los principales promotores de nuestros sueños y construirnos alas para aprender a volar.

A nuestros hermanos Stephany Rosero y Juan David Solarte por su amor, sus consejos y su ayuda constante para alcanzar cada peldaño en nuestras vidas.

De manera especial, al doctor Jairo Hernan Mosquera Guerrero, por habernos guiado y asesorado, no sólo en la elaboración de este trabajo sino a lo largo de nuestra carrera. Gracias por sus enseñanzas, sugerencias y el tiempo dedicado.

A los doctores Javier García Alzate y Lucio Legarda, jurados de este trabajo de investigación, por sus valiosos aportes, correcciones, enseñanzas, y quienes como docentes nos han visto crecer profesionalmente.

A los señores Lucio y Miguel Figueroa por ofrecer sus instalaciones para el desarrollo de este trabajo de investigación y ser partícipes de todo el proceso.

A la empresa de fertilizantes NUTRIMON, en especial al M. Sc Juan Felipe España, al Grupo de Investigación Frutales Andinos de la Universidad de Nariño, al M. Sc. Carlos Andrés Benavides y al Ingeniero Roberto Argoty por el apoyo y la colaboración

A la memoria de Jorge Armando Paz por sus aportes valiosos y enseñanzas.

A Luis Ignacio Salazar, Mario Fernando Eraso y Santiago Chamorro Benavides quienes nos han apoyado, acompañado y ayudado constantemente de manera desinteresada en el transcurso de este largo proceso.

Finalmente, a nuestras familias y amigos quienes con su apoyo moral y cariño nos han contribuido de alguna u otra forma para culminar con éxito la meta propuesta.

Influencia de Riego Deficitario Controlado en algunos parámetros fisiológicos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

Influence of Controlled Deficitary Irrigation in some tissue physiological parameters of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.)

Tatiana Rosero R.¹; Jessel Solarte G.¹

¹. Estudiantes de pregrado para optar el título de Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. roserorojas29@gmail.com

RESUMEN

El tomate de árbol es un cultivo de importancia para Colombia debido a su potencial en la industria y consumo en fresco, sin embargo, su rendimiento se ve afectado principalmente por prácticas de manejo inadecuadas, factores ambientales y fitosanitarios, oferta tecnológica y disponibilidad hídrica, la cual ha disminuido por efectos de la variabilidad climática y su explotación ineficiente. Por ende, uno de los principales retos de la agricultura, es realizar un uso más sostenible del agua cuando se debe de aplicar riego. Ante esta situación, se planteó el Riego Deficitario Controlado (RDC) como una estrategia viable para la mejora de la eficiencia del uso del agua en el cultivo analizando el estado hídrico de la planta a través de la fisiología. El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta fisiológica del tomate de árbol en estado de floración y fructificación bajo la aplicación de RDC y diferentes niveles de fertilizante mediante la cuantificación de fluorescencia (F_m/F_v), potencial hídrico foliar (Ψ_f), índice de área foliar (IAF) y conductancia estomática (GS), además establecer el mejor tratamiento con base al rendimiento y calidad del fruto. El estudio se realizó en el corregimiento de Mapachico, municipio de Pasto, Colombia, empleando un diseño de parcelas divididas con arreglo factorial 3x3. La parcela principal correspondió a dosis de fertilizante 15-4-23-4 ($F_1=200$ g planta⁻¹, $F_2=140$ g planta⁻¹ y $F_3=70$ g planta⁻¹), las subparcelas a láminas de riego ($L_1=100\%ET_c$, $L_2=75\%ET_c$ y $L_3=50\%ET_c$), y los tratamientos a las interacciones $F \times L$. Los resultados obtenidos para F_m/F_v , GS e IAF no mostraron diferencias significativas, mientras que para Ψ_f los tratamientos con una lámina de riego del 50%ETc mostraron resultados más bajos, en relación a las interacciones con una

lámina de riego del 100%ETc. La interacción F2xL3 presentó el mejor comportamiento para calidad de fruto y rendimiento (48,2 kg área efectiva⁻¹), representando un ahorro de agua hasta del 49,7% (310 m³ ha⁻¹) y de fertilizante de 200 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Palabras clave: Conductancia estomática, fisiología, fluorescencia, índice de área foliar, potencial hídrico, tomate de árbol.

ABSTRACT

Tree tomato is an important crop for Colombia due to its potential in industry and fresh consumption, however, the yield is mainly affected by inappropriate management practices environmental and phytosanitary factors, technological offer and water availability, which has decreased due to the effects of Climate change and its inefficient exploitation. Therefore, one of the main challenges of agriculture is to make a more sustainable use of water when irrigation must be applied. Given this situation, Controlled Deficit Irrigation (RDC) was proposed as a viable strategy for improving the efficiency of water use in the crop by analyzing the water status of the plant through physiology. The objective of the research was to analyze the physiological behavior of tree tomato under the application of RDC and different levels of fertilizer by quantifying fluorescence (Fm/Fv), leaf water potential (Ψ_f), leaf area index (LAI) and Stomatal conductance (GS), also determine the best treatment based on yield and fruit quality. The study was conducted in Mapachico, municipality of Pasto, Colombia. A design of Divided Plots with Factorial Arrangement 3x3 was used. The main plot corresponded to fertilizer doses 15-4-23-4 (F1= 200 g plant⁻¹, F2= 140 g plant⁻¹ and F3= 70 g plant⁻¹), subplots to irrigation sheets (L1= 100% ETc, L2= 75 % ETc and L3= 50% ETc), and treatments at FxL interactions. The results obtained for Fm/Fv, GS and IAF did not show significant differences, while for Ψ_f the treatments with a 50% ETc irrigation sheet showed lower results, in relation to the interactions with a 100% ETc irrigation sheet. The F2xL3 interaction showed the best behavior for fruit quality and yield (48,2 kg effective area⁻¹), representing a water saving of up to 49.7% (310 m³ ha⁻¹) and fertilizer of 200 kg ha⁻¹ year⁻¹.

Keywords: Fluorescence, leaf area index, physiology, stomatal conductance, water tree tomato, water potential.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
1.1 Localización.....	13
1.2 Material Vegetal.....	13
1.3 Caracterización físico química del suelo.....	13
1.4 Fertilización Edáfica.....	14
1.5 Riego por goteo.....	14
1.6 Diseño Experimental.....	18
1.7 Variables evaluadas.....	18
1.7.1 Fluorescencia (Fv/Fm).....	18
1.7.2 Conductancia Estomática (GS).....	19
1.7.3 Índice de área foliar (IAF).....	19
1.7.4 Potencial hídrico foliar (Ψ_f)	20
1.7.5 Parámetros de calidad de fruto.....	20
1.7.5.1. Diámetro Ecuatorial (DE).....	20
1.7.5.2. Peso (W).....	21
1.7.5.3. Dureza (DU).....	21
1.7.5.4. Sólidos Solubles Totales (SST).....	21
1.7.6 Rendimiento (RTO).....	21
1.8 Labores Agronómicas.....	21
1.9 Análisis estadístico.....	21
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
2.1 Variables Fisiológicas.....	22
2.1.1. Efecto de la interacción Lámina de riego por fertilizante para Fv/Fm.....	22
2.1.2. Efecto de la interacción Lámina de riego por fertilizante para GS.....	23
2.1.3. Efecto de la interacción Lámina de riego por fertilizante para IAF.....	24
2.1.4. Efecto de la interacción Lámina de riego por fertilizante para Ψ_f	25

