

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Respuesta fisiológica del limón sutil
[*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle)] al
estrés hídrico.**

Adriana del Carmen Celi Soto

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias - Escuela de Posgrados

Doctorado en Ciencias Agrarias

Línea Fisiología de Cultivos

Palmira, Valle del Cauca, Colombia

2020

Respuesta fisiológica del limón sutil [*Citrus aurantiifolia* [(Christm.) Swingle)] al estrés hídrico.

Adriana del Carmen Celi Soto

Trabajo Final presentado como requisito para optar al título de:
Doctora en Ciencias Agrarias

Directora: Ph.D. Liliana Ríos Rojas

Codirectora: Ph.D. Sara Mejía de Tafur

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias - Escuela de Posgrados

Doctorado en Ciencias Agrarias

Línea Fisiología de Cultivos

Palmira, Valle del Cauca, Colombia
2020

Reflexión

“El mundo tomó un respiro, el ambiente lo necesitaba, dejándonos como lección el amor a la tierra, entonces, sembremos ilusiones, esperanzas y fe, basadas en el principio de la ética y el amor a lo que nos rodea, quien nos alimenta es la tierra, protejámosla como guerreros de acero, cuidemos de nuestro Agricultor, ellos son los héroes escondidos humildes y sencillos”

Adriana Celi S.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Nombre: Adriana del Carmen Celi Soto

Fecha: 22/09/2021

Agradecimientos

Mediante letras quiero expresar mi agradecimiento con estima y cariño a las siguientes personas:

A Dios Padre bendito, a la Sagrada Virgen del Cisne, por ser mi celestina y cuidarme cada día, darme la oportunidad de levantarme todos los días y respirar ese aire puro que gracias a la voluntad de Dios aún puedo percibir.

A la memoria de mi señor Padre, José Raúl Celi Díaz, gracias por ser ese Ángel de la guarda que jamás me abandona, por ser mi único confidente y estar ahí en mi corazón. Sobre tu tumba prometí alcanzar algunos objetivos en mi vida, este logro se lo dedico a usted y sepa que cada día lo extraño más que nunca.

A mi familia, hermosa y grande, a mi señora madre Clara Soto, por darme ese apoyo que me inspira a vencer cualquier adversidad, te amo madre, a mi hermana Marisol por no abandonarme nunca y por ser mi segunda madre, a mis hermanos Rene, Raúl y Henry por protegerme siempre.

A mi directora de tesis Dra. Liliana Ríos Rojas, por contribuir en el acompañamiento de este trabajo, sus eficientes aportes hicieron que esta investigación se culminará con prosperidad.

A la Dra. María Sara Mejía, por sus conocimientos y por ser más que mi profesora una amiga, gracias por sostenerme cuando yo derrumbaba, gracias por ayudarme a confiar en mí, se la lleva guardada en el corazón, sin usted no lo hubiese logrado.

A La Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería - Sede Palmira.

A la Universidad Técnica de Manabí, por darme las facilidades de ejecutar mi investigación

A la finca San Nicolás a su propietario Don Marcelo Castro Rivera y como no al Señor Washington Ramón Montes Solórzano, por darme las facilidades para la investigación por confiar en los profesionales y por compartir sus experiencias, personas que realmente vale oro.

Finalmente, a ti mi amor bello te amo tanto, llegaste a mi vida con alegría, nos toco pasar por circunstancias muy duras y fuiste tú, mi paño de lágrimas, mi fortaleza, con esa carita de ángel me inspiras, y te conviertes en el motor de mi vida, mi Grace Valentina, mi vida entera.

Resumen

Respuesta fisiológica del limón sutil [*Citrus aurantiifolia* ((Christm.) Swingle)] al estrés hídrico.

El trabajo consistió en evaluar la respuesta de limón sutil, al estrés hídrico, la investigación se llevó a cabo en el sitio Maconta perteneciente a la parroquia Colon cantón Portoviejo de la Provincia de Manabí, la finca tiene como nombre “San Nicolás”, es un huerto comercial de 15 años de edad, geográficamente ubicado a 10°08'28" de latitud Sur y 80°04'52" de latitud Oeste, con una altitud de 40 msnm. Se utilizó como material vegetal árboles de limón sutil [*Citrus aurantiifolia* (Christm.) (Swingle)] injertados sobre patrón Cleopatra, la distancia de siembra en la plantación es de 6 x 6 en condiciones de campo abierto.

Las condiciones climáticas fluctuantes en la zona de estudio reportadas durante la evaluación fueron de, 26,8°C, con humedad relativa de 74,81%. Las evaluaciones se realizaron en dos períodos, uno seco (agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre) y otro lluvioso (enero, febrero, marzo, abril y mayo). Para fines de evaluación se utilizó un Diseño de Bloques Completo al Azar (BCA) conformado por 5 tratamientos en el que se incluye el control (riego del agricultor) y 6 repeticiones, los tratamientos en función a la demanda atmosférica del cultivo establecidos de la siguiente manera: 0,3; 0,5; 0,7 y 0,9 ET₀ más el control.

Se observó un crecimiento precoz a cosecha, con niveles de humedad de 29,17% acumulado en el tratamiento 0,3 ET₀, sin alcanzar crecimientos favorables ni rendimientos satisfactorios, pues estos se lograron con una ET₀ de 0,5 que obtuvo un θ de 34 %, este mismo tratamiento resulto ser similar estadísticamente ($P < 0.05$) al control, quien presentó las mayores tasas de asimilación de CO₂, así como también mayores tasas de fotosíntesis (A), conductancia estomática (g_s) y altas tasas de

transpiración (T), el tratamiento control gozó de una frecuencia de riego de cada 8 días, es decir, que contaba con agua a disposición en el suelo. En condiciones de época lluviosa la cosecha de limón fue más temprana y sus rendimientos más bajos, sin embargo, mayor crecimiento del fruto con el tratamiento $0,3 ET_0$, este mismo en época seca estaba sometido a restricciones hídricas, entonces, este crecimiento se explicaría como una compensación del fruto; por otro lado, el tratamiento con mayor θ en época lluviosa que fue el de $0,9 ET_0$, obtuvo los rendimientos más bajos de la época lluviosa; los resultados permiten deducir que el cultivo de limón sutil es susceptible a excesos de humedad en el suelo, esto limita su crecimiento afectando directamente al rendimiento del limón.

Palabras claves: crecimiento, desarrollo, fenología, intercambio gaseoso, conductancia estomática, potencial hídrico, fluorescencia, rendimiento, calidad de la fruta.

Abstract

Physiological response of lemon (*Citrus aurantiifolia* [(Christm.) Swingle] to water stress

The research was carried out in the Maconta site belonging to the parish Colon canton Portoviejo of the Province of Manabí, the farm is called "San Nicolás", it is a commercial orchard of 15 years old, geographically located at 10°08'28" South latitude and 80°04'52" West latitude, with an altitude of 40 masl. Subtle lemon [*Citrus aurantiifolia* (Christm.) (Swingle)] trees grafted on Cleopatra rootstock were used as planting material, the planting distance in the plantation is 6 x 6 in open field conditions.

The fluctuating climatic conditions in the study area reported during the evaluation were 26.8°C, with a relative humidity of 74.81%. The evaluations were carried out in two periods, one dry (August, September, October, November and December) and one rainy (January, February, March, April and May). For evaluation purposes, a Randomised Complete Block Design (RCBD) was used, consisting of 5 treatments including the control (farmer's irrigation) and 6 replicates, the treatments according to the atmospheric demand of the crop established as follows: 0.3, 0.5, 0.7 and 0.9 ET₀ plus the control.

An early growth at harvest was observed, with humidity levels of 29.17% accumulated in the 0.3 ET₀ treatment, without reaching favourable growth or satisfactory yields, as these were achieved with an ET₀ of 0.5 that obtained a 34%. 05) to the control, which presented the highest rates of CO₂ assimilation, as well as higher rates of photosynthesis (A), stomatal conductance (gs) and high rates of transpiration (T), the control treatment had an irrigation frequency of every 8 days, that is to say, it had water available in the soil. In rainy season conditions the lemon harvest was earlier and yields were lower, however, greater fruit growth with the 0.3 ET₀ treatment, which in the dry season was subject to water restrictions, then, this growth could be explained as a compensation of the fruit; On the other hand, the treatment with the highest in the rainy season, which was 0.9 ET₀, obtained the lowest yields in the rainy season; the results allow us to deduce that the subtle lemon crop is susceptible to excess moisture in the soil, which limits its growth, directly affecting the lemon yield.

Key words: growth, development, phenology, gas exchange, stomatal conductance, water potential, fluorescence, yield, fruit quality.

Contenido

	Pág.
1. Capítulo 1. Crecimiento y Fenología Productiva del limón sutil.....	7
1.1 Resumen.....	7
1.2 Introducción.....	8
1.3 Marco Teórico	10
1.3.1 Generalidades del limón Sutil	10
1.3.2 Fases Fenológicas de los cítricos	10
1.3.3 Factores ambientales.....	11
1.3.4 Floración.....	13
1.3.5 Tipos de Inflorescencia	15
1.4 Materiales y Metodología.	17
1.4.1 Localización del sitio de ensayo.....	17
1.4.2 Diseño y Selección de los tratamientos:	19
1.4.3 Instalación del riego.....	20
1.4.4 Descripción del riego	21
1.5 Resultados y Discusión	26
1.5.1 Balance hídrico.....	26
1.5.2 Fluctuación de riego en condiciones de época seca.....	27
1.6 Conclusiones.....	40
1.7 Bibliografía	41
2. Capítulo 2. Intercambio de gases, fluorescencia y potenciales hídricos.....	47
2.1 Resumen.....	47
2.2 Introducción.....	48
2.3. Marco teórico	50
2.4. Metodología	55
2.4.1 Material vegetal y condiciones climáticas	55
2.5. Resultados:.....	59
2.6 Discusión	67
2.7. Conclusiones	71
2.8 Bibliografía.....	72
3. Capítulo 3. Rendimiento y calidad de la fruta.....	77
3.1. Resumen:	77
3.2. Introducción	78
3.3. Materiales y Metodología	80
3.3.1. Localización del sitio de ensayo	80
3.4. Resultados y Discusión:.....	83
3.5. Conclusiones	93
3.6 Bibliografía:.....	94

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Precipitación y Evapotranspiración de referencia (ET₀), durante el período de evaluación (julio 2018-mayo 2019), época seca y lluviosa. Datos tomados de la Estación Meteorológica “La Teodimira”. Elaboración propia.....	18
Figura 2. Humedad relativa y temperatura monitoreada en época seca y lluviosa durante el período de evaluación (julio 2018-mayo 2019), época seca y lluviosa. Datos tomados de la Estación Meteorológica “La Teodimira”. Elaboración propia.....	19
Figura 3. Sistema de riego instalado en el cultivo de limón sutil. Sitio Maconta.	20
Figura 4. Codificación de estadios de brote de limón hasta cosecha imágenes de limón sutil, Finca San Nicolás. Maconta	25
Figura 5. Fluctuación del θ en el suelo, del tratamiento 0,3 de ET₀, en condiciones de época seca.	28
Figura 6. Fluctuación del θ en el suelo, del tratamiento 0,5 de ET₀, en condiciones de época seca.	29
Figura 7. Fluctuación del θ en el suelo, del tratamiento 0,9 de ET₀, en condiciones de época seca.	30
Figura 8. Comportamiento de la humedad en el suelo, de acuerdo a la precipitación acumulada durante la época lluviosa en el tratamiento 0,3 ET₀.	33
Figura 9. Comportamiento de las humedades en el suelo, de acuerdo a la precipitación acumulada durante la época lluviosa en el tratamiento de 0,9 ET₀....	34
Figura 10. Fluctuación de crecimiento de limón sutil, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo, cada línea representa los distintos tratamientos.....	37
Figura 11. Fluctuación de crecimiento del limón sutil, durante la época invernal, cada línea representa los tratamientos.	38
Figura 12. Descripción fenológica reproductiva de limón sutil, bajo las condiciones de Maconta durante el período 2018-2019.....	40
Figura 13. Precipitación y Evapotranspiración de referencia (ET₀), durante el periodo de evaluación. Datos recopilados de la Estación Meteorológica “La Teodomira”. Elaboración Propia.....	56
Figura 14. Temperatura y horas luz durante el periodo de evaluación. Datos recopilados de la Estación Meteorológica “La Teodomira”. Elaboración Propia.....	56

Figura 15. Curva de saturación a la fotosíntesis en el cultivo de limón sutil [<i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle], en el sitio Maconta, en condiciones de época seca.	60
Figura 16. A) Fotosíntesis (A), B) conductancia estomática (g_s), C) transpiración (T), y D) relación de CO₂ intra-intercelular (C_i/C_a), bajo distintos tratamientos de ET₀, en condiciones de Maconta.	61
Figura 17. Potencial hídrico de la hoja (ψ_h) en MPa en dos épocas A) seca y B) lluviosa cada línea expresa un nivel de tratamiento determinado por la ET₀ y en el eje de las x se expone los niveles de humedad alcanzados durante la evaluación.	64
Figura 18. Conductancia estomática ($mmol/m^2s^{-1}$), en dos épocas A) seca y B) lluviosa, cada línea representa los distintos niveles de humedad en el suelo y en el eje x la intensidad del estrés hídrico.	65
Figura 19. Eficiencia cuántica en el FOTOSISTEMA II expresada como F_v/F_m en la A) época seca y B) época lluviosa, bajo distintos niveles de ET₀, en el sitio Maconta	66
Figura 20. Rendimiento del limón sutil sometido a distintos niveles de humedad en el suelo en dos épocas seca y lluviosa, de acuerdo con prueba de Duncan ($P < 0.05$).	84
Figura 21. Peso de fruta, cáscara y pulpa, determinada en la época seca (A) y lluviosa (B), de acuerdo con prueba de Duncan ($P < 0.05$).	87
Figura 22 A) Peso de pulpa y contenido de jugo en condiciones de época seca y B) Peso de pulpa (A) y contenido de jugo (B) en época lluviosa, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).	88

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Distribución de tratamientos.....	19
Tabla 2. Promedios de humedad de acuerdo a los distintos tratamientos de evapotranspiración en el cultivo de limón sutil.....	26
Tabla 3. Días a diferenciación de sucesos fenológicos del limón sutil, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo, durante la época seca.	31
Tabla 4. Descripción fenológica del limón sutil en época lluviosa	35
Tabla 5. Distribución de tratamientos.....	57
Tabla 6. Niveles de humedad de acuerdo a las distintas láminas de riego aplicadas al cultivo de limón sutil	59
Tabla 7. Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) y la Eficiencia en el Uso de la Carboxilación en limón sutil, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo.	63
Tabla 8. Selección de los tratamientos.....	80
Tabla 9. Niveles de humedad de acuerdo a los distintos Kc en el cultivo de limón sutil.	83
Tabla 10. Diámetros polar y ecuatorial y firmeza de limón sutil sometido a distintas humedades en el suelo en dos épocas seca y lluviosa.	90
Tabla 11. Parámetros de calidad del limón sutil sometido a distintos niveles de humedad en el suelo en dos épocas seca y lluviosa	92

Introducción

Los cítricos comprenden el grupo de frutales más cultivados en el mundo, siendo España, México, India, Brasil, Argentina, Estados Unidos y Sudáfrica, los mayores productores y exportadores (FAO, 2018). El *Citrus aurantiifolia* L, comúnmente conocido en Ecuador como limón sutil y limón pajarito en Colombia, es ampliamente cultivado en Ecuador para consumo local, dado el fuerte potencial para la producción de cítricos y de manera especial en el litoral (Cañarte y Navarrete, 2019).