2.2 Parámetros de calidad de fruto y Rendimiento.....	26
2.2.1. Efecto de la interacción Lámina de riego por fertilizante para calibre.....	27
2.2.2. Efecto de la interacción Lámina de riego por fertilizante para DU.....	28
2.2.3. Efecto de la interacción Lámina de riego por fertilizante para SST.....	29
2.2.4. Efecto de la interacción Lámina de riego por fertilizante para RTO.....	30
CONCLUSIONES.....	31
BIBLIOGRAFÍA.....	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición de fertilizante compuesto 15-4-23-4.....	14
Tabla 2. Requerimientos nutricionales de tomate de árbol para producir 20 t ha ⁻¹	14
Tabla 3. Balance hídrico para los tratamientos con el 100% ETc (L1), 75% ETc (L2) y 50% ETc (L3)	16
Tabla 4. p-Valor del ANDEVA para la interacción Fertilización por Lámina de Riego para variables fisiológicas en <i>S. betaceum</i> Cav bajo condiciones de RDC.....	22
Tabla 5. p-Valor del ANDEVA para la interacción Fertilización por Lámina de Riego para variables de calidad de fruto y rendimiento en <i>S. betaceum</i> Cav bajo condiciones de RDC.....	27
Tabla 6. Prueba de comparación de medias de Duncan para las variables calidad y rendimiento de <i>S. betaceum</i> Cav bajo condiciones de RDC.....	27
Tabla 7. Promedio de rendimiento (kg área efectiva ⁻¹) y número de frutos por árbol.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Presentación esquemática de un collar de góteros para el riego.....	15
Figura 2. Distribución de la precipitación (PP), ETo, riego y láminas de riego con el 100% ETc (L1), 75% ETc (L2) y 50% ETc (L3) en fases de floración y fructificación de <i>S. betaceum</i> Cav.....	17
Figura 3. Valores medios de Fluorescencia para la interacción lámina de riego (L1=100% ETc, L2=75% ETc y L3=50% ETc) por fertilización (F1= 200 g planta ⁻¹ , F2= 140 g planta ⁻¹ y F3= 70 g planta ⁻¹) en <i>S. betaceum</i> Cav.....	23
Figura 4. Valores medios de Conductancia Estomática para la interacción lámina de riego (L1=100% ETc, L2=75% ETc y L3=50% ETc) por fertilización (F1= 200 g planta ⁻¹ , F2= 140 g planta ⁻¹ y F3= 70 g planta ⁻¹) en <i>S. betaceum</i> Cav.....	24
Figura 5. Valores medios de Índice de área foliar para la interacción lámina de riego (L1=100% ETc, L2=75% ETc y L3=50% ETc) por fertilización (F1= 200 g planta ⁻¹ , F2= 140 g planta ⁻¹ y F3= 70 g planta ⁻¹) en <i>S. betaceum</i> Cav.....	25
Figura 6. Valores medios de Potencial hídrico foliar para la interacción lámina de riego (L1=100% ETc, L2=75% ETc y L3=50% ETc) por fertilización (F1= 200 g planta ⁻¹ , F2= 140 g planta ⁻¹ y F3= 70 g planta ⁻¹) en <i>S. betaceum</i> Cav.....	26

INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), es una planta que pertenece a la familia Solanaceae, originaria de los bosques Andinos específicamente del Sur de Bolivia y Norte de Argentina (García *et al.*, 2001). Esta baya se considera una fruta con alto potencial como alternativa productiva para los agricultores de la zona Andina de Colombia ya que cuenta con excelentes perspectivas para la exportación debido a su composición nutricional, propiedades físico-químicas y versatilidad que ha sido utilizada en la industria comercial. Las exportaciones se dirigen principalmente a los Países Bajos, Francia, Alemania, Portugal, Nueva Zelanda entre otros, sumando USD 1,4 millones (641,1 t), convirtiéndose así en la octava fruta más expedida de Colombia (Ruiz, 2017).

La importancia que tiene el tomate de árbol en la fruticultura colombiana se puede deducir de su tasa de crecimiento la cual fue de 3,5% entre los años 2010 y 2017. Durante el año 2017 en el territorio nacional la producción se concentró en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, Huila, Valle del Cauca, Tolima y Nariño, destacándose como el primer productor Antioquia con cerca de 3163 hectáreas y un rendimiento cercano a 40,36 t ha⁻¹, el cual supera el promedio nacional calculado en 20,23 t ha⁻¹. Por su parte Nariño, para este mismo año presentó una producción de 2130 toneladas, obtenidas de 262 hectáreas, registrándose un rendimiento de 8,12 t ha⁻¹ (AGRONET, 2017).

A pesar de este incremento, en la mayoría de zonas dedicadas a la explotación comercial de tomate de árbol en Colombia, la productividad de este frutal alcanza niveles por debajo del rendimiento potencial (0,7% anual) debido a la baja oferta tecnológica, problemas fitosanitarios y ambientales, variabilidad climática, déficit hídrico y prácticas de manejo sin soportes técnicos como la fertilización que se realiza en la mayoría de casos, basándose solamente en las experiencias de los productores, sin considerar los requerimientos nutricionales del cultivo y el análisis químico del suelo (Castro, 2014)

El agua es uno de los recursos más importantes para el desarrollo de la vida y diversas actividades humanas, como la agricultura. No obstante, a nivel mundial en las últimas

décadas la disponibilidad del recurso hídrico ha disminuido de manera paulatina, debido al uso ineficiente del agua, así como por los efectos que trae consigo el cambio climático, tales como las precipitaciones irregulares e impredecibles, la incidencia de tormentas y las sequías prolongadas (Steduto *et al.*, 2012).

En Colombia, la fluctuación de las precipitaciones se evidencia en periodos prolongados de sequía, relacionados estrechamente con el “Fenómeno del Niño”. A sí mismo, el departamento de Nariño tiende a presentar temporadas de sequía, afectando de forma directa la productividad y desarrollo de los cultivos (IDEAM, 2012), por lo cual los productores optan por implementar criterios de programación de riego tradicionales para satisfacer las necesidades hídricas máximas del cultivo, lo que permite obtener rendimientos estables pero no el mejor aprovechamiento del agua (Cánovas, 2012), en consecuencia, uno de los principales retos de la agricultura, es realizar un uso más eficiente y sostenible del agua cuando se debe de aplicar riego en época de verano (Díaz, 2015).

Ante esta situación se han desarrollado técnicas de manejo del riego, como es el denominado Riego Deficitario Controlado (RDC) como una estrategia viable para la mejora sustancial de la eficiencia del uso del agua en los cultivos (Lin *et al.*, 2014). Esta técnica se define como la aplicación de agua por debajo de la necesidad hídrica en ciclos fenológicos de baja sensibilidad al estrés hídrico sin que se provoque efectos negativos significativos en el rendimiento final y conseguir mejoras sustanciales en algunas propiedades morfológicas y organolépticas de los frutos, incrementando el valor añadido de los mismos (Lozano, 2015).

En la actualidad, diversos autores han propuesto nuevas alternativas para el manejo de RDC, las cuales consisten en evaluar el estado hídrico de la planta a través del uso de distintos parámetros fisiológicos (Pedrero *et al.*, 2014), estableciendo hasta qué punto una reducción hídrica influye en el comportamiento normal del cultivo puesto que el déficit de agua en el suelo genera cambios significativos en la planta como reducción del potencial hídrico foliar (Ψ_f), síntesis de ácido abscísico (ABA) que induce el cierre estomático, afección de la fotosíntesis y disminución del alargamiento celular en los órganos en crecimiento (Lichtenthaler, 2003).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la respuesta fisiológica del tomate de árbol (*S. betaceum* Cav.) en estado de floración y fructificación bajo la aplicación de Riego Deficitario Controlado (RDC) y diferentes niveles de fertilizante, además establecer el mejor tratamiento con base al rendimiento y la calidad del fruto, en un suelo Andisol, corregimiento de Mapachico, Municipio de Pasto, Nariño, Colombia.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Localización.

El trabajo de investigación se realizó en el corregimiento de Mapachico, municipio de San Juan de Pasto, departamento de Nariño, Colombia (01°14'41" LN y 77°18'39" LW), a una altitud de 2500 m.s.n.m. La zona de estudio cuenta con una temperatura promedio anual de 13,3 °C y una precipitación media anual menor a 740 mm.

1.2 Material Vegetal.

El trabajo de investigación se desarrolló en un cultivo de tomate de árbol (*S. betaceum* Cav.) con una edad de 8 meses, variedad Rojo Común la cual se reconoce por su color rojo anaranjado en su cáscara y su pulpa anaranjada, tamaño promedio de 5 cm de ancho y 8 cm de largo y pesa aproximadamente de 80 a 90 g (Revelo *et al.*, 2011).

1.3 Caracterización físico-química del suelo.

El suelo del área experimental se clasificó como Vitric Haplustand (Orden Andisol, suborden Ustands, gran grupo Haplustand y subgrupo Vitric) el cual se formó a partir de cenizas volcánicas. Se caracteriza por la variedad del material parental con dominio de arcillas alófanas en horizontes superiores (IGAC, 2000).

El análisis de suelo físico químico que se realizó en el laboratorio de suelos e insumos agrícolas de la Universidad de Nariño arrojó que el suelo experimental presentó textura Franco Arcillo-Arenosa (F-Ar-A), alta materia orgánica con 8.1%, pH fuertemente ácido (5,22), Fósforo 42,1 mg kg⁻¹, Potasio 0,9 cmol kg⁻¹, Calcio 8 cmol kg⁻¹, Magnesio 2,12 cmol

kg⁻¹, alta capacidad de intercambio de catiónico (2,3 cmol kg⁻¹) y una infiltración de 11,78 mm hora⁻¹. Además, se encuentra en capacidad de campo (CC) a una humedad gravimétrica de 36,70% y en punto de marchitez permanente (PMP) a una humedad de 22,59%.

1.4 Fertilización edáfica.

Se realizaron tres aplicaciones cada cuatro meses durante un año de un fertilizante compuesto de grado 15-4-23-4 (Tabla 1), mediante un trincho a una profundidad de 0,1 m y una distancia de 0,5 m del tronco, alrededor de la planta. Para la franja F1 se administró 200 gr planta⁻¹, ya que es la dosis que generalmente aplica el productor. La dosificación del fertilizante para las franjas F2 (140 gr planta⁻¹) se calculó mediante la elaboración de un plan de fertilización considerando las características físico-químicas del suelo y los requerimientos nutricionales propuestos por Acosta-Quezada (2011) para el cultivo de tomate de árbol (Tabla 2). La cantidad suministrada para F3 (70 gr planta⁻¹) fue del 50% de los nutrientes requeridos.

Tabla 1. Composición de fertilizante compuesto 15-4-23-4

GRADO		15-4-23-4
COMPOSICIÓN	Nitrogeno total (N)	15,00%
	Fósforo asimilable (P ₂ O ₅)	4,00%
	Potasio soluble en agua (K ₂ O)	23,00%
	Magnesio (MgO)	4,00%
	Azufre Total (S)	2,00%
	Boro (B)	0,10%
	Cobre (Cu)	0,04%
	Zinc (Zn)	0,10%

Tabla 2. Requerimientos nutricionales de tomate de árbol para producir 20 t ha⁻¹

Elemento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Zn	B
kg ha ⁻¹	312	40	385	188	60	25	0,4	1

1.5 Riego por goteo.

Se instaló un sistema de riego con emisores tipo laberinto de caudal (Q) 1,3 L hora⁻¹ distribuidos en un collar pequeño con 8 goteros y uno grande con 15 goteros, de tal manera

que los traslapes de las áreas humedecidas por cada emisor lograran una franja húmeda (Figura 1) (Tafur *et al.*, 2004). Además, se equipó el cabezal de riego con dos filtros para evitar la obturación de los goteros.

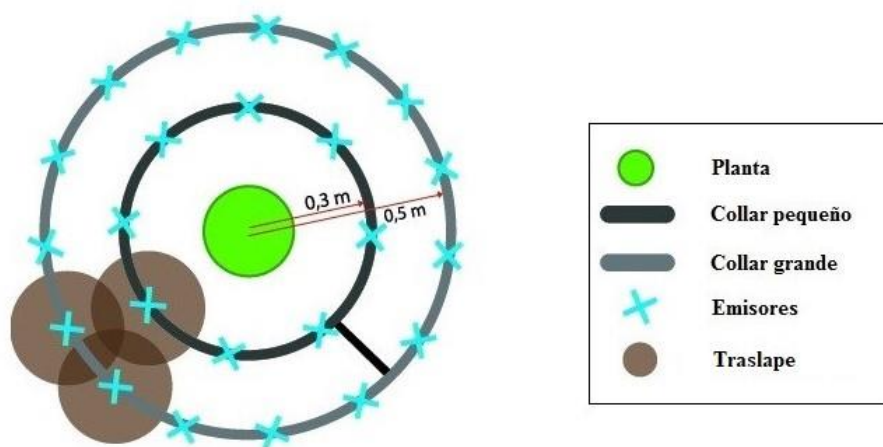


Figura 1. Presentación esquemática de un collar de goteros para el riego

Para determinar el balance hídrico, en primer lugar, se calculó la evapotranspiración de referencia (ETo) mediante la metodología propuesta por Snyder (2007), así:

a) La evaporación local diaria promedio (EVt) en la zona de estudio fue de 3,5 mm y se calculó mediante un tanque evaporímetro con una capacidad de 5 gal instalado en la zona de estudio. Posteriormente, los datos obtenidos de EVt se compararon con la evaporación del tanque clase A (EVa) de la estación meteorológica IDEAM sede Pasto para obtener el modelo que lo relaciona:

$$EVa = C * EVt \quad (1)$$

Donde C es un factor de correlación lineal entre la evaporación del tanque clase A y la evaporación local diaria (0,93).

b) La ETo se definió como:

$$ETo = Kp * EVa \quad (2)$$

Donde K_p es un valor (tablas) que se encuentra en la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, propuesto por la Allen (2006) y depende de la velocidad del viento predominante, humedad relativa y si el tanque tiene o no algún cultivo cercano a él (0,8).

En segundo lugar, se estableció la evapotranspiración del cultivo (ET_c) con la fórmula

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (3)$$

Donde K_c es el coeficiente del cultivo (0,90).

Para obtener las láminas de riego (LR) L1, L2 y L3 se multiplicó la ET_c por 100%, 75% y 50%. Posteriormente, se calculó LR en mm día⁻¹ relacionando la ET_c con la eficiencia del sistema de riego por goteo (E_f) (90%). Luego, se determinó volumen de riego (VR) en litros (L) mediante la multiplicación de cada LR por el área (A) de la franja de fertilización (405 m²). Con este resultado, se estableció tiempo de riego (TR) en minutos, dividiendo VR entre el gasto de agua (Número de goteros= 23 * Caudal Q= 1,3 L hora⁻¹ * Número de plantas= 45).

Tabla 3. Balance hídrico para los tratamientos con el 100% ET_c (L1), 75% ET_c (L2) y 50% ET_c (L3).

PARÁMETRO	L1	L2	L3
Lámina de riego (mm día ⁻¹)	2,6	1,95	1,30
Volumen de riego (L)	1055	791	527
Tiempo de riego (Minutos)	47	35	24
Frecuencia de riego (Día)	3	3	3

La precipitación durante los ocho meses de evaluación (Febrero a Septiembre 2018) fue de 354 mm, reportándose baja precipitación y época seca desde los últimos 17 días de Junio (3 mm) y los meses de Julio (17 mm) y Agosto (12 mm), que permitió la aplicación de riego deficitario controlado (RDC) que consistió en programar una disminución de la lámina de riego en periodos en los que el crecimiento del fruto es menos sensible a las reducciones de agua y cubrir las necesidades hídricas durante el resto del ciclo fenológico del árbol (Vélez *et al.*, 2011).

El suministro de RDC inició a los 378 días después del trasplante (DDT), cuando faltaban 37 días para que el cultivo alcanzara el estadio fenológico R8 (Frutos con color típico de madurez). Y finalizó a los 454 DDT, periodo en el cual hubo fases de floración, fructificación y cortes sucesivos de cosecha cada 12 a 15 días dependiendo de las condiciones climáticas (Estadio fenológico R9) (Acosta-Quezada *et al.*, 2016). Así mismo, se efectuó riego en fases fenológicas sensibles a una reducción hídrica como Máxima floración FR6 (Figura 2).

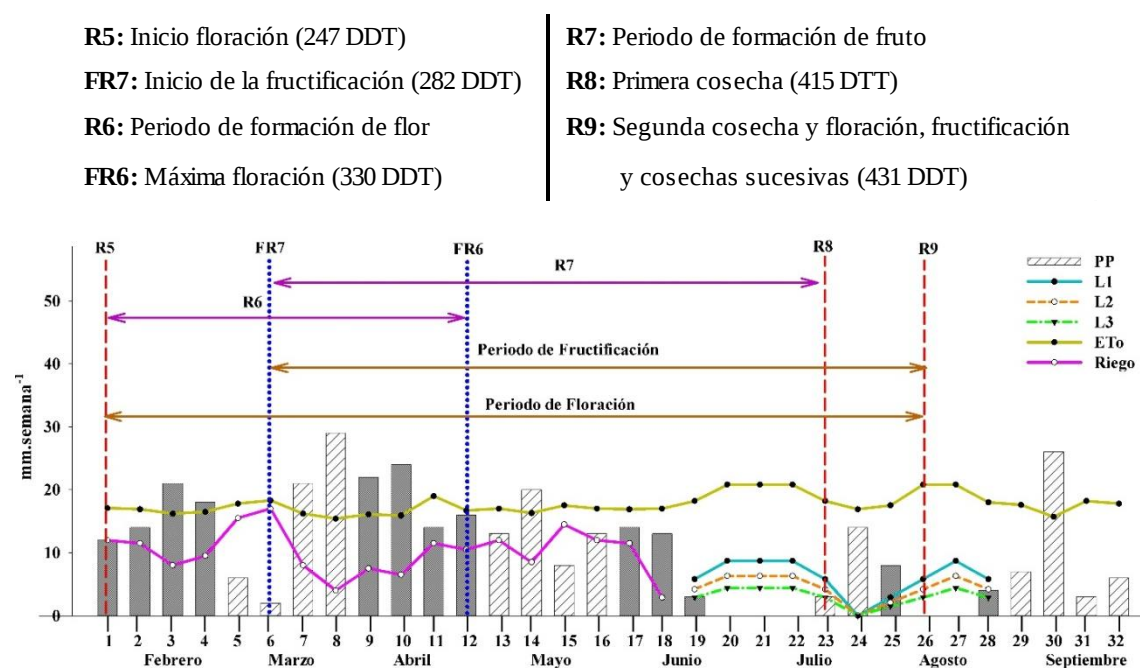


Figura 2. Distribución de la precipitación (PP), ETo, riego y láminas de riego con el 100%ETc (L1), 75%ETc (L2) y 50% ETc (L3) en fases de floración y fructificación de *S. betaceum* Cav. (Los valores son el promedio semanal de los datos recopilados en campo durante ocho meses. DDT= Días después del trasplante)

Adicionalmente, se efectuó un análisis químico en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño del agua de riego, la cual se clasificó en C1S1, es decir, que fue totalmente apta para realizar esta labor. La relación entre conductividad eléctrica (CE) ($< 250 \text{ uS cm}^{-1}$) y absorción de sodio ($< 10 \text{ mg L}^{-1}$) fue baja, por tanto, no se presentó taponamiento por precipitación de sales en la tubería de goteo. La concentración de iones en el agua fue de $212,5 \text{ uS cm}^{-1}$, pH de 7,1 y sodio $6,33 \text{ mg L}^{-1}$.