El INEC indica que en el 2018, Ecuador tenía 5.726 ha plantadas con limón sutil, con una producción de 24.144 t, de las cuales 1.763 ha están en la provincia de Manabí, con 10.194 t, sembradas como monocultivo y en asociación con otros cultivos 493 ha con producciones de 1.880 t, ocupando esta provincia el 47% de la producción a nivel nacional (INEC, 2018).

La superficie plantada en el cultivo de limón ha incrementado en los últimos años, sin embargo, su producción siempre se verá limitada por diferentes factores endógenos y exógenos; uno de los factores que influyen en la calidad y producción, de todos los cultivos, es el agua; es conocido que el 70-80% del total del uso del agua, a nivel mundial está asociado con la agricultura de manera especial en zonas áridas y semi-áridas del planeta, el cambio climático proyecta un incremento significativo de la temperatura, provocando reducción en la precipitación anual, disminuyendo un 17% el agua como fuente disponible para el riego en el mundo; algunas predicciones para el 2050 hacen énfasis a un incremento de la evapotranspiración del cultivo (García-Tejero et al., 2010).

La disponibilidad de agua en el suelo es esencial en la distribución de las plantas en los ecosistemas y la productividad de los cultivos, su relación agua-planta, permite conocer la capacidad de adaptabilidad de distintos genotipos y cultivares al estrés hídrico (Mejía,

Burbano, García, & Baena, 2014). El crecimiento del limón y de todos los cultivos suele verse afectado por diversos factores; la temperatura, humedad y la precipitación afectan la producción de la fruta, e inclusive sus cosechas pueden inducirse por el comportamiento de lluvias presentes en el invierno y en el verano; en varios estudios, se ha visto que hay una influencia del estrés hídrico en la inducción floral (Orduz, Monroy, & Fischer Gerhard, 2010). Un estrés hídrico induce cierre estomático, evaporación, enfriamiento e incremento de la temperatura de la hoja (Tejero et al., 2011). El estrés ya sea por sequía o anegamiento, conduce una serie de respuestas en las plantas, incluyendo cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares que afectan el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Liu et al., 2019).

Las respuestas de las plantas a los estímulos externos están mediadas principalmente por fitohormonas (Zandalinas, Rivero, Martínez, Gómez-Cadenas, & Arbona, 2016). El déficit hídrico altera el balance hormonal de distintas especies vegetales, incide en los procesos fisiológicos y por ende en el crecimiento y desarrollo (Nakashima & Yamaguchi-Shinozaki, 2013). En cítricos se incrementa la concentración de ácido abscísico (ABA), jasmónico (AJ) y salicílico (AS), mientras que las giberelinas disminuyen de forma secuencial en hojas estresadas, recuperándose a medida que el riego se reanuda, la producción de etileno incrementa en la senescencia foliar y por tanto la degradación de clorofila, la abscisión de hojas y frutos. El ABA tiene una doble función en la protección de los cítricos frente a un estrés, una a corto plazo donde se reduce la transpiración, debido al suministro de ABA en las hojas y al cierre de estomas, la otra, que es a largo plazo donde induce síntesis de proteínas incrementando la tolerancia de la planta a la desecación (Montoliu Vidal, 2010).

Con estos antecedentes, es necesario encontrar nuevas estrategias del cultivo, para soportar las adversidades a las que se exponen por la alteración climática; reducir la cantidad del agua y ser más eficientes en su uso, focalizando y maximizando el ahorro del agua hasta el final de la productividad; sin duda una de estas estrategias, es regular el déficit hídrico, basado en la aplicación de bajas cantidades de agua necesarias para el cultivo, compensando la pérdida por evapotranspiración (García-Tejero et al., 2010). La implementación de riego eficiente se asocian con estrategias de economía de agua, estas técnicas parten en el principio de las estimaciones periódicas, en términos de

balance de agua en el suelo, para precisar o asegurar la distribución del proceso de intercambio gaseoso en el sistema suelo-planta-atmósfera conduciendo a mejorar la sostenibilidad del cultivo (Ruiz, Velásquez, Iménez, Manzano, & Sanchis-Ibor, 2017).

Recapitulando, se mencionó con anterioridad que el cultivo de limón es importante en la producción Agrícola de la provincia de Manabí, por ello, es indispensable conocer el comportamiento de la planta frente a deficiencias o excesos de agua en el suelo; en Ecuador se presentan dos periodos, uno de época seca sin presencia de lluvias y otro de época lluviosa; la duración de cada periodo, afecta el crecimiento y desarrollo del cultivo, entonces, es necesario implementar técnicas que favorezcan una productividad sostenible que incremente el rendimiento de pequeños y grandes productores. Lo mencionado anteriormente, se debe, a que se presentan altas producciones en temporadas estacionales, esto reduce de manera significativa el valor de la cosecha debido a la excesiva oferta, ocasionando pérdidas para el productor que no alcanza a cubrir los costos invertidos en el manejo del cultivo.

Existen distintos paquetes tecnológicos que permiten mejorar los rendimientos del limón, una combinación asociada a un plan de fertilización, control integrado de plagas y enfermedades, manipulación del riego, poda y prácticas adecuadas de pos-cosecha, contribuyen a mejorar la calidad del fruto. Con el impacto del cambio climático uno de los recursos con peligro de agotamiento, es sin duda es el agua, razón por la cual, el riego controlado, es una estrategia que favorece a la calidad de los frutos, a más de economizar el uso eficiente del agua, estas prácticas son dependientes de las condiciones climáticas, y de los sucesos fenológicos del cultivo, es clave conocer los puntos críticos del cultivo, para optar por restringir el agua en el limón y aumentar la producción, sin disminuir los procesos de intercambio de gases, es decir un buen suministro de CO₂ a la planta para que produzca combustible y beneficie crecimiento, apuntando al rendimiento y calidad de la fruta.

El documento que se presenta a continuación está estructurado por el siguiente contenido: consta de tres capítulos, el capítulo i) con el nombre de Fenología y

crecimiento reproductivo del cultivo de limón sutil, en él se detalla el comportamiento del crecimiento del fruto bajo distintos niveles de humedad en el suelo, para su ejecución se ajustó los monitoreo del fruto a las escalas BBCH para cítricos, se siguió el crecimiento del fruto hasta 8 días a cosecha, el monitoreo permitió determinar los días de duración de cada etapa fenología del fruto de limón; el capítulo ii) Intercambio de gases, fluorescencia y potencial hídrico, aquí se determinó la eficiencia fisiológica del limón frente a adversidades hídricas, sea por déficit o exceso de agua, además, de determinar por medio de la Eficiencia cuántica condiciones normales de la transferencia de electrones durante la fotosíntesis en el cultivo, monitoreando la distribución hídrica a través de la planta y la capacidad de respuesta mediante ajustes fisiológicos, finalmente en el capítulo iii), se evaluó la respuesta del cultivo en términos de producción expresado como kg/ha, así como también la respuesta en variables de calidad de fruta como: pesos, diámetros, contenido de jugo, sólidos solubles (SSTT), firmeza y acidez, variables claves en la producción de cualquier frutal y específicamente de limón.

Bibliografía:

Cañarte Bermúdez, E., & Navarrete Cedeño, J. B. (2019). Situación fitosanitaria de los cítricos en Ecuador.

FAO. (2018). FAOSTAT. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

García-Tejero, I., Jiménez-Bocanegra, J. A., Martínez, G., Romero, R., Durán-Zuazo, V. H., & Muriel-Fernández, J. L. (2010). Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. salustiano]. *Agricultural Water Management*, 97(5), 614–622. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.005>

INEC. (2018). *Superficie, Producción y Ventas , según región y Provincia Limón (Fruta fresca)*.

Liu, B., Liang, J., Tang, G., Wang, X., Liu, F., & Zhao, D. (2019). Drought stress affects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Juglans* rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 250(February), 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.056>

- Mejía, M., Burbano, R., García, M., & Baena, D. (2014). Respuesta fotosintética de *Eucalyptus grandis* W . Hill a la disponibilidad de agua en el suelo y a la intensidad de luz. *Acta Agronomica*, 63, 311–317.
- Montoliu Vidal, A. (2010). *Respuestas fisiológicas de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico: Aspectos comunes y específicos*. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Recuperado de <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/29723>
- Nakashima, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2013). ABA signaling in stress-response and seed development. *Plant Cell Reports*, 32(7), 959–970. <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1418-1>
- Orduz, J., Monroy, H., & Fischer Gerhard. (2010). en el piedemonte del Meta , Colombia piedmont of the Meta department , Colombia. *Agronomia Colombiana*, 28(1), 63–70.
- Ruiz, M., Velásquez, M., Iménez, M., Manzano, J., & Sanchis-Ibor, C. (2017). Evaluación de los efectos de la modernización del regadío mediante modelos Agro-Hidrológicos. En *XXXIV Congreso Nacional de Riegos* (p. 10). Tarragona.
- Tejero, I., Hugo, V., Zuazo, D., Antonio, J., Bocanegra, J., Luis, J., & Fernández, M. (2011). Scientia Horticulturae Improved water-use efficiency by deficit-irrigation programmes: Implications for saving water in citrus orchards, 128, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.01.035>
- Zandalinas, S., Rivero, R., Martínez, V., Gómez-Cadenas, A., & Arbona, V. (2016). Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology*, 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0791-7>

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto del estrés hídrico sobre el rendimiento y la calidad del limón sutil [*Citrus aurantiifolia* (Christm.) (Swingle)], en el Valle del Rio Portoviejo de la provincia de Manabí-Ecuador.

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de distintos niveles de riego, en la fenología reproductiva y el crecimiento del fruto de limón sutil.
- Evaluar el efecto de distintos regímenes de riego en los parámetros fisiológicos (intercambio gaseoso) e hídricos (potenciales) del cultivo de limón.
- Determinar el efecto de distintos regímenes de riego en el rendimiento y calidad de fruta de limón sutil.

1. Capítulo 1. Crecimiento y Fenología Productiva del limón sutil.

1.1 Resumen

El ensayo se desarrolló en el cantón Portoviejo de la Provincia de Manabí, en el sitio Maconta en la finca comercial San Nicolás, huerto comercial de 15 años de edad, ubicado a 10°08'28" de latitud Sur y 80°04'52" de latitud Oeste, con una altitud de 40 msnm. El material vegetal utilizado árboles de limón sutil [*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle)] injertados sobre patrón Cleopatra, sembrados a un distanciamiento de plantación de 6 x 6 m en condiciones de campo abierto. La temperatura promedio fue de 26,8°C, con humedad relativa de 74,81%. Se evaluó el cultivo de limón en dos épocas una seca y otra lluviosa. Un Diseño de Bloques Completo al Azar (BCA) con 5 tratamientos incluido el control y 6 repeticiones, los tratamientos establecidos de acuerdo a la demanda atmosférica del cultivo establecidos de la siguiente manera: 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 ET₀ y el tratamiento convencional representado por el riego del agricultor.

Se ajustó el crecimiento del cultivo a las escalas BBCH, determinando las fases de crecimiento de acuerdo al criterio de dominación del agricultor. Diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) se encontraron entre épocas; siendo los frutos provenientes del período lluvioso que alcanzaron el tamaño final a cosecha en menos tiempo, un total de 15 días es la diferencia. Con respecto a la evaluación en época seca, el tratamiento con el 0,3 ET₀ que alcanzó un nivel de humedad(θ) de 29,17% logró crecimiento precoz, resultando ser estadísticamente significativo ($P < 0.05$) en relación a los demás tratamientos. Unas acumulaciones de 116 días necesitaron estos árboles en comparación a 141 días que tarda el tratamiento 0,9 de ET₀ para alcanzar su tamaño final.

Si bien se mencionó con anterioridad, que en época lluviosa el fruto llega a cosecha en menos tiempo; también es necesario señalar que a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en esta época, es el tratamiento 0,3 ET_0 que adquirió mayores crecimientos y asimismo el que llegó a cosecha en menos tiempo, esta peculiaridad permite deducir que para la época lluviosa la lámina de 0,3 ET_0 , sería una opción de riego, sin embargo, se debe tomar en cuenta la intensidad de la precipitación y el contenido de humedad en el suelo.

Palabras claves: Crecimiento, desarrollo, humedad, fenología, temperatura, Coeficiente de cultivo.

1.2 Introducción

En Ecuador, se cultiva limón sutil (*Citrus aurantiifolia* (Swingle) y Tahití (*Citrus latifolia*), el primero es para consumo local y el segundo con fines de exportación (Santistevan, Julca, & Helfgott, 2015). El limón sutil también conocido como limón pajarito en Colombia, está sembrado en Ecuador en una superficie de 5.726 ha, la producción nacional esta por sobre 24.144 t, y es la provincia de Manabí que tiene el 47% de la producción (INEC, 2018). En los últimos años, ha incrementado la demanda de productos agrícolas para la alimentación, forraje y combustible, producto del aumento de la población, razón por lo que, el consumo del agua incrementa; de ello, radica la importancia de racionalizar el agua (García-Tejero et al., 2010).

La estrategia del ahorro del agua, sería una técnica propicia para elevar la productividad de los cultivos, pues, mejoraría la relación entre rendimiento y el agua aplicada, mejorando rendimiento o reduciendo la evapotranspiración del cultivo (Feres, Goldhamer, & Parsons, 2003). Diversos tipos de estrés ocasionan cuantiosas pérdidas en el rendimiento, un estrés de cultivos que poco toleran los cítricos, es la inundación, las lluvias en exceso, o un manejo inadecuado de riego, ocasionan encharcamientos, y dependiendo de la intensidad, resultaría ser desfavorable, pues los cítricos son más sensibles a la baja oxigenación, ocasionando una alteración química y bioquímica que puede manifestarse a través del marchitamiento de las hojas y abscisión, que son una de las principales causas de estrés por inundación (Dovis et al., 2014).