1.6 Diseño experimental.

El área del experimento fue de 1215 m², con una distancia de siembra de 3 m entre planta y 3 m entre surco, para un total de 1111 árboles ha⁻¹. Se estableció un diseño experimental en parcelas divididas con un arreglo factorial tres por tres (3x3). La parcela principal (Factor A) correspondió a la fertilización (F), la cual se dividió en tres franjas: F1, F2 y F3 con 405 m² cada una para una evaluación de 45 plantas por franja. La subparcela (Factor B) perteneció a la lámina de riego (L) la cual se dividió en tres: L1, L2 y L3. Las interacciones (FxL) fueron los tratamientos.

Factor A

F1= Fertilización generalmente realizada por el productor (200 gr planta⁻¹)

F2= Fertilización de acuerdo al análisis químico (140 gr planta⁻¹)

F3= Fertilización al 50% de los nutrientes requeridos según el análisis químico del suelo (70 gr planta⁻¹).

Factor B

L1= 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) (2,6 mm día⁻¹)

L2= 75% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) (1,95 mm día⁻¹)

L3= 50% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) (1,30 mm día⁻¹)

Tratamientos

- | | | |
|-------------------|---------|---------|
| • F1xL1 (Testigo) | • F2xL1 | • F3xL1 |
| • F1xL2 | • F2xL2 | • F3xL2 |
| • F1xL3 | • F2xL3 | • F3xL3 |

1.7 Variables evaluadas.

1.7.1 Fluorescencia (Fv/Fm).

La fluorescencia permite analizar cualitativa y cuantitativamente la absorción y la utilización de la energía de la luz a través del fotosistema II (PSII) y la posible relación con la capacidad

fotosintética de las plantas, por lo cual puede emplearse como una herramienta para obtener información acerca del estado fisiológico del aparato fotosintético (Neto *et al.*, 2011).

Esta variable se determinó utilizando un fluorómetro portátil OS30P siguiendo el protocolo del fabricante y su calibración. El registro se realizó a las 8:00 am, adaptando previamente a la oscuridad las hojas mediante clips asequeables de punta de prueba óptica, durante un lapso de treinta minutos, para garantizar que todos los centros de reacción del PSII estuvieran abiertos (Peña, 1998).

Para la medición se seleccionaron hojas plenamente desarrolladas del tercio medio, tomando una hoja de tres plantas por cada tratamiento, con un periodo de observación de ocho semanas y se expresó como la relación F_v/F_m , donde F_v es la fluorescencia variable y F_m es la fluorescencia máxima cuando una planta está adaptada a condiciones de luz (Maxwell y Johnson, 2000).

1.7.2 Conductancia estomática (GS).

La conductancia estomática es un indicador del estado hídrico y la adaptación de la planta a las variables ambientales evaluando la apertura estomática que controla tanto la pérdida de agua de las hojas de la planta como la absorción de CO_2 para la fotosíntesis (Prasch y Sonnewald, 2015).

Para la medición de esta variable se utilizó el Porómetro Digital AP4 el cual posee una pinza que al fijarla a la superficie de las hojas comienza a medir la presión de vapor para calcular el flujo, el gradiente y la conductancia de difusión. Esta medición se realizó a las 8:00 am en cinco hojas totalmente desarrolladas del tercio medio de tres árboles por cada tratamiento, semanalmente, en un periodo de ocho semanas.

1.7.3 Índice de área foliar (IAF).

El índice de área foliar permite estimar la relación entre la capacidad fotosintética de las plantas y la acumulación de biomasa (Davies y Zhang, 1991). Para determinar esta variable primero se calculó el área foliar con la ayuda del programa IMAGE J, muestreando tres árboles por tratamiento y seleccionando una hoja madura de la parte inferior, una media y

una superior de la planta, cada dos semanas durante un periodo de seis meses. Para cada hoja seleccionada, se midió longitud y se tomó una foto con una cámara de 16MP a 20cm de altura.

Posteriormente, IAF se determinó mediante la fórmula propuesta por Hunt (1990):

$$IAF = (\text{Área foliar} * \text{Densidad de Siembra}) / \text{Área sembrada} \quad (4)$$

1.7.4 Potencial hídrico foliar (Ψ_f).

La cuantificación del potencial hídrico es un indicador del estado hídrico en las plantas y se define como el trabajo que se debe realizar para llevar una unidad de masa de agua ligada a un tejido o al suelo, hasta un estado de referencia cero (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

Esta variable se determinó directamente en campo utilizando la cámara de presión de Scholander modelo PMS 1515D. Primero, se realizó un corte del peciolo de la hoja, esta se selló herméticamente en una bolsa de aluminio dejando el peciolo al descubierto para evitar pérdidas de agua. Posteriormente, se introdujo a la cámara para realizar la medición (Scholander *et al.*, 1965). La toma de datos se llevó a cabo a medio día (12:00), cada ocho días por un período de ocho semanas, seleccionando una hoja madura del tercio medio por planta de tres árboles por tratamiento.

1.7.5 Parámetros de calidad del fruto.

Para evaluar los parámetros de calidad del fruto del tomate de árbol se tomó en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 4105 (ICONTEC, 1997), para ello se seleccionaron dos frutos por cada repetición, es decir, un total de seis frutos por tratamiento. La cosecha se realizó cuando el fruto se encontró en estado seis de coloración.

1.7.5.1 Diámetro Ecuatorial: El diámetro ecuatorial (DE) se calculó con la ayuda de un pie de rey digital, la medida se expresó en milímetros (mm).

1.7.5.2 Peso: El peso del fruto (W) se estimó mediante una balanza de precisión electrónica (precisión de 0,001 g). La medida se expresó en gramos (g).

1.7.5.3 Dureza: La dureza (DU) se calculó con la ayuda de un penetrómetro manual para frutas, la medida se expresó en kilogramos de fuerza por centímetro cuadrado (kgf cm⁻²).

1.7.5.4 Sólidos solubles totales: Los sólidos solubles totales (SST) se estimaron con un refractómetro portátil RHB-32, calibrando el equipo según las indicaciones del fabricante. Los datos obtenidos se expresaron en Grados Brix (°Bx).

1.7.6 Rendimiento (Rto).

Se calculó el rendimiento en kilogramos por área efectiva para los cinco cortes realizados en el periodo de evaluación (kg área efectiva⁻¹), acumulando el peso de los frutos cosechados por tratamiento.

1.8 Labores agronómicas.

Para el manejo fitosanitario se integraron labores culturales y de manejo químico con rotación de aplicaciones de fungicidas e insecticidas (Las medidas de control dependieron de la incidencia de la enfermedad y el porcentaje de infestación de la plaga para lo cual se hicieron monitores periódicos). Además, se realizó un control manual de arvenses manteniendo el plato del árbol.

1.9 Análisis estadístico.

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA). Los resultados con diferencias estadísticas fueron sometidos a una prueba de comparación múltiple de medias de DUNCAN, con un nivel de significancia del 5%, mediante el programa Infostat Statistical Package versión 2018.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 VARIABLES FISIOLÓGICAS.

El análisis de varianza mostró que no hay diferencias significativas entre los tratamientos para las variables fisiológicas fluorescencia (Fv/Fm), conductancia estomática (GS) e índice de área foliar (IAF). No obstante, se evidenció que hubo diferencias estadísticamente significativas para la variable potencial hídrico foliar (Ψ_f) en la interacción fertilización por lamina de riego ($p \leq 0,05$) (Tabla 4).

Tabla 4. p-Valor del ANDEVA para la interacción Fertilización (F) por Lámina de Riego (L) para variables fisiológicas en *S. betaceum* Cav bajo condiciones de RDC

FV	GL	Fv/Fm	GS	IAF	Ψ_f
F*L	4	0,44 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,012*
Media		0,78	332,19	18,85	-0,34
C.V		2,26	30,82	20,79	12,37
R ²		0,68	0,7	0,7	0,83

ns = no existen diferencias significativas. * Significativo a un α de 0,05. Fv/Fm= Fluorescencia. GS=Conductancia Estomática ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). IAF= Índice de Área Foliar. Ψ_f =Potencial Hídrico Foliar (MPa).

2.1.1 Efecto de la interacción lámina de riego por fertilización para fluorescencia.

Los resultados de fluorescencia (Fv/Fm) arrojaron valores promedios para los tratamientos (FxL) entre 0,77 y 0,79 (Figura 3), evidenciando que no hay cambios significativos en su comportamiento ya que, posiblemente se presentó una regulación del aparato fotoquímico o una resistencia de este mismo a la reducción hídrica que le confiere ventajas a la planta para evadir una sequía estacional (González *et al.*, 2012).

Además, no se encontraron valores menores a 0,75 en la relación Fv/Fm a pesar que se disminuyó la lámina de riego al 50% del requerimiento hídrico. Esto concuerda con lo planteado por Paz (2017) quien al evaluar el déficit hídrico sobre el comportamiento de dos

variedades de tomate de árbol no encontró diferencias estadísticamente significativas en la interacción variedad por tratamiento, obteniendo valores que oscilaron entre 0,78 y 0,81.

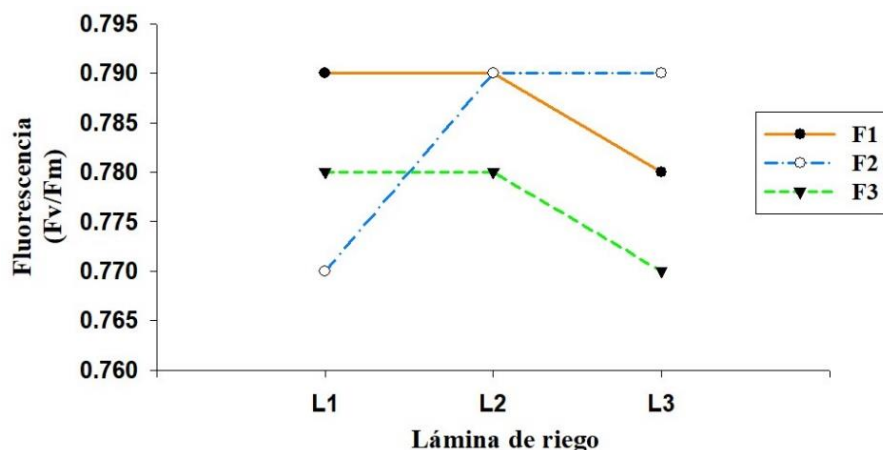


Figura 3. Valores medios de Fluorescencia para la interacción lámina de riego (L1= 100 ETc, L2= 75% ETc y L3= 50% ETc) por fertilización (F1= 200 g planta⁻¹, F2= 140 g planta⁻¹ y F3= 70 g planta⁻¹) en *S. betaceum* Cav.

Es importante considerar que pequeñas disminuciones en la disponibilidad hídrica, pueden permitir al cultivo mantener una elevada tasa fotosintética y una alta productividad dependiendo de la especie (Molina *et al.*, 2011), situación que coincide con los datos de esta investigación donde se obtuvo una media de 0,78, deduciendo probablemente que la disminución de la eficiencia máxima del PSII solo se presenta cuando el estrés por déficit hídrico es severo.

2.1.2 Efecto de la interacción lámina de riego por fertilización para conductancia estomática.

Los datos de conductancia estomática (GS) se encontraron entre 247 y 411 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4), evidenciando que no hubo diferencias estadísticamente significativas, esto se debe a que posiblemente la planta desarrolla mecanismos de protección regulando importantes respuestas fisiológicas tales como el cierre y la apertura estomática relacionado con la producción de ácido abscísico (ABA), haciendo un uso eficiente del agua con menor transpiración y al mantener la hidratación en los tejidos (Cháves *et al.*, 2009; Paz, 2017).

Es importante aclarar que a nivel fisiológico en este tipo de plantas C_3 , el cierre estomático constituye un mecanismo fundamental de tolerancia a niveles por debajo del requerimiento hídrico, ya que su apertura es la responsable de la mayor pérdida de agua en las plantas (Azcón Bieto y Talón, 2003; Vidal *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2009).

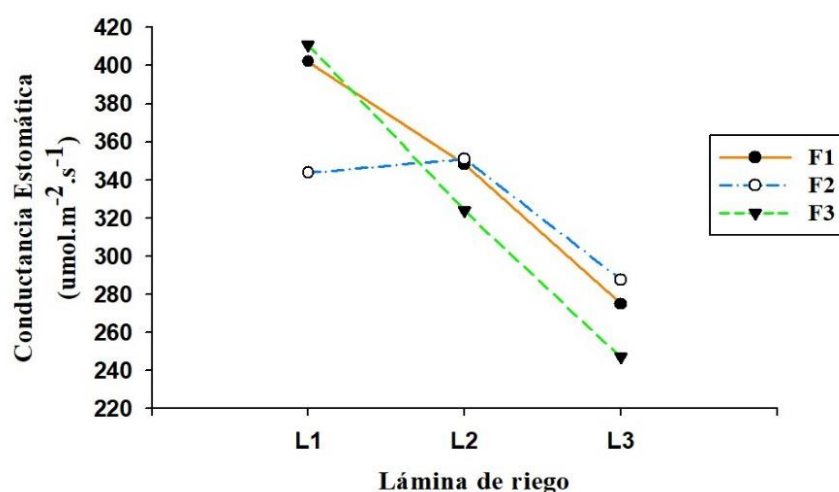


Figura 4. Valores medios de Conductancia Estomática para la interacción lámina de riego (L1= 100 ETc, L2= 75% ETc y L3= 50% ETc) por fertilización (F1= 200 g planta⁻¹, F2= 140 g planta⁻¹ y F3= 70 g planta⁻¹) en *S. betaceum* Cav.

2.1.3 Efecto de la interacción lámina de riego por fertilización para índice de área foliar.

Se registraron valores promedios de índice de área foliar (IAF) entre 15,22 y 20,68 para la interacción fertilización por lámina de riego, evidenciando una disminución de este parámetro en relación con la reducción nutricional e hídrica. (Figura 5), lo que concuerda con Khurana y Singh (2004) quienes consideraron que es un mecanismo de evasión que tienen las plantas para disminuir la superficie evaporativa y por consiguiente conservar o evitar la pérdida de agua durante eventos de escasez, demostrando la capacidad de las plantas para tolerar y aclimatarse al bajo nivel de agua impuesto por respuestas morfogénicas específicas, es decir, se trata de una compensación que debe realizar la planta ante la baja humedad del suelo y la excesiva pérdida de agua. Así mismo, durante eventos de escasez hídrica las plantas disminuyen el contenido de agua en la célula, causando una reducción del

volumen celular y la pérdida de turgencia, lo cual afecta los procesos de expansión foliar y los valores de IAF (Ramírez, 2017).

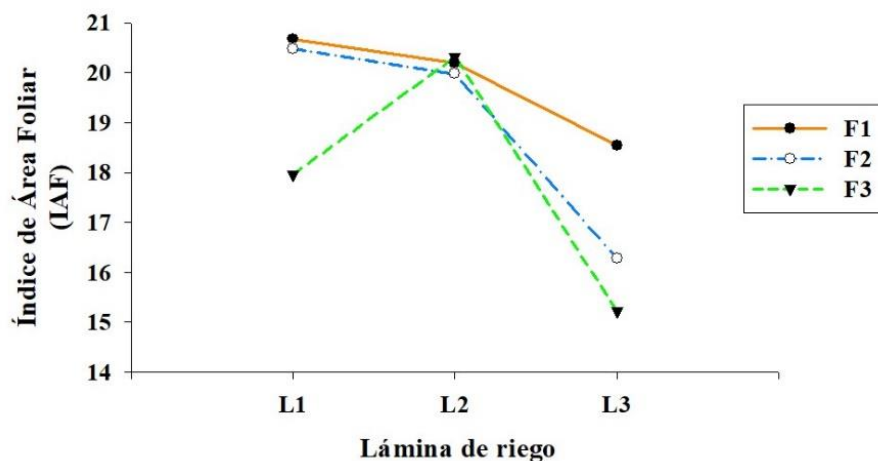


Figura 5. Valores medios de Índice de Área Foliar para la interacción lámina de riego (L1= 100 ETc, L2= 75% ETc y L3= 50% ETc) por fertilización (F1= 200 g planta⁻¹, F2= 140 g planta⁻¹ y F3= 70 g planta⁻¹) en *S. betaceum* Cav.

2.1.4 Efecto de la interacción lámina de riego por fertilización para el potencial hídrico foliar.

El potencial hídrico foliar (Ψ_f) se comportó con una tendencia diferente a las demás variables fisiológicas evaluadas, obteniendo el valor más alto (-0,28 MPa) para el tratamiento con mayor aplicación de agua y fertilización generalmente realizada por el productor (F1xL1 testigo) y el valor más bajo (-0,42 MPa) para la interacción F2xL3, es decir fertilización de acuerdo al análisis químico y una lámina de riego del 50% ETc (Figura 6).