Desde otra perspectiva, el estrés por sequía en los cítricos, reduce el crecimiento y el metabolismo, conduciendo a un declive del rendimiento y la calidad de la fruta (Pérez, Robles, Tovar, & Botía, 2009). Un estrés ambiental como sequía, salinidad y temperaturas extremas, afectan negativamente el crecimiento de cultivos, los daños causados por las condiciones climáticas como sequías repercutirían directamente en la producción de cultivos (Zaher-Ara, Boroomand, & Sadat-Hosseini, 2016). Las plantas responden a la escasez del agua de forma compleja, pues combinan una serie de cambios, producto de la adaptación (Chaves et al., 2002). La fenología y rendimiento de las plantas dependen de la cantidad de agua disponible en el suelo, la humedad relativa del aire, la temperatura, la radiación solar, entre otras condiciones climáticas. En el trópico, cuando no se cuenta con sistemas de riego adecuados, la distribución de las lluvias es un factor importante y limitante para los cultivos (Hernández A., Mateus C., & Orduz-Rodríguez, 2014).

El efecto de la carencia de agua en las plantas se intensifica en los cultivos, dependiendo de las especies, el grado y duración de la carencia de agua (Ginestar & Castel, 1996). Esta situación conlleva a una alteración funcional y fisiológica de las plantas, ocasionando un estrés. El estrés hídrico repercute en el rendimiento y directamente en el estado fenológico de los cultivos y son dependientes de las condiciones ambientales, que en muchas ocasiones suelen ser desfavorables, por lo que, las plantas han establecido mecanismos de protección frente a un estrés, estas respuestas combinan factores anatómicos y fisiológicos, causando problemas en el almacenamiento y transporte del agua, una respuesta de los cítricos al estrés, es la abscisión de las hojas, estrategia, para disminuir el área foliar y evitar la pérdida de agua por transpiración y así mantener los procesos fisiológicos en la planta (Navarro, G., Romero, & Pablo, 2010). Bajo estos antecedentes se ha planteado evaluar el comportamiento fenológico productivo del limón sutil, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo. Es necesario recalcar que pocas investigaciones han indagado en la fenología del limón, razón por lo que, esta investigación, sería una herramienta de apoyo para el agricultor y para dar entrada a futuros proyectos, que solventen el manejo estratégico del cultivo de limón, pues se ha visto que, al igual que todos los cultivos, las restricciones hídricas en limón serían un apoyo para modificar el crecimiento del fruto, conociendo y estableciendo los periodos

críticos que serían clave para no repercutir en el crecimiento final del fruto y por ende desfavorecer la producción.

1.3 Marco Teórico

1.3.1 Generalidades del limón Sutil

El origen de los cítricos es desconocido, se ha vinculado al noreste de India, se asocia también a sus inicios en el noroeste de India, se supone que se introdujo en Italia en el año 200 d.C y se cultivó en Irak y Egipto en el año 700 d.C, a Sicilia llegó antes del año 1000 y a China entre los años 760 y 1297 d.C, luego los árboles se distribuyeron en la región Mediterránea entre los años de 1000 y 1150 d.C, en 1493 Cristóbal Colón llevó las semillas a España (Morton, 1987). En la actualidad el cultivo se extiende por la mayor parte de regiones tropicales y subtropicales comprendidas entre 44° N y 41° S (Agustí, 2010).

Los críticos en general producen alto número de flores provocando abortos florales como respuesta fisiológica a limitaciones ambientales tales como: la disponibilidad de agua y nutrientes, y a factores hormonales que están determinados por la capacidad del sumidero, velocidad del transporte y ajuste de la carga, que para el caso, estarían dados por la cantidad y calidad de los frutos, factores determinantes del rendimiento y productividad (Rebolledo, 2012) (Martínez-Fuentes, Mesejo, Juan, Almela, & Agustí, 2004). Los limones o agrios pueden crecer en diversas condiciones edáficas, desde suelos pedregosos muy pobres hasta suelos arcillosos y pesados; sin embargo, esto no significa que se adapten sin dificultad alguna (Manuel Agustí, 2012).

1.3.2 Fases Fenológicas de los cítricos

La fenología tiene como finalidad describir de forma integral los comportamientos de las plantas, dentro de un ecosistema natural o agrícola en su interacción con el medio ambiente, esto permite a los productores tener una visión clara del manejo del cultivo en sus diferentes etapas.

1.3.2.1. Fenología del género *Citrus*, adaptado a la escala BBCH

Las etapas fenológicas adaptadas a la escala BBCH ajustadas por Agustí (2010). Se describen a continuación.

Fenología del género *Citrus*, adaptada a la escala BBCH.

Código	Estadio	Descripción fenológica
Desarrollo de las yemas		
00	Reposo	Yemas vegetativas y de inflorescencia diferenciadas cerradas y cubiertas por escamas
01	Yema hinchada	Comienza a hincharse las yemas.
03	Finaliza el hinchamiento de las yemas	Las escamas verdes están ligeramente separadas: Empieza la apertura de las yemas.
07	Yema abierta	Comienza a aperturarse las yemas
09	Primordio foliar	Los primordios foliares son visibles.
Desarrollo de las hojas		
10	Las primeras hojas empiezan a separarse	Las escamas verdes están ligeramente abiertas y han emergido las hojas
11	Las primeras hojas son visibles	
15	Se hacen visibles más hojas	Visibles, pero no alcanzan el tamaño final.
19	Las hojas alcanzan su tamaño final	
Desarrollo de brotes		
31	Empieza a crecer el brote	Se hace visible su tallo
32	Los brotes crecen	Los brotes alcanzan alrededor del 20% de su tamaño final
39		Los brotes alcanzan alrededor del 90% del tamaño final

Desarrollo de las flores

51	Las yemas se hinchan	Están cerradas y se hacen visibles las escamas ligeramente verdes.
53	Las yemas revientan	Las escamas se separan y se hacen visibles los primordios florales
55	Las flores se hacen visibles	están todavía cerradas (botón verde) y se distribuyen aisladas o en racimos en inflorescencias con o sin hojas.
56	Los pétalos crecen	Los sépalos envuelven la mitad de la corola (botón blanco)
57	Los sépalos se abren	haciéndose más visibles los extremos de los pétalos, todavía cerrados, de color blanco o amoratado.
59	La mayoría de las flores	con pétalos cerrados adquieren una forma de bola hueca y alargada.

Floración de acuerdo a Agustí (2010)

60	Aparecen las primeras flores abiertos	
61	Comienza la floración	Alrededor del 10% de las flores estan abiertas
65	Plena floración	alrededor del 50% de las flores están abiertas: Empiezan a caer los primeros pétalos.
67	Las flores se marchitan	La mayoría de pétalos están cayendo.
69	Fin de floración	Caen todos los pétalos

Desarrollo del fruto a Agustí (2010)

71	Cuajado	cuando el ovario empieza a crecer, e inicia la caída de frutos jóvenes.
72	El fruto verde	está rodeado por sépalos a modo de corona.

73	Algunos frutos amarillean	Inicia la caída fisiológica de frutos.
	El fruto alcanza el 40% del tamaño	
74	final	adquieren un color verde oscuro y finaliza la caída fisiológica de frutos.
	El fruto alcanza alrededor del 90% de	
79	su tamaño final	

Maduración del fruto a Agustí (2010)

	El fruto empieza a colorear (cambia	
81	color)	
	El fruto está maduro para ser	
83	recolectado	Aunque no adquirió su color característico.
85	Maduración avanzada	Incrementa el color característico (verde)
89	Fruto maduro y apto para el consumo	Tiene sabor, firmeza natural y comienza la senescencia y abscisión.

1.3.3 Factores ambientales

- **Temperatura:** El limón crece y produce en zonas con temperaturas entre 25-31°C, estos rangos permiten tener crecimientos y floraciones frecuentes, que pueden ser interrumpidos por el déficit hídrico, se ha visto que las temperaturas que van de 12-13°C paralizan crecimiento (Gene Albrigo & Galán Saúco, 2004). En cítricos, la producción está marcada por factores ambientales, destacándose temperaturas moderadamente bajas en condiciones subtropicales y en las regiones tropicales determinadas por un estrés hídrico (Rebolledo, 2012).

- **Luz:** Al disminuirse la luz, la brotación se extiende con frutos menos vigorosos, disminuye floración y los frutos se tornan amarillentos, quedando propensos al ataque de plagas y enfermedades; sin embargo, cuando la luz incrementa se inhiben los procesos metabólicos. En ambientes con alta luminosidad, la temperatura incrementa hasta 9 °C sobre la temperatura del aire, provocando un aumento en el déficit de presión de vapor (hoja-aire), disminuyendo la conductancia estomática (g_s) y la tasa de fotosíntesis (A), cuando las condiciones de alta radiación van acompañadas de un factor de estrés, por ejemplo, un estrés hídrico desencadena una foto-inhibición por luz (Jifon & Syvertsen, 2003).

La tasa de radiación de los cítricos, es generalmente baja al compararse con otros frutales, va de 7-10 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de fotosíntesis (A) con un punto de saturación que es bajo y está entre 700-900 $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, aproximadamente un tercio de la luz total (J. P. Syvertsen, Goñi, & Otero, 2003).

- **Requerimientos hídricos:** Se requieren cantidades razonables, de manera especial en floración y fructificación; en un nivel de 5000 y 8000 m^3/ha y por año, esto es dependiente de las condiciones climáticas (Agustí, 2012). Bavel, Newman, & Hilgeman, (1965) determinaron que el consumo anual de cítricos para árboles adultos fluctuó entre 1.000 mm a 1.563 mm, estos valores fueron calculados para Florida y Sudáfrica respectivamente, sin considerar las pérdidas por percolación y escorrentía. Sin embargo es importante recalcar que en las zonas templadas los requerimientos hídricos son menores (Agustí, 2012)

- **Eficiencia en el uso del agua (EUA):** La eficiencia del agua podría definirse, como la relación entre las unidades de materia seca total producida, por unidad de agua consumida, y en términos de fotosíntesis se explicaría como miligramos de CO₂, que son absorbidos por gramos de agua empleados en la transpiración; esta eficiencia va a depender de los factores climáticos, genética y nutrición (Pérez-Pérez, Robles, García-Sánchez, & Botía, 2016). Al igual que el crecimiento de las plantas, la asimilación del CO₂, la eficiencia en el uso del agua puede verse incrementada en un ambiente elevado de CO₂ (James P. Syvertsen, Melgar, & García-Sánchez, 2010).
- **Viento:** La velocidad del viento es clave para mantener el CO₂ en la superficie de la hoja y la conductancia estomática. Las mayores remociones de vapor de agua en la hoja por efectos del viento ocurren a bajas velocidades, si la velocidad del viento es alta, ocurre cierre estomático sea por daños mecánicos o deshidratación (Cuéllar, Trujillo, Neira, & Torres, 2013).
- **Disponibilidad de agua en el suelo:** La comprensión del componente suelo, es vital para la predicción del suministro de agua, es dependiente del potencial mátrico del suelo sin excluir las relaciones entre el déficit de agua del suelo y el uso del agua (Du Plessis, 1985). El crecimiento y desarrollo de las plantas se ven fuertemente influenciados por la disponibilidad de la misma, porque interviene en los procesos fisiológicos (Vélez, Álvarez, & Alvarado, 2012).

En cítricos, una carencia de agua en plena expansión celular del fruto, inhibirá crecimiento del fruto, sin embargo, retomar el riego completo aumentaría la tasa de crecimiento, sin afectar el tamaño a cosecha (Goldhamer & Salinas, 2000).

La transpiración es el principal componente de la Evapotranspiración del cultivo (ETc) y son dependientes de la conductancia estomática, es importante aclarar que varias investigaciones sugieren que el estoma en cítricos difiere de los demás cultivos (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012). El contenido de agua en el suelo fluctuaría a lo largo del tiempo, suele perderse por escorrentía y evapotranspiración, las entradas

y salidas del agua en el suelo generan cambios continuos en la humedad, sin embargo, los suelos llegan a mantener la máxima cantidad de agua a la que se denomina capacidad de campo (CC), pero cuando el suelo pierde humedad puede llegar alcanzar punto de marchitamiento, que ocurre cuando se ha perdido toda el agua del suelo. Pero el máximo crecimiento en cultivos, se logra cuando la humedad del suelo está cerca a la CC, pues en este momento las plantas están con suficiente oxígeno y con agua retenida con poca fuerza por el suelo, esto permite rápida absorción del agua (Ibañez, 2006).

1.3.4 Floración

En la floración se presentan tres fases: inducción floral, diferenciación y desarrollo de la flor, este proceso termina con la antesis; cuando se detiene el crecimiento vegetativo, empieza la inducción floral, que es desencadenado por un sensor como es la temperatura baja; la inducción floral incluye eventos entre crecimiento vegetativo hasta la producción de inflorescencias; son los factores endógenos los que regulan la floración, generando una correlación inversa entre cantidad de flores con la cosecha anterior y está ligado a la capacidad, composición de reservas y alteración del balance hormonal. (Orduz-Rodríguez & Fischer, 2007).

1.3.4.1. Factores que determinan la floración en cítricos

- **Contenido de carbohidratos:** Es considerado como un factor limitante de este evento fenológico, la distribución de nutrientes al interior del meristemo apical podría ser el factor de inducción (Agustí, 2010).
- **Bajas concentraciones de azúcares en relacionan con la producción del año anterior:** tal es el caso que en mandarina clementina (*Citrus reticulata*), se observó que las concentraciones de azúcares en las hojas y ramas en árboles que se encontraban en años “**off**”, era cuatro veces más que en los árboles en años “**on**”, esto favorece a la floración de la siguiente temporada (Martínez-Fuentes, Mesejo, Juan, Almela, & Agustí, 2004).

- **Distribución de la canopia:** otro factor de interés es la distribución de la floración en la canopia, las bajas floraciones se obtienen de madera de dos o más años, a pesar de ello, son los brotes de un año o los más jóvenes, los que contribuyen al crecimiento en primavera (Agustí, 2010).
- **Condiciones Ambientales:** Tanto la intensidad como la distribución de la floración están determinadas por las condiciones ambientales, se ha logrado observar que bajas temperaturas o un estrés hídrico en este evento fenológico, influyen en la floración por que reducen el crecimiento radicular y con ello el aporte de las giberelinas a la copa (Mesejo et al., 2016).
- **Cosecha:** Es un factor que condiciona la floración, cuando en una temporada se presenta una cosecha abundante, la intensidad de flores desciende de forma considerable, esto se relaciona con la producción de giberelina por parte del fruto y hojas jóvenes, así como también por el descenso de carbohidratos en la planta (Martínez-Fuentes et al., 2004).
- **Inducción floral:** En árboles tropicales y subtropicales, la inducción de flores sigue un patrón de crecimiento vegetativo, que se da luego de un periodo frío o un factor estresante que podría ser el déficit hídrico (Chaikiattiyos, Menzel, & Rasmussen, 1994). En cítricos, las bajas temperaturas (< 20°C), ocasionan inactividad en los brotes, en climas frescos con estas temperaturas se induce la diferenciación de brotes formados a flores (Albrigo, 2002).