Así mismo, se estableció que los valores promedios de Ψ_f disminuyen directamente proporcional con respecto a la disponibilidad hídrica en el suelo puesto que los tratamientos F1xL3, F2xL3 y F3xL3 presentaron los resultados más bajos (-0,34 MPa, -0,42 MPa, -0,37 MPa respectivamente), en concordancia, con lo propuesto por Selles *et al.* (2002) quienes afirmaron que el Ψ_f integra el contenido de agua en el suelo y la demanda de la atmósfera, mostrando claramente el estado hídrico de la planta. En la medida que la planta tiene menor suministro de agua y que la demanda de agua en la atmósfera aumenta, el Ψ_f es menor.

Además, esta disminución de Ψ_f se asocia con la reducción de la GS lo cual podría incidir en una disminución de la transpiración y un mayor uso eficiente del agua, es decir que el funcionamiento estomático tiende a reducir pérdidas excesivas de agua cuando la transpiración supera la cantidad de agua absorbida (Paz, 2017).

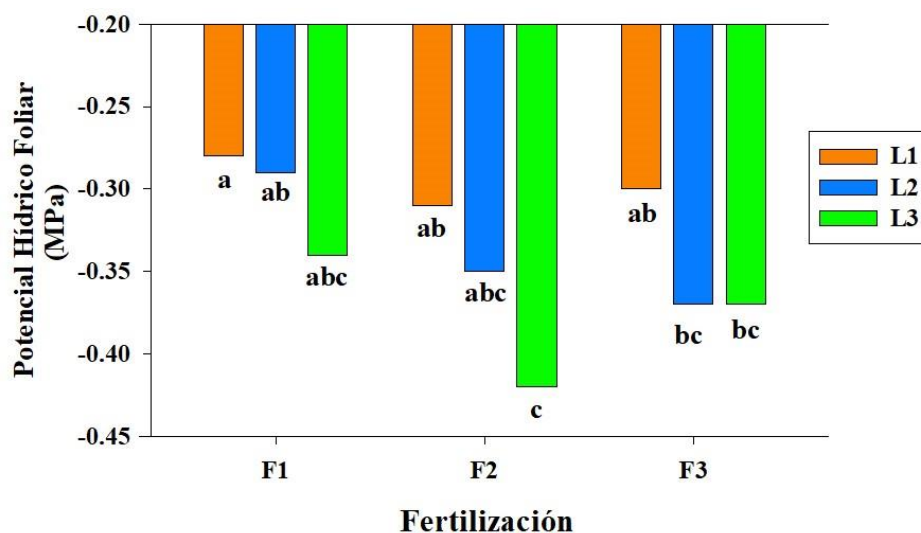


Figura 6. Valores medios de Potencial Hídrico Foliar para la interacción lámina de riego (L1= 100 ETc, L2= 75% ETc y L3= 50% ETc) por fertilización (F1= 200 g planta⁻¹, F2= 140 g planta⁻¹ y F3= 70 g planta⁻¹) en *S. betaceum* Cav.

Ávila y Rúales (2009) establecen tres niveles de Ψ_f cuando se reduce la humedad en el suelo, leve con un Ψ_f de -0,5 MPa o más; moderado con un Ψ_f entre -0,5 a -1,5 MPa y severo con Ψ_f por debajo de -1,5 MPa, por consiguiente, los resultados obtenidos en la investigación se ajustan al nivel leve, ya que el menor valor fue -0,42 MPa, pese a que la medición se realizó a medio día cuando se presenta el máximo desequilibrio entre transpiración y absorción, siendo esta diferencia más amplia al haber un grado de sequía en el suelo, evidenciado la posible recuperación del Ψ_f en el cultivo. (Cánovas, 2012; Díaz, 2015; Vélez et al., 2007a).

2.2 PARÁMETROS DE CALIDAD DE FRUTO Y RENDIMIENTO.

Los resultados del ANDEVA mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos (FxL) para las variables diámetro ecuatorial (DE), peso (W), dureza

(DU), sólidos solubles totales (SST) y rendimiento (RTO) (Tabla 5), por ende, se realizó la prueba de comparación de medias de Duncan la cual se presenta en la Tabla 6.

Tabla 5. p-Valor del ANDEVA para la interacción Fertilización (F) por Lámina de Riego (L) para variables de calidad de fruto y rendimiento en *S. betaceum* Cav bajo condiciones de RDC

FV	GL	DE	W	DU	SST	RTO
FxL	4	0,0123*	0,0417*	0,021*	0,0305*	0,0161*
C.V		2,98	5,85	15,97	2,93	20,86
R ²		0,79	0,88	0,71	0,83	0,78

* Significativo a un α de 0,05. DE= Diámetro ecuatorial (mm). W= Peso de fruto (g). DU= Dureza (kgf cm⁻²). SST= Sólidos solubles totales (°Bx). RTO= Rendimiento (t ha⁻¹)

Tabla 6. Prueba de comparación de medias de Duncan para las variables calidad y rendimiento de *S. betaceum* Cav bajo condiciones de RDC.

Interacción FxL		Medias de Duncan				
Fertilización (F)	Láminas de Riego (L)	DE	W	DU	SST	RTO
F1 (Productor - 200 gr planta ⁻¹)	L1 (100% ETc)	59,72 ab	151,67 ab	2,58 a	10,23 ab	34,5 ab
	L2 (75% ETc)	58,72 b	138,61 b	2,08 ab	10,31 ab	37,8 ab
	L3 (50% ETc)	59,77 ab	165,55 ab	1,91 ab	10,45 ab	29,4 ab
F2 (Análisis químico - 140 gr planta ⁻¹)	L1 (100% ETc)	62,78 ab	141,39 b	2,21 ab	09,83 b	40,3 ab
	L2 (75% ETc)	59,89 ab	145,83 b	2,02 ab	10,55 a	41,0 ab
	L3 (50% ETc)	63,22 a	178,06 a	1,91 ab	10,61 a	48,2 a
F3 (50% del Análisis químico - 70 gr planta ⁻¹)	L1 (100% ETc)	62,05 ab	163,61 ab	2,17 ab	10,38 ab	29,9 ab
	L2 (75% ETc)	59,00 b	148,61 ab	2,07 ab	10,31 ab	26,9 b
	L3 (50% ETc)	60,44 ab	157,50 ab	1,82 b	10,79 a	34,4 ab

DE= Diámetro ecuatorial (mm). W= Peso de fruto (g). DU= Dureza (kgf cm⁻²). SST= Sólidos solubles totales (°Bx). RTO= Rendimiento (kg área efectiva⁻¹). Promedios con letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

2.2.1 Efecto de la interacción lámina de riego por fertilización para calibre del fruto.

La Norma Técnica Colombiana NTC 4105 (ICONTEC, 1997) clasifica el calibre del fruto de *S. betaceum* Cav. de acuerdo al diámetro ecuatorial (DE) y al peso del fruto (W). La interacción F2xL3 tuvo el mayor valor promedio para DE (63,22 mm), mientras que, las interacciones F3xL2 (59 mm) y F1xL2 (58,72mm) registraron los valores más bajos. Con

respecto a W, la interacción F2xL3 fue la de mejor comportamiento (178,1 g), por el contrario, las interacciones F2xL2 (145,8 g), F2xL1 (141,39 g) y F1xL2 (138,61 g) obtuvieron los valores más bajos. Este comportamiento se presentó ya que probablemente la dinámica del crecimiento del fruto y su peso, depende directamente del contenido de humedad en el suelo.

Según Parra *et al.* (2012) cuando el suelo está cerca al punto de marchitez permanente el crecimiento del fruto se detiene, sin embargo, una vez se aplica el riego, el fruto reanuda este proceso a una tasa mayor y llega a la cosecha con diámetros y pesos numéricamente similares a los frutos cosechados de las plantas que se encuentran en condiciones óptimas en cuanto a requerimiento hídrico. Estudios similares en naranja indican que los árboles frutales durante los periodos de reducción hídrica acumulan materia seca, la cual utilizan para el crecimiento compensatorio del fruto en épocas de riego y lluvia (Vélez *et al.*, 2007b; Garzón, 2012).

Por otra parte, los resultados obtenidos mostraron que según DE los frutos cosechados en los tratamientos F2xL3, F2xL1y F3xL1 corresponden a calibre A puesto que presentaron valores superiores a 61mm, correspondientes al 33,3% del total evaluado, mientras que, los frutos cosechados en los tratamientos F3xL3, F2xL2, F1xL1, F1xL3 y F3xL2 se clasificaron como calibre B (Valores entre 60 y 55 mm) representando el 66,7%. Por el contrario, de acuerdo al W el 100% de los frutos cosechados se catalogaron como calibre A, por tener valores superiores a 118 g (Tabla 5). Los frutos cosechados con estos calibres son comercialmente aceptables en el mercado, presentando ventajas competitivas al momento de comercializar (Bernal *et al.*, 2003).