Agustí (2010), manifiesta que la inducción floral en una yema se debe al cambio que produce en la parte interior del meristemo apical, a consecuencia de las variaciones en la distribución de nutrientes (Guardiola, Monerri, & Agusti, 1982), manifiesta que la inducción floral es un cambio cualitativo que involucra un balance hormonal, y que puede lograrse por la detención del riego.

- **Diferenciación floral:** En cítricos de manera general, los órganos florales ocurren en las etapas iniciales de la brotación de las yemas, esta particularidad puede

observarse de forma microscópica, el tiempo de diferenciación varía de acuerdo al año y a las variaciones climáticas, sin embargo, se puede adelantar o retrasar la diferenciación floral, alterando riego, ocasionado estrés hídrico (Albrigo, 2002).

1.3.5 Tipos de Inflorescencia

En el limón se distinguen cinco tipos de brotes que dependen de la proporción de flores y hojas, se clasifican en: multifloral con hojas, multifloral sin hojas, unifloral con hojas, unifloral sin hojas y vegetativo; de manera general las flores se desarrollan lateralmente en el tallo, a partir de yemas axilares en reposo, los brotes florales generalmente son de crecimiento determinado y culminan en flor y los brotes vegetativos son de tipo de crecimiento indeterminado, la formación de los brotes dependen principalmente de factores endógenos como la variedad, nivel de brotación y de factores ambientales (Rebolledo, 2012).

1.3.6. Evapotranspiración del cultivo (ETc):

Resultaría ser la combinación de dos procesos separados, mediante el cual pierde agua, a través de la superficie del suelo sea por evaporación y la otra parte por medio de la transpiración del cultivo (FAO, 2015).

- **Evaporación:** Se conocería como el proceso en que el agua líquida se convierte en forma de vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (vaporización) (FAO, 2015).
- **Transpiración:** Se podría entender como la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y la remoción hacia la atmósfera. La pérdida de agua se realiza por medio de los estomas (FAO, 2015).
- **Coefficiente de cultivo (Kc):** Se basan en las características de crecimiento y desarrollo del cultivo desde la siembra hasta su recolección (Santos, Valero, Picornell, & Martín, 2010).

- **Evapotranspiración de referencia (ET_o):** Es un cultivo hipotético de pasto similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, altura uniforme cubriendo totalmente el suelo a la sombra, el estudio de la ET_o es para conocer la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independiente del tipo, desarrollo del cultivo y prácticas de manejo (FAO, 2015).

Los factores que afectan a la ET_o son los parámetros climáticos, por eso se podría decir que la ET_o es un parámetro climático y puede calcularse por medio de datos meteorológicos, en resumen, la ET_o mide el poder evaporante en la atmósfera en una localidad y época de año específica sin considerar características del cultivo ni factores del suelo.

Método FAO Penman-Monteith: es considerado como un método estándar para determinar ET_o, por medio de datos climáticos y este valor sería el más cercano a la ET_o real de una localidad y época del año. Para su determinación se requieren de datos climáticos como: radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento.

La ecuación combinada de Penman-Monteith descrita por FAO, (2015) es:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Donde:

- R= Radiación neta
- G= Flujo de calor en el suelo.
- (e_s - e_a)= Déficit de presión de vapor del aire
- ρ_a= Densidad media del aire a presión constante
- c_p = Calor específico del aire.

Δ =	Pendiente de la curva de presión de vapor de saturación.
γ =	Constante psicométrica.
r_s y r_a =	resistencia superficial (total) y aerodinámica.

Software Cropwat 8,0: Es un programa informático que sirve para calcular las necesidades de agua en los cultivos, y los requerimientos de riego, que se basa principalmente en los datos de suelo, clima y cultivos. Este software ayuda a programar riego, y a evaluar prácticas de riego de agricultores para estimar rendimiento de cultivos en condiciones de secano (FAO, 2015). Los programas de riego que se elaboran en CROPWAT 8.0 utilizan como principio el balance diario suelo/agua y se suele utilizar diferentes opciones que se definen por el usuario para suministrar agua y las respectivas condiciones de gestión de riego (FAO, 2015).

1.4 Materiales y Metodología.

1.4.1 Localización del sitio de ensayo

La investigación se ejecutó en la finca comercial “San Nicolás”, ubicada en el sitio Maconta (10°082'85" de latitud Sur y 80°040'52" de latitud Oeste, altitud de 40 msnm), en la parroquia Colón del cantón Portoviejo, provincia de Manabí a 1½ km de la vía Portoviejo-Los Ángeles. Para propósito del ensayo se seleccionaron árboles de limón sutil [*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle] (“Catalogue of Life: 2019”), de 15 años de edad, injertados sobre patrón Cleopatra. Las plantas sembradas a un distanciamiento de plantación de 6 x 6 m, en condiciones de campo abierto.

La precipitación y la evapotranspiración de referencia comprendida en los meses de julio e inicios de diciembre, correspondieron a la época seca; a mediados del mes de diciembre iniciaron las lluvias, prolongándose hasta el mes de mayo, durante ese tiempo la ET_0 disminuyó (Figura 1).

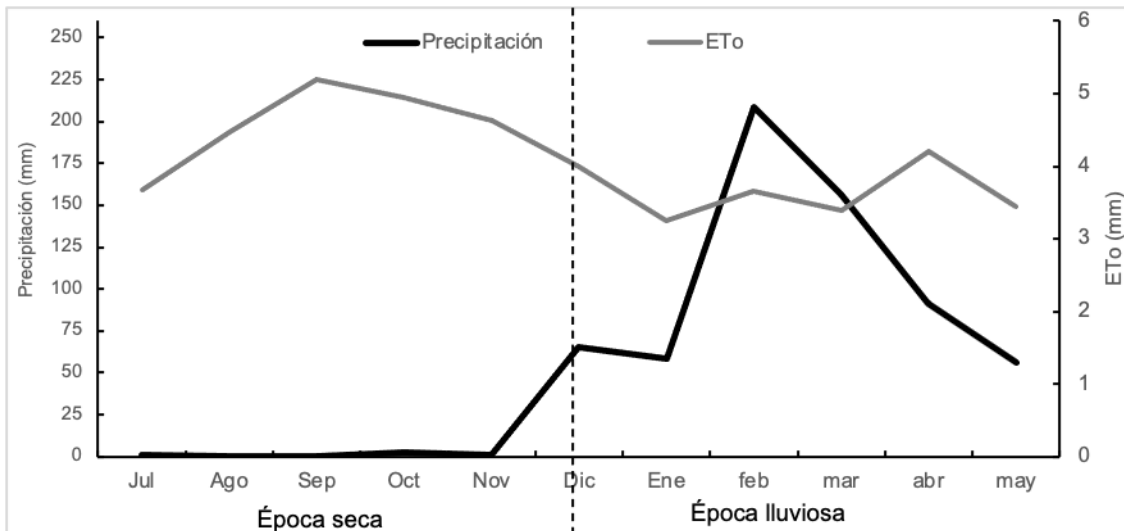


Figura 1. Precipitación y Evapotranspiración de referencia (ETo), durante el período de evaluación (julio 2018-mayo 2019), época seca y lluviosa. Datos tomados de la Estación Meteorológica “La Teodimira”. Elaboración propia.

En los meses secos la temperatura fue baja, al igual que la humedad relativa. La temperatura registrada durante el periodo de evaluación osciló entre 31,5 °C máx – 22 °C min y promedio 26,8°C, con una humedad relativa (H.R) registrada para la época seca de 74,81% y en época lluviosa 82,48% (Figura 2). En cuanto a las horas luz reportadas/época, fueron para la época seca de 627,2 horas/luz y en época lluviosa 452,3 horas/luz.

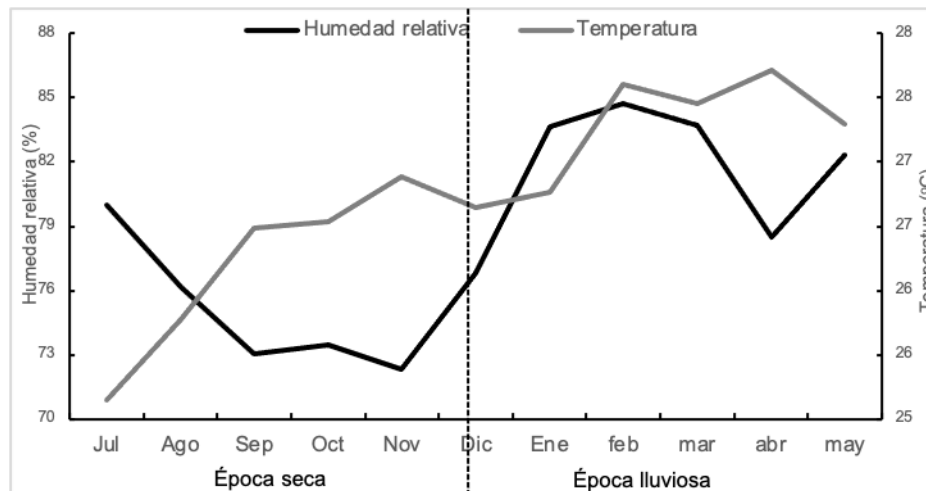


Figura 2. Humedad relativa y temperatura monitoreada en época seca y lluviosa durante el período de evaluación (julio 2018-mayo 2019), época seca y lluviosa. Datos tomados de la Estación Meteorológica “La Teodimira”. Elaboración propia.

1.4.2 Diseño y Selección de los tratamientos:

Un diseño de bloques completo al azar (BCA), conformado por cinco tratamientos incluido el tratamiento control (representado por el riego del agricultor) y seis repeticiones, dando un total de 30 unidades experimentales, la unidad experimental representada por un árbol. Los tratamientos establecidos fueron en función a la demanda atmosférica del cultivo, bajo la recomendación descrita en el boletín 56 de FAO, quienes recomiendan un Kc para meses lluviosos de 0,80 y 0,65 para los meses secos (FAO, 2015); con este criterio fueron seleccionados los tratamientos que se detallan a continuación en la tabla (1).

Tabla 1. Distribución de tratamientos

Tratamientos (T)	Evapotranspiración de referencia (ET ₀)
1	0,3
2	0,5
3	0,7
4	0,9
5	Control

1.4.3 Instalación del riego.

Para facilitar la aplicación de las láminas de riego al cultivo, se instaló un sistema de riego por goteo. Para determinar caudal, número de goteros y tiempo de riego por cada árbol, se utilizó el método de la botella o frasco de Mariotte (Ríos-Rojas, 2003). Una vez calibrados los goteros se instaló dos anillos de riego, asegurándose que haya traslape entre cada uno de ellos, para asegurar un buen riego. Cabe indicar que el primer anillo con los goteros fue colocado a 1 m y el segundo a 1,50 m desde la base del tallo, ese criterio fue tomado en función a la búsqueda de las raíces efectivas.

Los goteros que se colocaron en el ensayo de características auto-compensados, 10 goteros en el anillo externo y 5 en el interno. Un total de 15 goteros/planta, con un caudal nominal de 8 L/hora para una descarga por árbol de 120 L/hora (Figura 3).

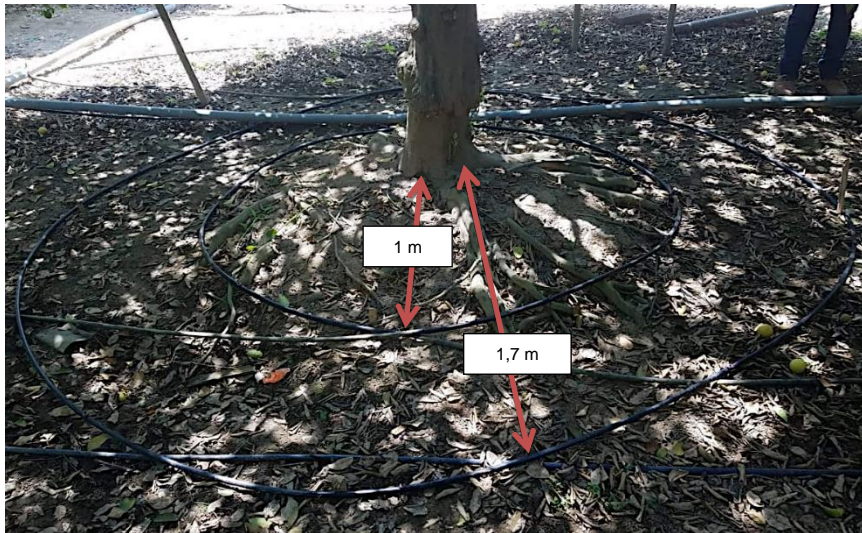


Figura 3. Sistema de riego instalado en el cultivo de limón sutil. Sitio Maconta.

Las raíces efectivas se encontraron de 0,35 - 0,40 cm de profundidad del suelo, y de forma horizontal desde la base del tallo a 1,20-1,80 m, es claro que es dependiente de la edad del cultivo, la cantidad de raíces tiende a ser mayor en la parte superficial del suelo

y al aumentar la profundidad, va disminuyendo gradualmente (Contreras, Almaguer, Espinoza, Maldonado, & Álvarez, 2008).

1.4.4 Descripción del riego

Para saber cuándo regar, se utilizó el método del balance hídrico; que consiste en evaluar los flujos de agua que entran y salen de la zona radicular, en volumen de suelo conocido, de un determinado cultivo (Salgado & Mateos, 2019). El método se describe en la Ecuación (1-1).

$$\Delta\theta = (P + R + Ac) - (ET_c + Es + Pp) \quad (1.1)$$

Dónde:

$\Delta\theta$ = Cambio en el contenido de agua

P= Precipitación

R= Riego

Ac= Aporte capilar

ET_c= Evapotranspiración

Es= Escorrentía

Pp= Percolación profunda.

- **Cálculo de las láminas de riego:** Para el cálculo de las láminas de riego, es decir el agua que se debe reponer ante el consumo atmosférico, esto es la evapotranspiración del cultivo (ET_c), se utilizó la ecuación descrita por FAO (Ver ecuación (1-2)).