2.2.2 Efecto de la interacción lámina de riego por fertilización para dureza.

El mayor valor de dureza (DU) se presentó para la interacción F1xL1 (2,58 kgf cm⁻²) y el más bajo para la interacción F3xL3 (1,82 kgf cm⁻²) (Tabla 5). Investigaciones realizadas en tomate de árbol indican que los valores de DU deben oscilar entre 3,6 y 7,9 kgf cm⁻² ya que, este parámetro es clave en los procesos de comercialización y venta a distancia en frutas climatéricas (García, 2008). Los valores obtenidos en este estudio son más bajos que los

recomendados debido a que probablemente la cosecha se realizó cuando el fruto se encontró en estado seis de coloración, es decir, completamente maduro.

Esta reducción de DU en los frutos puede atribuirse a los cambios propios de las paredes de la pulpa durante el proceso de maduración producto de la degradación por hidrólisis del componente péptico que a la vez se degrada en otros compuestos como celulosa y hemicelulosa. Así mismo, las células de la epidermis presentan un comportamiento ligeramente elástico a medida que pasan los días de la post-cosecha (Márquez *et al.*, 2007). No obstante, Restrepo (2005) considera que para tomate de árbol en madurez de consumo cargas de 2,5 kgf cm⁻² pueden ser soportadas sin que el fruto se vea afectado físicamente.

Así mismo, los tratamientos F1xL3, F2xL3 y F3xL3 presentaron los valores más bajos (1,91 kgf cm⁻², 1,91 kgf cm⁻² y 1,82 kgf cm⁻² respectivamente) probablemente porque la pérdida de agua puede ser una de las principales causas de deterioro, arrugamiento y flacidez del fruto (Reina *et al.*, 1998).

2.2.3 Efecto de la interacción lámina de riego por fertilización para sólidos solubles totales.

Los valores más altos de sólidos solubles totales (SST) se encontraron entre 10,55 y 10,79 °Bx para las interacciones F3xL3, F2xL3, F2xL2 y el más bajo para la interacción F2xL1 (9,83 °Bx), observando un ligero aumento en los tratamientos con el 50% ETc respecto al testigo (F1xL1) (Tabla 5). Probablemente el exceso de agua en la etapa de maduración puede reducir los sólidos solubles totales y la acidez por dilución, por el contrario, una disminución hídrica moderada durante la maduración del fruto puede aumentar los SST (Vélez *et al.*, 2007a; Laborem *et al.*, 1993).

Esto concuerda con lo propuesto por Ningbo *et al.* (2008) quienes afirmaron que el efecto de la reducción hídrica durante las etapas de crecimiento y maduración del fruto mejoran la calidad en términos de aumento de contenido de azúcares y ácidos orgánicos. Así mismo, los valores de SST coinciden con el estado colorimétrico seis de cosecha puesto que se encuentran entre un rango mínimo de 9,3°Bx y un máximo 10,3 °Bx (ICONTEC, 1997).

2.2.4 Efecto de la interacción lámina de riego por fertilización para rendimiento.

La variable rendimiento presentó diferencias estadísticamente significativas (Tabla 6), puesto el tratamiento F2xL3 indicó el mejor rendimiento con 18 frutos por planta y 3,5 kg planta⁻¹, mientras que, la interacción F3xL2 obtuvo el valor más bajo con una media de 12 frutos por planta y 1,8 kg planta⁻¹ (Tabla 7).

Los tratamientos con menor lámina de riego F1xL3 (29,4 kg área efectiva⁻¹) y F3xL3 (34,4 kg área efectiva⁻¹) se comportaron estadísticamente igual que el testigo F1xL1 (29,4 kg área efectiva⁻¹) debido a que posiblemente el nivel de reducción hídrica no fue severo y/o el mecanismo de tolerancia manifestado por el cultivo fue suficiente para mantener un estado hídrico adecuado en las plantas, presentándose una regulación fisiológica como se experimenta en otras especies frutales, como es el caso de pera var. Triunfo de Viena (*Pyrus communis*) que con una reducción del 52% del requerimiento hídrico en el cultivo en épocas de sequía no se ve afectado el rendimiento y la calidad del fruto (Díaz, 2015).

Tabla 7. Promedio de rendimiento y número de frutos por árbol en el periodo de evaluación

Interacción FxL		Rendimiento		
Fertilización (F)	Lamina de riego (L)	kg planta ⁻¹	Nº frutos planta ⁻¹	kg área efectiva ⁻¹
F1 (Productor - 200gr planta ⁻¹)	L1 (100% ETo)	2,3	15	34,5
	L2 (75% ETo)	2,5	18	37,8
	L3 (50% ETo)	2	12	29,4
F2 (Análisis Químico - 140gr planta ⁻¹)	L1 (100% ETo)	2,7	19	40,3
	L2 (75% ETo)	2,7	19	41,0
	L3 (50% ETo)	3,2	18	48,2
F3 (50 % Análisis Químico - 70gr planta ⁻¹)	L1 (100% ETo)	2,0	12	29,9
	L2 (75% ETo)	1,8	12	26,9
	L3 (50% ETo)	2,3	15	34,4

Así mismo, los mejores rendimientos se presentaron en los tratamientos en los que se aplicó 140 gr planta⁻¹ del fertilizante 15-4-23-4 es decir, F2xL1, F2xL2 y F2xL3, con rendimientos para el periodo de evaluación de 40,3 kg área efectiva⁻¹, 41,0 kg área efectiva⁻¹ y 48,2 kg área

efectiva⁻¹ respectivamente, puesto que al haber mejor distribución de los nutrientes aplicados teniendo en cuenta el análisis de suelos, las plantas incrementan la producción. (Castro, 2014)

Con los resultados obtenidos, se estableció que el mejor tratamiento para las variables de calidad y rendimiento para la interacción fertilización por lámina de riego fue F2xL3, resaltando que la aplicación de 140 gr planta⁻¹ de 15-4-23-4 (F2=Dosis de acuerdo al análisis químico) implica un ahorro de 200 kg ha⁻¹ año⁻¹ de fertilizante con respecto a la dosis que generalmente emplea el productor (200 gr planta⁻¹).

Así mismo, la reducción en la lámina de riego L3 (50% ETc) con respecto L1 (100% ETc) representó un ahorro de agua de 49,7%, puesto que el volumen total de agua utilizado durante la evaluación para L1 fue de 622 m³ ha⁻¹, mientras que, para L3 fue de 312 m³ ha⁻¹, disminuyendo el impacto ambiental al minimizar la sobre explotación del recurso hídrico, que concuerda con los presentados por Díaz (2015) quien al evaluar RDC en pera, reportó un ahorro de agua en los tratamientos deficitarios de 26,8% (68% ETc) y 47,15% (52% ETc).

Por tanto, se sugiere que la aplicación de RDC y una adecuada dosis de fertilizante de síntesis química, pueden convertirse en una estrategia de mejora competitiva en el mercado, sin embargo, es importante considerar que al tener una interacción estadísticamente significativa el productor no podría aplicar el riego sin fertilización o viceversa.

CONCLUSIONES

La aplicación de riego deficitario controlado durante las fases de floración y fructificación en tomate de árbol (*S. betaceum* Cav.) no afectó el comportamiento de algunos parámetros fisiológicos como fluorescencia, conductancia estomática e índice de área foliar.

La aplicación de RDC afectó significativamente la variable potencial hídrico foliar (Ψ_f), donde los tratamientos con una lámina de riego del 50% ETc (F1xL3, F2xL3 y F3xL3)

mostraron resultados más bajos en relación a las interacciones con una lámina de riego del 100% ET_c, (F1xL1, F2xL1 y F3xL1).

La interacción que obtuvo mejor comportamiento para las variables rendimiento (48,2 kg área efectiva⁻¹) y parámetros de calidad tales como diámetro ecuatorial (63,22 mm), peso promedio del fruto (178,1 g) y sólidos solubles totales (10,61 °Bx) fue F2xL3.

La aplicación de RDC y una adecuada nutrición mineral en el cultivo del tomate de árbol (*S. betaceum* Cav.), representan en temporada de sequía un ahorro de agua hasta del 49,7% (310 m³ ha⁻¹) y de fertilizante de 200 kg ha⁻¹ año⁻¹.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta Quezada, P. G. (2011). Caracterización morfológica y molecular de tomate de árbol. Ph.D Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 328p

Acosta-Quezada, P. G., Riofrío, T., Rojas, J., Vilanova, S., Plazas, M., Prohens, J. (2016). Phenological growth stages of tree tomato (*Solanun betaceum* Cav.), an emerging fruit crop, according to the basic and extended BBCH scales. *Scientia Horticulturae*. 199(1): 216-223.

AGRONET. (2017). Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Evaluaciones Agropecuarias. Recuperado de http://www.agronet.gov.co/Documents/19-TOMATE%20DE%20%C3%81RBOL_2017.pdf

Allen, R. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (FAO). Recuperada de <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>.

Ávila, J. y Ruales, J. (2009). Influencia del estrés luminoso e hídrico en la postcosecha, propiedades físico-químicas y estimación de la capacidad antioxidante del tomate de árbol

(*Solanum betaceum* Cav.) genotipo gigante amarillo. *Rev. Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 17(1): 30-40.

Azcón-Bieto. y Talón, M. (2003). Fundamentos de fisiología vegetal. 2° Ed. Barcelona: MacGraw-Hill Interamericana. 435p

Bernal, J., Díaz, C., Amaya, A. y Vanegas, F. (2003). Generalidades del cultivo. Tecnología para el cultivo del tomate de árbol. Rionegro: CORPOICA. 13p.

Cánovas, E. (2012). Influencia del riego deficitario controlado y agua regenerada en árboles jóvenes de pomelo. Ms. C. Tesis de Maestría. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia. 56p.

Castro, J. (2014). Fenología y crecimiento del tomate de árbol (*Solanum betaceum* (Cav.) Sendt), cultivado con coberturas plásticas en el suelo. Ms.C Tesis de Maestría. Pasto: Universidad de Nariño, Colombia. 105p.

Cháves, M., Flexas, J. y Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. 103(4): 551- 560.

Davies, W. y Zhang, J. (1991). Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual review of plant biology*. 42(1): 55-76.

Díaz, D. (2015). Evaluación de la Respuesta a la Aplicación de Riego Deficitario Controlado en cultivo de pera variedad Triunfo De Viena (*Pyrus communis* L.). Ms.C Tesis de Maestría. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 103p.

García, J., Navia, J. y Castillo, J. (2001). Respuesta del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav Sendt) a la aplicación de fertilizantes situados a dos profundidades del suelo. *Rev Ciencias Agrícolas*. 18(0): 99-106.

García, M. (2008). Manual de manejo cosecha y poscosecha del tomate de árbol. 1° Ed. Bogotá: AGROSAVIA. 98p.

Garzón, D. (2012). Evaluación de la influencia del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de la naranja “valencia” (*Citrus sinensis* O.) en el piedemonte llanero de Colombia. *Acta Agronómica*. 62(2): 136-147.

González, A., Tezara, W., Rengifo, E. y Herrera, A. (2012). Ecophysiological responses to drought and salinity in the cosmopolitan invader *Nicotiana glauca* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 24(3): 213-222.

Hunt, R. (1990). Basic growth analysis. Plan growth analysis for beginners. 1° Ed. London: Springer Science y Business Media. 111p.

Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación, ICONTEC. (1997). Norma Técnica Colombiana NTC 4105. Frutas frescas Tomate de Árbol, especificaciones. Bogotá: Cenicafé. 20p.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM. (2012). Sequía meteorológica y sequía agrícola en Colombia: incidencia y tendencias, Subdirección de Meteorología. Recuperada de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Sequias+Incidencias+y+Tendencias.pdf/3e72c86c-cf4a-42f9-95f1-07e7cf88861a>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2000). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. Estudio de Suelos. Edición I. Colombia: IGAC, Subdirección de Agrología. 169p.

Khan, M., Yu, X., Kikuchi, A., Asahina, M. y Watanabe, K. (2009). Genetic engineering of glycine betaine biosynthesis to enhance abiotic stress in plants. *Plant Biotechnology*. 26(1): 125-134.

Khurana, E. y Singh, J. (2004). Germination and seedling growth of five tree species from tropical dry forest in relation to wáter stress: Impact of seed size. *Journal of Tropical Ecology*. 20(4): 385-396.

Laborem, E., Reyes, F. y Rangel, L. (1993). Calidad a la cosecha de la naranja Valencia sobre ocho patrones. 1° Ed. Maracay: Instituto de Investigaciones Agronómicas. 32 p.

Lichtenthaler, H. (2003). Twelve years of book reviews in the Journal of Plant Physiology. *Journal of Plant Physiology*. 160(2): 103-104

Lin, S., Lin, J., Liu, Q., Ai, Y., Ke, Y., Chen, C. Y He, H. (2014). Time course of photosynthesis and non structural carbon compounds in the leaves of tea plants (*Camellia sinensis* L.) in response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 144(1): 98-106.

Lozano, M. (2015). Aplicación de técnicas de riego deficitario en tomate para industria y sus efectos sobre la producción y calidad de la cosecha. I.A Tesis de pregrado: Especialidad en fruticultura y jardinería. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad de Sevilla, España. 68p

Márquez C., Otero, M. y Cortés, M. (2007). Cambios Fisiológicos, Texturales, Fisicoquímicos y Microestructurales del Tomate De Árbol (*Cyphomandra betacea* S.) en poscosecha. *Vitae*. 14(2): 9-16.

Maxwell K, Jonhson G N. (2000). Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Rev. J Exp Bot*. 51(345):659-668.

Molina, M., Zurita, Y. y Osés, R. (2011). Efecto de la disponibilidad hídrica sobre el desempeño fisiológico y productivo de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L). *Ciencia e Investigación Agraria*. 38(1): 65-74.

Neto, A., Amorim P., Pereira D. y Conceição A. (2011). Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girasol. *Rev. Cienc. Agron*. 42(4): 893-897.

Ningbo, C., Taisheng, D., Shaozhong, K., Fusheng, L., Jianhua, Z., Mixia, W. y Zhijun, L. (2008). Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees. *Agricultural Water Management*. 95(4): 489-497.

Parra, R., Ortiz, P., Álvarez, A. y Chávez, N. (2012). Productividad y Crecimiento de Manzano bajo Déficit De Riego Controlado. *Terra Latinoamericana*. 27(1): 337-343.

Paz, J. (2017). Evaluación del déficit hídrico sobre la fisiología de *Cyphomandra Betacea* (Cav.) Sendt, variedades Udenar Contadero y Udenar Arboleda en estado de plántula departamento de Nariño, Colombia, UDENAR. I.A. Tesis Pregrado. Pasto: Universidad de Nariño. 103p.

Pedrero, F., Maestre, J., Mounzer, O., Alarcón, J., y Nicolás, E. (2014). Physiological and agronomic mandarin trees performance under saline reclaimed water combined with regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 146(1): 228-237.

Peña, E. (1998). Physiological ecology of mangrove associated macroalgae in a tropical estuary. Ph.D Tesis Doctoral. Culumbia: Universidad del Sur de Carolina, USA. 259p.

Prasch, C. M. y Sonnewald, U. (2015). Signaling events in plants: Stress factors in combination change the picture. *Environmental and Experimental Botany*. 114(1): 4-14. doi: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.020.

Ramírez, C. (2017). Respuesta fisiológica de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav) bajo deficiencias y diferentes niveles de nitrógeno, fósforo y potasio. Ph.D Tesis Doctoral. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 101p.

Reina, C., Guzmán, M. y Tovar Chaparro, O. (1998). Manejo postcosecha y evaluación de la calidad para Tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* sent.) que se comercializa en la ciudad de Neiva. 1° Ed. Neiva: Universidad Surcolombiana. 81p.

Restrepo, J. (2005). Caracterización y normalización de los recipientes de cosecha y empaques de comercialización de frutas en Colombia. 1° Ed. Chinchiná: Cenicafé. 168p.

Revelo, A., Pérez, E., y Maila, M. (2011). Cultivo de tomate de árbol. Capacitación sobre el cultivo ecológico del tomate de árbol. Recuperado de http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Cultivo%20tomate_ecologico.pdf.

Ruiz, N. (2017). Los nueve frutos colombianos más apetecidos por los extranjeros. Recuperada de <https://www.colombiamegusta.com/las-9-frutas-colombianas-mas-apetecidas-los-extranjeros/>

Scholander, P., Hammel, H., Bradstreet, E. y Hemmingsen, E. (1965). Sappresure in vascular plants. *Science*. 184(1): 339-346.

Selles, G., Ferreira, R. y Maldonado, P. (2002). Cámara de presión: instrumento para controlar el riego a través de mediciones del estado hídrico de las plantas. *Aconex*. 76(1): 18-22.

Snyder, R. (2007) Equation for evaporation to evapotranspiration conversion. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 118(6): 977-980.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. *Estudio FAO: Riego y Drenaje (FAO)*, spa no. 66.

Tafur, H., Rios, R. y Baena, G. (2004). Estudio del comportamiento de goteros que funcionan con el principio del frasco de mariotte en diferentes tipos de suelo. Brasil: Memorias XXXIII Congresso Brasileiro. 9p.

Vélez J., Intrigliolo D. y Castel J. (2007b). Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management*. 90(3): 197-204.

Vélez, J., Intrigliolo, D. y Castel, J. (2007a). Programación del riego deficitario en Clementina de Nules, mediante dendrómetros. *Levante Agrícola: Rev. internacional de cítricos*. 387(1): 313-317.

Vélez, J., Intrigliolo, D. y Castel, J. (2011). Programación de riego en base a sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. *Rev. Científica Actualidad y Divulgación Científica U.D.C.A.* 14(2): 65-73.

Vidal, A., Pérez, A. y Fernández, L. (2015). Óxido Nítrico y su papel en las respuestas de las plantas al estrés hídrico. *Cultivos Tropicales*. 26(1): 51-58.