Para determinar la ET₀, se utilizó un software estadístico conocido CROPWAT 8.0, el cual aplica el modelo FAO- Ecuación Penman-Monteith (1998). Para su aplicación se tomaron los datos de la Estación Meteorológica TEODOMIRA-INAHAMI. Este software requiere promedios mensuales de las variables temperatura máxima y

mínima, humedad relativa, velocidad del viento, horas de insolación, radiación y precipitación.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1.2)$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

K_c = Coeficiente del cultivo.

ET = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

El resultado obtenido de la ET₀ por medio del software CROPWAT 8.0, es reemplazado en la ecuación 1-2, con ello, se conoce un ET_c en función de cada K_c definido. Este ET_c representa las láminas que serán evaluadas como tratamientos (Ver tabla 1). Así por ejemplo, si ET₀ fuese 4,25, los tratamientos o láminas a aplicar en esa oportunidad de riego serían:

T1: ET_c = 0,3 x 4,25

T2: ET_c = 0,5 x 4,25

T3: ET_c = 0,7 x 4,25

T4: ET_c = 0,9 x 4,25

El cálculo de la ET₀ fue diario, mientras que la operación de ET_c, varió cada 8 días de acuerdo que fue definida como frecuencia de riego en los tratamientos, las láminas se aplicaron según corresponda a la organización de los tratamientos en el cultivo. La repetición del método durante el período experimental permitió definir el valor de K_c al que mejor responde el cultivo de limón sutil en términos fisiológicos y productivos.

Para llevar el resultado de la ETc en términos de volumen de agua en litros, se operó mediante la siguiente ecuación (Ver ecuación (1-3):

$$V = ETc \times A_h \quad (1-3)$$

Donde:

V = Volumen del agua aplicar

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

A_h = Área humedecida.

En el caso del sitio de ensayo el volumen de agua se lo distribuyo en función a tiempo o aplicación de riego y para ello se utilizó la siguiente ecuación (Ver ecuación (1-4).

$$Ar = \frac{V}{Q} \quad (1-4)$$

Dónde:

T = Tiempo de aplicación

V = Volumen de agua

Q = Caudal de gotero

- **Determinación de humedad en el suelo:** Se monitoreó humedad del suelo, mediante el método gravimétrico (Radulovich, 2009), para ello, el protocolo para la toma de muestra fue el siguiente:

Con ayuda de un barrenador, se extrajeron muestras de suelo, a 35 cm de profundidad cada tres días, para llevar a estufa a 105° C, por 48 horas y determinar humedad gravimétrica que al ser multiplicada por la densidad aparente del suelo (1,43) se convirtió en humedad volumétrica. En condiciones de época lluviosa, se hizo gravimetría una vez por semana, dada la presencia de lluvias en el sector. La finalidad de monitorear la gravimetría fue conocer el agotamiento del θ en cada tratamiento.

▪ **Caracterización física del suelo del sitio experimental:**

Tipo de suelo	Franco-Limo-Arcillo
Densidad aparente	1,43 g.cm ⁻³
CC	36%
PMP	20%

La clase textural del suelo determinada mediante análisis en el Laboratorio de INIAP-Pichilingue en el año 2017, dio como resultado un suelo con las siguientes características: Arena (22%), Limo (48%) y Arcilla (30%), un tipo de suelo de característica Franco-Limo-Arcilloso, de acuerdo a la Sociedad de la Ciencia Internacional del Agua y el Suelo (ISSS).

La capacidad de campo (CC) es de 36% y el punto de marchitez permanente (PMP) de 20%, determinado mediante la ecuación de Peele y Briggs respectivamente, tal como lo describen Olalla Mañas, López, Fuster, & Calera Belmonte, (2005) y Fuentes (2003).

1.4.4.1. Evaluación del comportamiento fenológico del cultivo

Selección de ramas: Para hacer seguimiento a los nuevos estadios productivos, se seleccionaron dos ramas por cuadrante de la copa de árbol; es decir dos ramas en el Norte, dos en el Sur, dos en el Este y dos en el Oeste. En cada rama se marcaron 15 brotes, a las cuales se les realizó evaluaciones periódicas espaciadas en 15 días. El comportamiento relativo a cada brote se relacionó con el contenido de humedad del suelo, hasta llegar a tamaño final del fruto.

Época seca y lluviosa La aplicación de tratamientos comenzó el 20 de julio 2018, antes del inicio de floración. El inicio de brotación en época lluviosa fue a inicios del mes de enero 2019, y continuó con su crecimiento a cosecha hasta el mes de mayo. El comportamiento fenológico del cultivo fue determinado con base a la escala BBCH , descrita por Agustí (2012). En la figura 4 se ilustra el seguimiento fenológico realizado en esta investigación para limón sutil en la fase productiva.



Figura 4. Codificación de estadios de brote de limón hasta cosecha imágenes de limón sutil, Finca San Nicolás. Maconta

Etapa de desarrollo 3:	Código 32. Brotes con el 20% del tamaño final.
	Código 39. Brotes con el 90% del tamaño final.
Etapa de desarrollo 5:	Código 51. Las yemas comienzan a hincharse.
	Código 53. Las yemas comienzan a reventar.
Etapa de desarrollo floración 6:	Código 60. Flores Abiertas.

Criterio de cosecha de fruta: Las cosechas en limón son escalonadas, sin embargo se concentran dos colectas fuertes, una conocida como de época seca, que empieza en el mes de noviembre extendiéndose hasta las primeras semanas de diciembre, y la otra cosecha de invierno que generalmente ocurre a finales de abril, extendiéndose hasta el mes de mayo, el agricultor para la cosecha de la fruta utiliza como criterio el tamaño, es decir, el tiempo que transcurre hasta alcanzar su tamaño final como se describe en el código 8 (83) de la escala BBCH (Figura 4), a esto se suma el criterio de cambio en la coloración, es decir, de verde oscuro a un verde más claro como esta normado por INEN

(2016). Este último criterio es determinante para la cosecha de invierno, pues cabe aclarar que la fruta de invierno es cosechada antes que la “fruta de época seca” o de “verano” como comúnmente se la conoce.

Crecimiento del fruto: En ambas épocas por cada cuadrante, sobre las ramas seleccionadas para la evaluación de la fenología, se marcaron cinco frutos en los 6 árboles (120 frutos), para medir diámetro polar del fruto, con frecuencia quincenal, hasta una semana antes de ser cosechado.

1.5 Resultados y Discusión

1.5.1 Balance hídrico

Entre los meses de agosto a diciembre del 2018, se evaluaron distintas láminas de riego, lluvias esporádicas se presentaron durante este período, específicamente en los meses de octubre y noviembre. Las lluvias comenzaron a mediados de diciembre, intensificándose en los meses de febrero y marzo, en los posteriores meses las lluvias bajaron de intensidad, hasta el mes de mayo del 2019, donde terminaron las evaluaciones correspondientes a la época lluviosa. Los promedios de las humedades obtenidas durante el período de evaluación se observan en la tabla (2), para las dos épocas evaluadas en el experimento.

Tabla 2. Promedios de humedad de acuerdo a los distintos tratamientos de evapotranspiración en el cultivo de limón sutil

Tratamientos	Epoca seca	Epoca lluviosa
	Humedad del suelo % (θ)	Humedad del suelo % (θ)
0,3 ET ₀	29,7 a	39,15 a
0,5 ET ₀	34,00 b	39,77 a
0,7 ET ₀	37,70 c	41,28 a
0,9 ET ₀	39,42 c	45,98 b
Control	35,30 b	39,95 a

Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren de forma significativa, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).

En la tabla 5 se muestran los valores promedios de θ para los tratamientos de ET_0 en la época seca y los θ del suelo para la época lluviosa. Los datos más relevantes en la época seca fueron los tratamientos: 0,3 ET_0 , que alcanzó un θ de 29,17%, resultando ser menor y difiere estadísticamente ($P < 0.05$) de los tratamientos 0,7 y 0,9 ET_0 , que son estadísticamente similares, así como también resultaron ser iguales el tratamiento 0,5 y control (Tabla 2). Los valores de θ , de estos dos tratamientos son muy cercanos a CC (36%) estos resultados son similares a los encontrados por Vélez, Sebastiano, & Castel (2007) quienes mediante una programación de riego con sensores en cítricos encontraron que el nivel de θ en el tratamiento control estuvo muy cercano a CC y difirió en tan solo 1,9%.

Para el caso, entonces, al haber similitud entre los tratamientos, la evaluación en condiciones de época seca se registró en tres tratamientos: 0,3, 0,5 y 0,9 ET_0 , y para la época lluviosa en el tratamiento con una ET_0 de 0,9 que acumuló un θ de 45,98%, este, en comparación al resto de tratamientos resultó ser diferente, pues los demás son estadísticamente similares ($P < 0.05$).

1.5.2 Fluctuación de riego en condiciones de época seca.

Tras haber sometido los tratamientos a distintos niveles de riego, en el sitio de experimentación, es a partir del 19 de agosto del 2018, donde en el tratamiento 0,3 ET_0 , que acumuló un promedio de θ de 29,17%; se agota el volumen de agua aplicado al suelo (Figura 5) hasta llegar a alcanzar 26,3%, los mayores promedios de humedad llegaron a 38%, que fueron en el mes de octubre, añádase la presencia de lluvias esporádicas acumuladas de 2,8 mm, al igual que el mes de noviembre, donde las lluvias alcanzaron 0,8 mm (Figura 5).

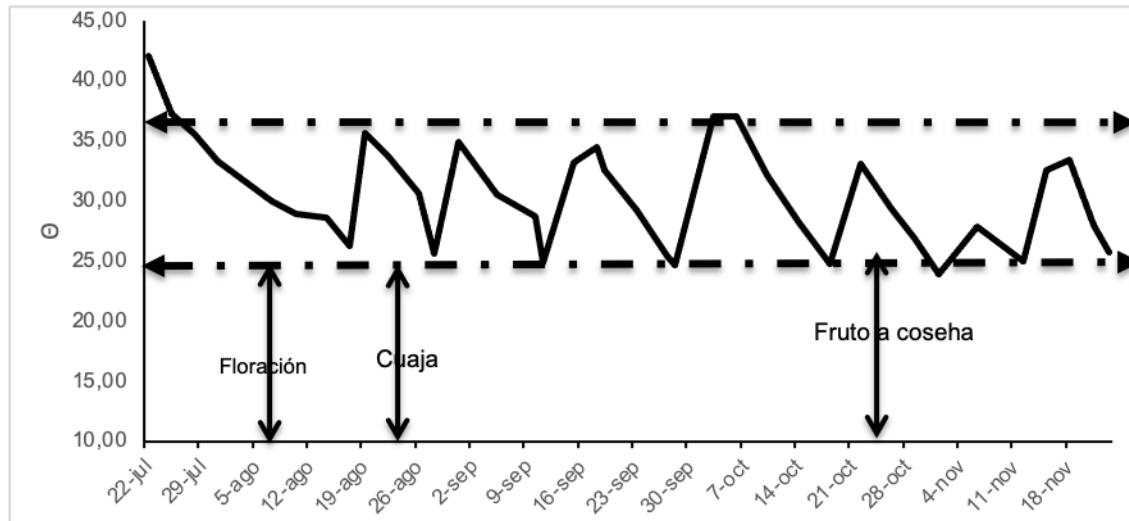


Figura 5. Fluctuación del θ en el suelo, del tratamiento 0,3 de ET_0 , en condiciones de época seca.

El inicio de floración en los árboles sometidos al tratamiento con la ET_0 de 0,3 comenzó a partir del 07 de agosto, durante esa fase el θ fue de 29%, cuando el θ en el suelo llegó a 30% se promovió la cuaja de frutos y comenzó el 25 de agosto, alcanzando el tamaño final de fruta a cosecha con un θ de 30%, y este fruto comenzó a desarrollarse a partir de 27 de octubre del año 2018 (Figura 5). Es importante aclarar que esta cosecha se adelantó en relación al resto de tratamientos, al parecer el efecto del déficit de agua que es inferior al riego proporcionado por el agricultor, estaría repercutiendo en este comportamiento del limón sutil

De acuerdo con el tratamiento 0,5 ET_0 , el promedio de θ fue de 34 %, a partir del 23 de agosto donde se dejó agotar hasta que llegue al 25%, valor 5 veces superior a PMP (20%), sin embargo al reanudar el riego, se alcanzó un θ de 37%, dejando agotar el agua hasta alcanzar un θ de 24% por debajo de la CC (36%) determinada para estos suelos (Figura 6).

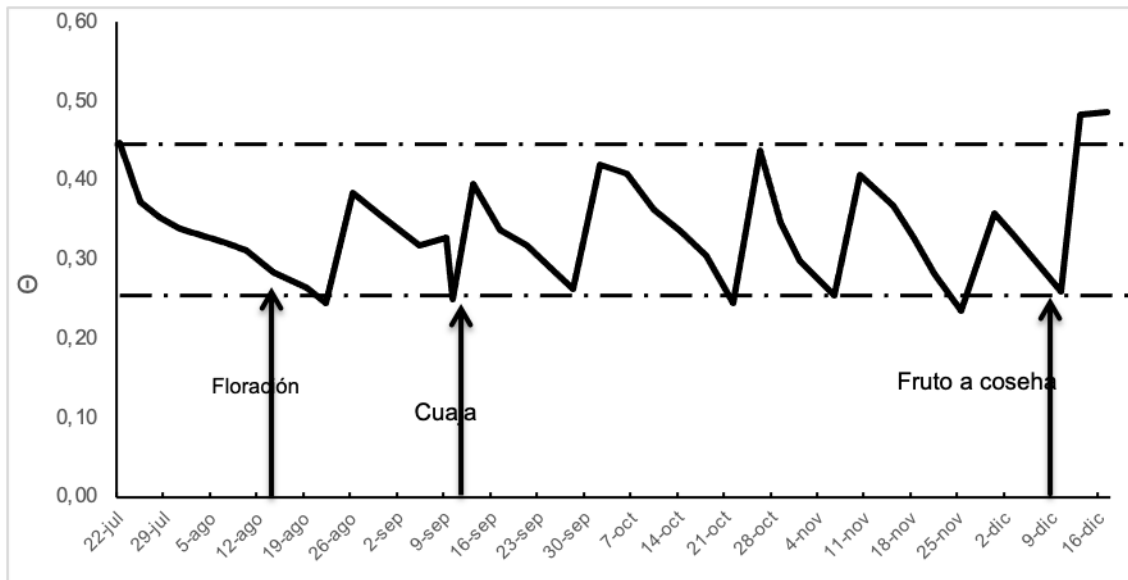


Figura 6. Fluctuación del θ en el suelo, del tratamiento 0,5 de ET_0 , en condiciones de época seca.

A diferencia del tratamiento 1 con la ET_0 de 0,3 (Figura 5), la floración en el tratamiento 0,5 ET_0 (Figura 6), comenzó el 14 de agosto del 2018, con un θ de 27%, la cuaja de frutos con un θ de 37% cercano a CC(36%), este valor reportado en cuaja pudo contribuir a alcanzar mayores tamaños de fruta en este tratamiento, esta fase ocurrió el 14 de septiembre y finalmente el 9 de diciembre del 2018 alcanzó tamaño final a cosecha acumulando un θ de 26% (Figura 6).

En lo que respecta al tratamiento 0,9 ET_0 , este comenzó su etapa de floración a partir del 10 de agosto con un θ de 38% cercano a la CC(36%), la cuaja de fruto de limón para este tratamiento fue 37% de θ que lo alcanzó el 12 de septiembre y el tamaño a cosecha lo alcanzó el 20 de diciembre del 2019 con un θ de 39% .

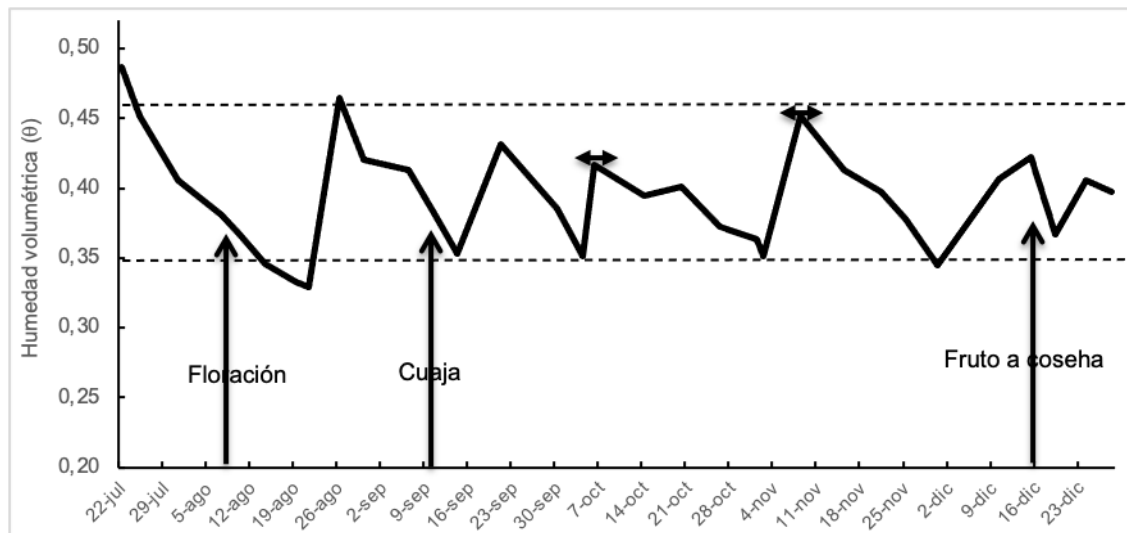


Figura 7. Fluctuación del θ en el suelo, del tratamiento 0,9 de ET_0 , en condiciones de época seca.

Con respecto a los resultados obtenidos para este tratamiento se puede decir, que a pesar de que en cada fase fenológica de fruto los niveles de θ fluctuaron muy cercanos a la CC.

El θ promedio fluctuó entre 39,42%, algo importante a destacar es que la floración llegó en este tratamiento con θ alto, diferente a los demás tratamientos, ello estaría repercutiendo en la retención del fruto a cosecha (Figura 7).

En todos los tratamientos el inicio de floración empieza, cuando hay un descenso de humedad, excepto en el tratamiento 0,9 ET_0 , los resultados señalados concuerdan con lo descrito por Ordúz-Rodríguez & Fischer, (2007), ellos encontraron que la floración en mandarina Arrayana comenzó antes de que el suelo llegará a CC.

1.5.2.1. Fenología productiva de limón en época seca:

Dos semanas después de haber iniciado con los tratamientos de riego, es decir, después del 20 de julio del 2018, aparecieron los primeros brotes. En lo que se refiere a los días a diferenciación de cada evento fenológico, no se presentan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, pues, desde primordio inicial hasta caída

de pétalos (Tabla 3) se obtiene resultados similares; sin embargo, es preciso resaltar que el tratamiento con 0,3 ET₀, requiere de menos días para avanzar a cada suceso fenológico, especialmente cuando llega a formación de fruto tipo arveja, y de manera más acentuada en formación de fruto tipo tenis, este comportamiento lleva a deducir que el crecimiento de limón, a partir de la formación de fruto tipo pin-pon que experimentalmente se alcanza cuando se ubica en un diámetro polar de 2,3 - 2,9 mm, resultó ser de crecimiento lento. Recapitulando, los resultados obtenidos en el ensayo específicamente en el tratamiento 0,3 ET₀ aceleraron el crecimiento del fruto, necesitando alrededor de 116 días para llegar a su tamaño final a cosecha, este crecimiento de fruto fluctuó con un promedio de θ del suelo de 29,17%.

Tabla 3. Días a diferenciación de sucesos fenológicos del limón sutil, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo, durante la época seca.

Descripción fenológica	0,3 ET ₀	0,5 ET ₀	0,7 ET ₀	0,9 ET ₀	Control
Floración					
P.I	2 a	5 b	4 b	4 b	2 a
Y.H	4 a	4 a	3 a	4 a	5 a
A.F	3 a	3 a	5 b	3 a	5 b
A.	6 a	6 a	7 a	7 a	7 a
C.P	4 a	5 a	6 b	5 a	3 a
Fructificación					
T.A (0,2 – 0,8 mm)	5 a	16 c	13 b	11 b	10 b
T.G (0,9- 1,5 mm)	7 a	14 bc	12 ab	18 cd	20 d
T.C (1,6 – 2,2 mm)	13 ab	10 a	14 b	14 b	10 a
T.P.P (2,3 – 2,9 mm)	15 ab	10 a	11 a	19 b	13 ab
T.T (3,0 – 3,6 cm)	24 a	28 bc	31 c	29 bc	26 ab
T.D (3,7 – 5,2 cm)	33 a	37 ab	41 b	36 ab	40 ab
Total	116a	138b	147bc	150c	141bc

Primordio inicial (P.I); yema hinchada (Y.H), apertura floral (A.F), antesis (A), caída de pétalos (C.P), fruto tipo arveja (T.A), fruto tipo garbanzo (T.G), fruto tipo canica (T.C), fruto tipo pin-pon (T.P.P), fruto tipo tenis (TT) y fruto desarrollado (T.D).

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren de forma significativa, de acuerdo a prueba de Duncan (P < 0.05).

Al comparar los resultados obtenidos en la lámina 0,3 ET_0 , en relación al resto de tratamientos y específicamente con el control, se nota un adelanto a la cosecha de 25 días, al restringir el agua en el suelo, pues el θ fue 6,83 puntos menos a CC (36%), entonces, resultaría ser una estrategia para el productor con el fin de reducir costos por ahorro de agua y con la fruta desfasada ganar mayor precio en el mercado. El resultado podría asociarse a lo reportado por Huang, Huang, & Fei, (2000) en *C. sinensis* Blanco, los autores encontraron aceleración de crecimiento en frutos estresados versus a los no estresados, atribuyendo esta característica a la capacidad máxima de los cítricos en aprovechar los mínimos aportes hídricos para completar su etapa de crecimiento.

Una diferenciación clave, al parecer en limón sutil, es el cambio de formación de fruto pin-pon a tipo tenis y a fruto tipo desarrollado (Tabla 3), pues, en todos los tratamientos se observa un cambio drástico de duración en días, para alcanzar las etapas fenológicas antes descritas, sin embargo, a mayores promedios de humedad en el suelo, el tiempo a fruta cosechada es más tardío (150 días) tal como se ve en el tratamiento 0,9 ET_0 , no podría decirse que hay una condición de estrés que promueva el crecimiento y tampoco una condición continuada de humedad que permita una tasa adecuada y uniforme de crecimiento. A más del riego, el tiempo a crecimiento fenológico estaría dependiendo de otros factores asociados específicamente a las condiciones climáticas, pues es conocido que las temperaturas son promotoras de crecimiento y específicamente de floración (Morgan et al., 2009).

1.5.3. Fluctuación de riego en condiciones de época lluviosa

Las precipitaciones se presentaron el 17 de diciembre del 2018, mayor acumulación de lluvias fueron en los meses de febrero y marzo, el total de precipitaciones durante esta época fue de 636,10 mm.

Con respecto al agua en el cultivo, con una ET_0 de 0,3, el θ fue de 39,15%, el inicio de floración comenzó el 9 de enero del 2019 cuando el θ llegó a 40%, la cuaja de frutos a

partir del 5 febrero con un θ de 37% cercano a CC (36%) y el fruto alcanzó su tamaño final a cosecha el 27 de abril cuando el θ fluctuó en 38% (Figura 8).

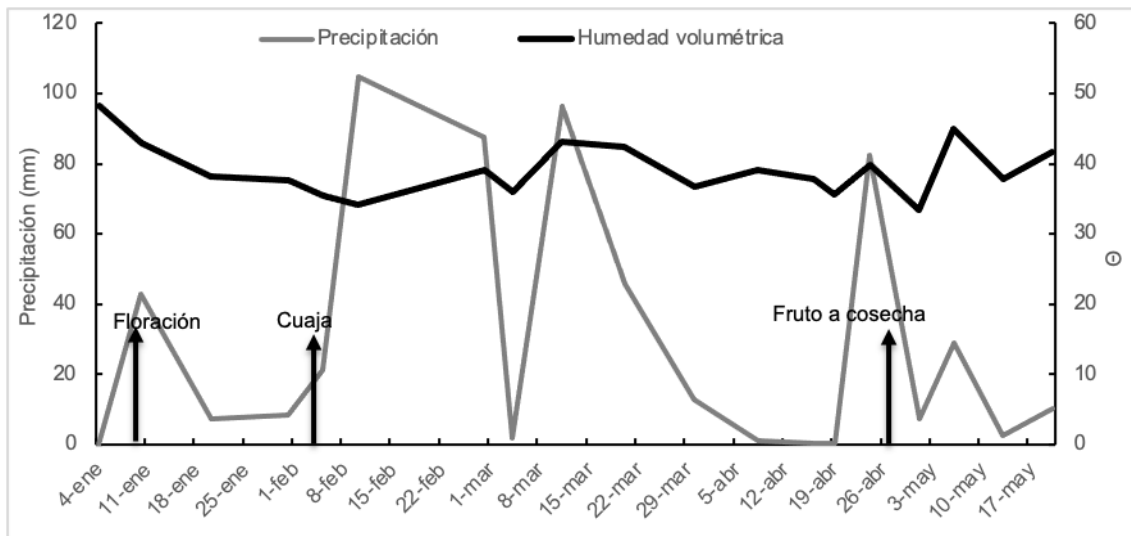


Figura 8. Comportamiento de la humedad en el suelo, de acuerdo a la precipitación acumulada durante la época lluviosa en el tratamiento 0,3 ET₀.

Una tendencia distinta mostró el tratamiento 0,3 ET₀, en época lluviosa (Figura 8) pues el inicio de floración resultó ser antes que los demás tratamientos, a pesar de recibir la misma cantidad de agua producto de las lluvias, esta respuesta sería explicada a una asimilación rápida del agua, tras estar sometido a un largo período (4 meses) de restricciones hídricas (Figura 8), por su parte, Correa, Vélez-Sánchez, & Rodríguez (2013) determinaron que naranja Valencia acompañada de lluvias y restricciones de agua, promueven la aparición de brotes y flores, producto de la respuesta rápida de asimilación de agua de este cultivo.

El tratamiento con 0,9 ET₀, cuando el θ del suelo estaba en 47% inicio la floración, cuando el θ ascendió a 49% empezó la cuaja de frutos y el 01 de mayo del 2019, cuando el θ alcanzó 46 %, el fruto llegó a su tamaño final (Figura 9). Precipitaciones continuas

durante esta época, sin embargo, desde el 18 de enero al 7 de febrero del 2019, el θ del suelo disminuye, en este lapso hay una reducción de las lluvias en el sector (Figura 9).

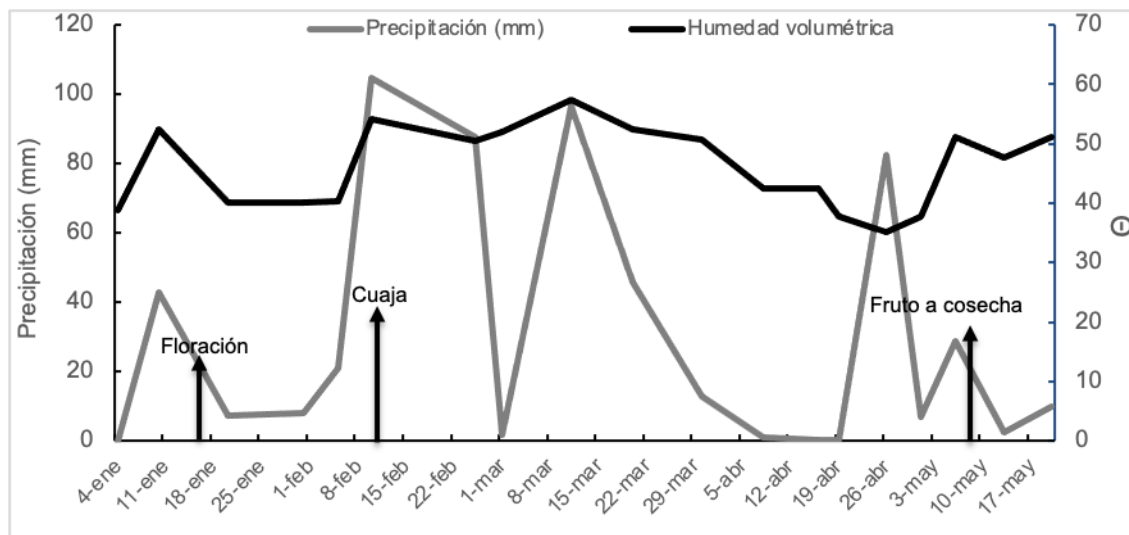


Figura 9. Comportamiento de las humedades en el suelo, de acuerdo a la precipitación acumulada durante la época lluviosa en el tratamiento de 0,9 ET₀

No existe información del comportamiento del crecimiento fenológico en limón sutil, ni del tiempo de duración de cada fase fenológica frente al comportamiento del fruto en condiciones de época lluviosa, se conoce de boca de productores que este cultivo no responde favorablemente en la época lluviosa, pues, existe daños como quemaduras y caídas en las flores, repercutiendo directamente en el rendimiento del fruto.

En la investigación, se observó que en el tratamiento 0,9 ET₀, al disminuir las lluvias y el θ del suelo, se promovió floración, la cuaja de la fruta sucedió aún con presencia de lluvias, esto permite comprometer a la floración como sensible a excesos de agua, por su parte, un estudio realizado en mandarina *Satsuma Owari*, en donde vieron el efecto fisiológico del anegamiento provocado por inundación; notaron caídas y daños estructurales de flores (Goñi & Otero, 2013). Las plantas pueden responder al anegamiento inhibiendo su crecimiento ya sea vegetativo o reproductivo, además de provocar senescencia temprana hasta llegar a ocasionar la muerte (Erickson, 1989).

1.5.3.1. Fenología productiva del limón en condiciones de época lluviosa:

En lo que respecta al crecimiento de fruto en la época lluviosa, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos para el tiempo que transcurre al cambio de las estructuras. En la fase de crecimiento del fruto, en el tamaño TD se muestran diferencias significativas entre los tratamientos, siendo el tratamiento 0,3 ET₀, el que presenta en magnitud, un menor tiempo para llegar a tamaño de cosecha (Tabla 4). Estos resultados son consistentes con el contenido de humedad del suelo, entendido, que para 4 de 5 tratamientos la humedad es la misma en época lluviosa. Sólo el tratamiento 0,9 ET₀ es diferente en cuanto a contenido de humedad del suelo, más no representa un cambio a los tiempos de desarrollo de estructuras. Esto significa que en época lluviosa regar con un 0,3 ET₀, será una buena opción para los productores de limón sutil, con el respectivo ahorro de agua y energía, logrando una cosecha más temprana, respecto de la época seca, siempre y cuando el cultivo requiera de riego, es decir si el θ del suelo lo amerita y las precipitaciones son escasas.

Tabla 4. Descripción fenológica del limón sutil en época lluviosa

Descripción fenológica	0,3 ET ₀	0,5 ET ₀	0,7 ET ₀	0,9 ET ₀	Control
Floración					
P.I	7 a	8 a	9 a	9 a	8 a
Y.H.	6 a	9 a	6 a	9 a	7 a
A.F.	4 a	3 a	3 a	4 a	4 a
A.	4 a	4 a	4 a	5 a	4 a
C.P.	5 a	5 a	5 a	5 a	4 a
Fructificación					
T.A (0,2 – 0,8 mm)	12 a	11 a	12 a	13 a	11 a
T.G (0,9- 1,5 mm)	12 a	11 a	12 a	13 a	11 a
T.C (1,6 – 2,2 mm)	18 a	17 a	19 a	19 a	20 a
T.P.P (2,3 – 2,9 mm)	15 a	16 a	14 a	15 a	13 a
T.T (3,0 – 3,6 cm)	21 a	19 a	20 a	20 a	19 a
T.D (3,7 – 5,2 cm)	17 a	19 ab	21 b	19 ab	20 ab
TOTAL	110a	122b	131b	131b	121b

Primordio inicial (P.I); yema hinchada (Y.H), apertura floral (A.F), antesis (A), caída de pétalos (C.P), fruto tipo arveja (T.A), fruto tipo garbanzo (T.G), fruto tipo canica (T.C), fruto tipo pin-pón (T.P.P), fruto tipo tenis (TT) y fruto desarrollado (T.D).

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren de forma significativa, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).

Al hacer una comparación entre épocas, la transición de crecimiento de fruto desde TT a TD, se observó que los frutos provenientes de la época lluviosa tardan menos tiempo a alcanzar crecimiento final a cosecha, que aquellos que provienen de la época seca (Tabla 3 y 4), este desfase de crecimiento de frutos está relacionado al criterio de cosecha del agricultor, que colecta el fruto antes de que este adquiera características no deseables para el mercado. Esta particularidad hace diferenciar que el tiempo de permanencia en el árbol sea menos en frutos de época lluviosa versus a los de época seca, son 15 días de diferencia entre ambas épocas.

Crecimiento del fruto en condiciones de época seca y lluviosa:

Para ambas épocas el monitoreo de evaluación comenzó a partir de la formación de fruto tipo arveja, cuando se encontraban en un diámetro polar de 0,2 - 0,8 mm, para la facilidad del análisis, se graficó el crecimiento de tres tratamientos que resultaron ser estadísticamente significativos en sus niveles de humedad en época seca y uno de los 5 tratamientos resultó ser diferente en condiciones de época lluviosa.

Es así, que el crecimiento de limón sutil, mostró un comportamiento exponencial en todos los tratamientos, sin embargo, existe un incremento al final, en el tratamiento de 0,5 ET_0 , los tratamientos con un 0,3 ET_0 y 0,9 ET_0 cuyos θ fueron 29,7% y 39,42% tienen similar comportamiento (Figura 10), por lo que se puede decir, que el limón al someterse a deficiencias y excesos de agua tienden a disminuir su crecimiento. Se podría deducir que una lámina con 0,5 ET_0 para las condiciones de Maconta, favorece crecimiento del fruto, al respecto Tejero et al., (2011) indican que en naranja (*Citrus sinensis*, L) con una lámina de 0,55 ET_0 , en fase de floración limitó el crecimiento de fruto, contrario a lo que ocurre en la investigación.

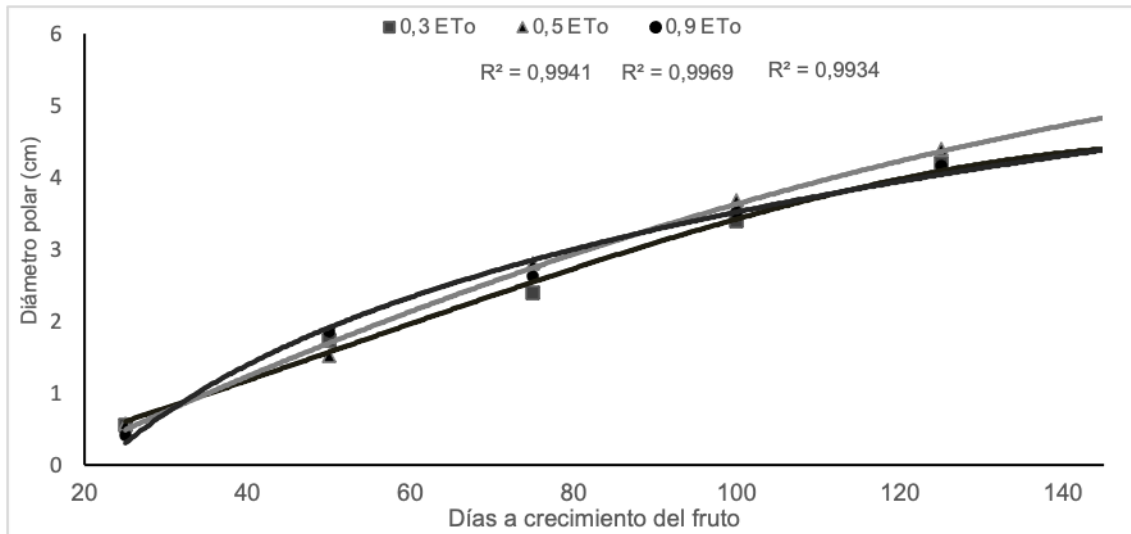


Figura 10. Fluctuación de crecimiento de limón sutil, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo, cada línea representa los distintos tratamientos.

Pese a que, al final de crecimiento del fruto los tratamientos 0,3 ET₀ y 0,9 ET₀ descendieron al final de la curva, los diámetros a cosecha fluctuaron entre 4,5 y 4,4 cm, que son mayores a los que se reportan para limón sutil en la provincia de Ibarra (Puente, 2006), ellos encontraron diámetros de 3,98 cm para limón maduro y pintón 3,87 cm, cabe indicar que las condiciones climáticas del sitio son distintas a los de la provincia de Manabí. Por su parte Santistevan et al., (2015) reportó diámetros de 3,63 y 3,86 cm para la Península de Santa Elena, se puede concluir que a pesar de estar con limitaciones y excesos de humedad en el suelo, los diámetros para este sitio fueron mayores.

Época lluviosa: Un crecimiento lineal en estos frutos muestra un comportamiento similar en todos los tratamientos (Figura 11), alcanzando una maduración temprana en relación a la época seca.

Las lluvias presentes en el lugar, influyeron en la obtención de crecimientos homogéneos, pues todos los árboles recibían la misma cantidad de agua. Una aclaración importante con respecto a esta época, es que los frutos en promedio son pequeños en relación a los de época seca, tal como lo menciona García, Syvertsen, Gimeno, Botía, & Perez, (2007), el deduce que el anegamiento en cítricos disminuye crecimiento y tamaño de frutos .

La cosecha en época lluviosa es temprana, pues, la cantidad de agua que cae producto de las lluvias, influye a una rápida colecta de frutas con la finalidad de evitar senescencia temprana. No existe información del crecimiento de fruto de limón sutil en condiciones de largos períodos lluviosos, pero, se observó, que a pesar de que en esta época exista disponibilidad de agua, aumentando el θ del suelo, esto provocaría limitaciones en el limón al momento de captar el agua del suelo, producto de la poca oxigenación, al igual que en condiciones de estrés por déficit hídrico, la disminución del crecimiento de frutos estaría dado por una lenta recuperación del O_2 (M. F. Ortuño, Alarcón, Nicolás, & Torrecillas, 2004).

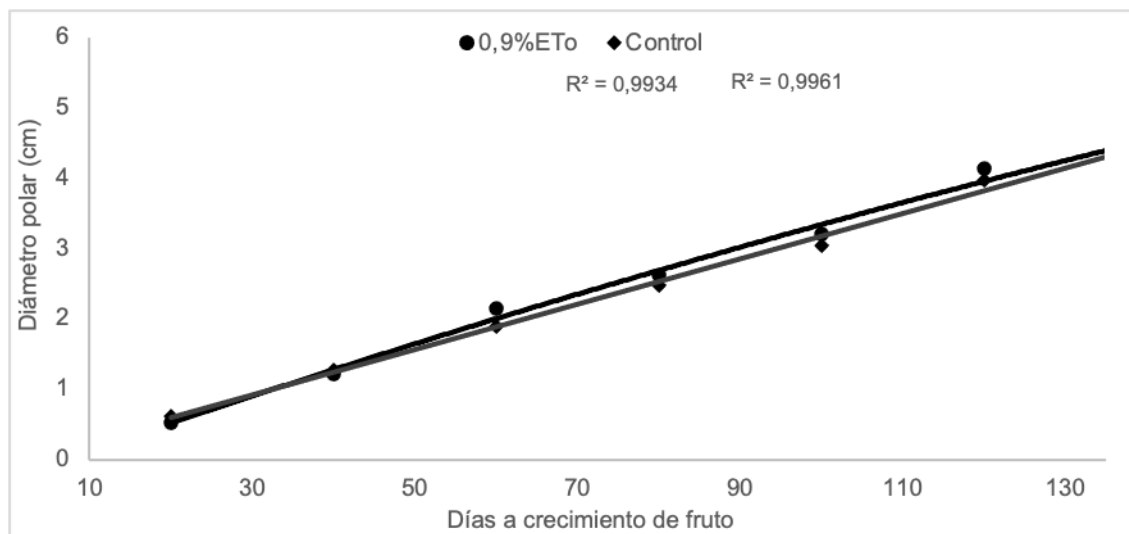


Figura 11. Fluctuación de crecimiento del limón sutil, durante la época invernal, cada línea representa los tratamientos.

Entonces el exceso de humedad en el suelo repercutió en el crecimiento del fruto proveniente de la época lluviosa. A pesar de que el limón este sometido a excesos de humedad, la planta no detuvo su crecimiento, hay que resaltar que los cítricos son susceptibles a inundaciones, sin embargo, cada genotipo responde de distinta manera (Partiya, Fotouhi Ghazvini, Fifaei, & Ghasemnezhad, 2018).

La respuesta del tratamiento 0,9 ET₀ (Figura 11) lleva a concluir que, el limón respondió negativamente al exceso de humedad acumulado en el suelo, por lo que, este comportamiento estaría asociada a una señal hidráulica negativa generada por las raíces deficientes de O₂, disminuyendo la capacidad de las raíces para absorber agua, influyendo directamente en el crecimiento del fruto (Dell'Amico, Torrecillas, Rodríguez, Morales, & Sánchez-Blanco, 2001).

1.5.3.2. Fenología del limón sutil bajo condiciones del sitio Maconta:

Un resumen fenológico se describió para limón sutil en condiciones de Maconta y sería el primer reporte en descripción fenológica para limón sutil, entonces se espera que con los resultados obtenidos se aporte al agricultor con nuevas herramientas enfocadas a la economía del agua. Con una temperatura promedio de 26,8 °C y una humedad relativa de 82,48% se determinó el crecimiento fenológico del limón (Figura 12). La elección de brotes en yema para limón sutil, comenzó desde PI identificado en escala del código BBCH(53), un tiempo aproximado de 16 días para alcanzar Y.H (56). Para desatar a floración plena o antesis una duración de 11 días (Figura 12).

La formación de fruto tipo arveja (72) se logró en un periodo de 11 días, hay que resaltar que el fruto de limón desde la formación FPP a FT, requiere de mayor tiempo para diferenciar este suceso fenológico, por consiguiente, durante este tiempo, el crecimiento de limón es lento en todos los tratamientos, en total el limón requiere un periodo de 138 días para alcanzar su tamaño final a cosecha.

Cabe aclarar que la fenología del cultivo de limón es similar en ambas épocas, sin embargo, la cosecha de frutas provenientes de la época lluviosa es temprana, su diferencia principal es en la etapa fenológica de FD a FC, 15 días en promedio es la diferencia a cosecha en relación a la fruta de época seca (Figura 12).

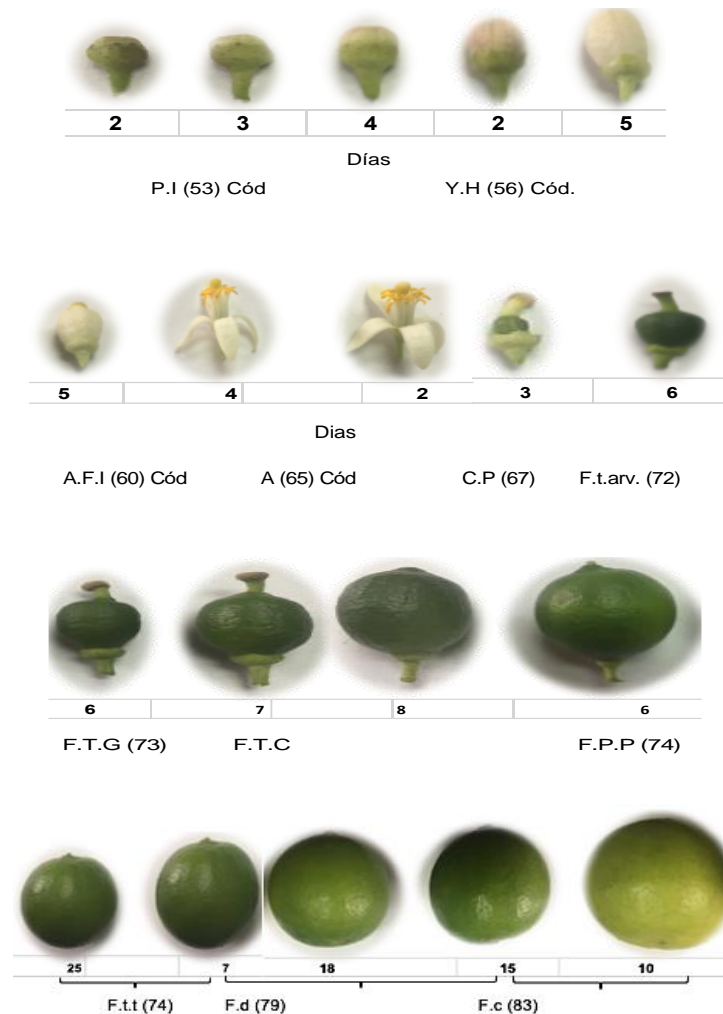


Figura 12. Descripción fenológica reproductiva de limón sutil, bajo las condiciones de Maconta durante el período 2018-2019.

1.6 Conclusiones

Para las condiciones del sitio Maconta, se evidencia por medio de los resultados obtenidos en la investigación, que, durante las diferentes etapas fenológicas, una lámina de riego con $0,3 ET_0$ influyó en los distintos sucesos de crecimiento del fruto, logrando adelantar crecimiento final de fruta a cosecha.

A pesar de que la lámina $0,3 ET_0$ llegue a producir fruto a cosecha en menos tiempo, su crecimiento no es significativo, pues, resulta ser favorable con la lámina $0,5 ET_0$, misma que acumulo un θ de 34%, valor menor a CC(36%), por lo que limón podría tolerar

humedades por debajo de CC. Tanto los tratamientos 0,7 ET₀ y 09 ET₀, resultaron ser similares tanto en humedad como en respuesta del crecimiento, y fueron los más bajos, por lo que, esta lamina de Kc=0,7 recomendada por FAO, no funcionó para el sitio en estudio.

El fruto proveniente de la época lluviosa tarda menos tiempo en alcanzar fruto a cosecha, sin embargo, su crecimiento es menor en relación a los frutos de la época seca, entonces el limón sutil padece de alteraciones de crecimiento, producto del exceso de humedad, que provoca falta de oxigenación en el suelo.

Un aumento en el crecimiento de frutos provenientes de la época lluviosa en el tratamiento 0,3 ET₀, podría ser explicado cómo crecimiento compensatorio tras estar sometido a un periodo de restricciones hídricas, además esta evidencia permite concluir que en época lluviosa esta podría ser la lámina de riego, sin embargo se debe considerar la intensidad de lluvias y el θ que se acumula en el suelo.

1.7 Bibliografía

- Agusti, M. (2010). *Fruticultura* (Mundi-Pren). Madrid-Barcelona-México.
- Agustí, M. (2012). *Citricultura* (Mundi-Pren). Madrid-México.
- Albrigo, L. G. (2002). Climatic effects on flowering, fruit set and quality of citrus – a review.
- Bavel, C. Van, Newman, J., & Hilgeman, R. (1965). Climate and Estimated Water Use By an Orange Orchard 1. *Agricultural Meteorology*, 4(1683), 27–37.
- Catalogue of Life: 2019 Annual Checklist. (2019).
- Chaikiattiyos, S., Menzel, C. M., & Rasmussen, T. S. (1994). Floral induction in tropical fruit trees: Effects of temperature and water supply. *Journal of Horticultural Science*, 69(3), 397–415. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516469>
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(SPEC. ISS.), 907–916. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>
- Citricultura, P. N. De, & Actividades, S. (2013). Resultados de Avances de Investigación en Ecofisiología y Nutrición de Cítricos.
- Contreras, E., Almaguer, G., Espinoza, j., Maldonado, R., & Álvarez, E. (2008). Distribución radical de árboles de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.). *Revista*

Chapingo. *Serie horticultura*, 14(2), 223–234. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2008000200017

Correa, D., Vélez-Sánchez, J., & Orduz, J. (2013). Efecto del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de frutos de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte del Meta, Colombia. En *Acta Agronomica* (Vol. 62, pp. 136–147). <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200007>

Cuéllar, J. R., Trujillo, A. T., Neira, N. O., & Torres, A. (2013). Acople de un modelo de conductancia estomática, fotosíntesis y transpiración para el cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims). *Acta Agronomica*, 62(1), 42–51.

Dell'Amico, J., Torrecillas, A., Rodríguez, P., Morales, D., & Sánchez-Blanco, M. J. (2001). Differences in the effects of flooding the soil early and late in the photoperiod on the water relations of pot-grown tomato plants. *Plant Science*, 160(3), 481–487. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00409-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00409-X)

Dovis, V., Machado, E., Ribeiro, R., Filho, J., Marchiori, P., & Sales, C. (2014). Roots are important sources of carbohydrates during flowering and fruiting in “Valencia” sweet orange trees with varying fruit load. *Scientia Horticulturae*, 174(1), 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.011>

du Plessis, H. M. (1985). Evapotranspiration of citrus as affected by soil water deficit and soil salinity. *Irrigation Science*, 6(1), 51–61. <https://doi.org/10.1007/BF00272475>

Erickson, N. (1989). *Survival of Plant Materials Established on a Floodplain in Central Oklahoma* (Vol. 17).

FAO. (2015a). Estudio FAO Riego y Drenaje. En *Pesquisa Agropecuaria Tropical* (Vol. 45, pp. 46–55).

FAO. (2015b). Tierras y Aguas.

Fereres, E., Goldhamer, D. A., & Parsons, L. R. (2003). Irrigation water management of horticultural crops. *HortScience*, 38(5), 1036–1042.

Fuentes, J. (2003). *Técnicas de Riego*. (Mundi-Prensa México, Ed.) (4a ed.). Madrid.

García-Tejero, I., Romero-Vicente, R., Jimenez-Bocanegra, J. A., Martínez-García, G., Durango-Zuazo, V. H., & Muriel-Fernandez, J. L. (2010). Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agricultural Water Management*, 97(5), 689–699. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.012>

García, F., Syvertsen, J., Gimeno, V., Botía, P., & Perez, J. (2007). Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. *Physiologia Plantarum*, 130(4), 532–542. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00925.x>

Gene Albrigo, L., & Galán Saúco, V. (2004). Flower Bud Induction, Flowering and Fruit-Set of Some Tropical and Subtropical Fruit Tree Crops With Special Reference To Citrus. *Acta Horticulturae*, (632), 81–90.

<https://doi.org/10.17660/actahortic.2004.632.10>

- Ginestar, B., & Castel, J. (1996). Responses of young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. *Journal of Horticultural Science*, 71, 551–559.
- Goldhamer, D., & Salinas, M. (2000). Evaluation of regulated deficit irrigation on mature orange trees grown under high evaporative demand. *Proc. Intl. Soc. Citricult. IX Congr*, 16–20. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Evaluation+of+Regulated+Deficit+Irrigation+on+Mature+Orange+Trees+Grown+Under+High+Evaporative+Demand#0>
- Hernández, D., Mateus, D., & Orduz, J. (2014). 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. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732014000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Huang, X., Huang, H., & Fei, G. (2000). The growth potential generated in citrus fruit under water stress and its relevant mechanisms. *Scientia Horticulturae*, 83(3–4), 227–240.
- Ibañez, J. (2006). Niveles de Humedad del Suelo y Agua disponible: El Agua en El Suelo 3. Recuperado de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/06/26/33002>
- INEC. (2018). *Superficie, Producción y Ventas , según región y Provincia Limón (Fruta fresca)*.
- INEN. (2016). Norma Técnica Ecuatoriana Frutas Frescas. Limón. Requisitos.
- Jifon, J. L., & Syvertsen, J. P. (2003). Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. *Tree Physiology*, 23(2), 119–127. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.2.119>
- Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Juan, M., Almela, V., & Agustí, M. (2004). Restrictions on the exogenous control of flowering in citrus. *Acta Horticulturae*, 632, 91–98. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.632.11>
- Mesejo, C., Yuste, R., Reig, C., Martínez-Fuentes, A., Iglesias, D. J., Muñoz-Fambuena, N., ... Agustí, M. (2016). Gibberellin reactivates and maintains ovary-wall cell division causing fruit set in parthenocarpic Citrus species. *Plant Science*, 247, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.02.018>
- Morgan, K. T., Schumann, A. W., Castle, W. S., Stover, E. W., Kadyampakeni, D., Spyke, P., ... Morris, A. R. A. (2009). Citrus Production Systems to Survive Greening: Horticultural Practices. *Proc. Fla. State Hort. Soc. Proc. Fla. State Hort. Soc*, 122(122), 114–121. Recuperado de https://crec.ifas.ufl.edu/extension/citrus_rootstock/Rootstock_Literature/2009Morgan_FSHS_OHS_vs_HLB_HortPractices.pdf%0Ahttp://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/00001863.pdf

- Morton, J. (1987). *Fruits of Warm Climates. Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables*. <https://doi.org/10.1201/b22001-27>
- Navarro, J. M., G., J. P. P., Romero, P., & Pablo, B. (2010). Analysis of the changes in quality in mandarin fruit, produced by deficit irrigation treatments. *Food Chemistry*, *119*(4), 1591–1596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.048>
- Olalla Mañas, M. de S., Lopéz, Fuster, P., & Calera Belmonte, A. (2005). *Agua y Agronomía*. (Mundi-Prensa, Ed.) (1a ed.). Madrid-Barcelona-México.
- Ordúz-Rodríguez, J. O., & Fischer, G. (2007). Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina “Arrayana” en el piedemonte llanero de Colombia. *Agronomía Colombiana*, *25*(2), 255–263.
- Ortuño, M. F., Alarcón, J. J., Nicolás, E., & Torrecillas, A. (2004). Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. *Plant Science*, *167*(2), 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.03.023>
- Partiya, R., Fotouhi Ghazvini, R., Fifaei, R., & Ghasemnezhad, M. (2018). Response of Different Citrus Genotypes to Continuous Flooding Conditions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *5*(2), 253–263. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2018.259255.245>
- Pérez-Pérez, J. G., Robles, J. M., García-Sánchez, F., & Botía, P. (2016). Comparison of deficit and saline irrigation strategies to confront water restriction in lemon trees grown in semi-arid regions. *Agricultural Water Management*, *164*(April), 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.015>
- Pérez, J., Robles, J., Tovar, J., & Botía, P. (2009). Response to drought and salt stress of lemon “Fino 49” under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. *Scientia Horticulturae*, *122*(1), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.04.009>
- Puente, C. (2006). *Determinación de las Características Físicas y Químicas del Limón Sutil (Citrus aurantiifolia Swingle)*. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/352>
- Radulovich, R. (2009). Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía Costarricense*, *33*(1), 121–124.
- Rebolledo, A. (2012). Fisiología de la floración y fructificación en los cítricos. *Cítricos: Cultivo, Poscosecha e Industrialización*, 89–106.
- Ríos, L. (2003). *Estudio del comportamiento de goteros que funcionan con el principio de la botella de Mariotte en diferentes tipos de suelo*.
- Salgado, R., & Mateos, L. (2019). Evaluación de métodos para el cálculo de la Evapotranspiración de los cultivos con vistas a la evaluación del desempeño de distritos de riego. En *XXXIV Congreso Nacional de Riegos* (p. 26). <https://doi.org/10.17398/AERYD.2019.A26>
- Santistevan, M., Julca, A., & Helfgott, S. (2015). Caracterización de las fincas productoras del cultivo limón en las localidades de Manglaralto y Colonche, (Santa Elena,

- Ecuador). *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(1), 133–142. <https://doi.org/10.26423/rctu.v3i1.81>
- Santos, L., Valero, J., Picornell, M., & Martín, J. (2010). *El riego y sus tecnologías*. (E. E.-A. en Lisboa, Ed.) (1a ed.).
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. FAO (Vol. 66). <https://doi.org/978-92-5-308564-4>
- Syvertsen, J. P., Goñi, C., & Otero, A. (2003). Fruit load and canopy shading affect leaf characteristics and net gas exchange of “Spring” navel orange trees. *Tree Physiology*, 23(13), 899–906. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.13.899>
- Syvertsen, James P., Melgar, J. C., & García-Sánchez, F. (2010). Salinity tolerance and leaf water use efficiency in citrus. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(1), 33–39. <https://doi.org/10.21273/jashs.135.1.33>
- Tejero, I., Hugo, V., Zuazo, D., Antonio, J., Bocanegra, J., Luis, J., & Fernández, M. (2011). Scientia Horticulturae Improved water-use efficiency by deficit-irrigation programmes: Implications for saving water in citrus orchards, 128, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.01.035>
- Vélez, J., Álvarez, J., & Alvarado, O. (2012). El Estrés Hídrico en Cítricos (Citrus spp .): Una revisión., 16(2), 32–39.
- Vélez, J., Sebastiano, D., & Castel, J. (2007). Programación del riego en cítricos con base en sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. *Ingeniería del agua*, 14(2), 127. <https://doi.org/10.4995/ia.2007.2907>
- Zaher-Ara, T., Boroomand, N., & Sadat-Hosseini, M. (2016). Physiological and morphological response to drought stress in seedlings of ten citrus. *Trees - Structure and Function*, 30(3), 985–993. <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1372-y>

2. Capítulo 2. Intercambio de gases, fluorescencia y potenciales hídricos.

2.1 Resumen

El estudio se llevó a cabo en el sitio Maconta-Colon-Portoviejo, provincia de Manabí, geográficamente ubicado a $10^{\circ}08'25''$ de latitud Sur y $80^{\circ}04'52''$ de latitud Oeste, con una altitud de 40 msnm. Huerto de limón sutil [*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle] de 15 años de edad injertados sobre patrón Cleopatra, sembradas a un distanciamiento de plantación de 6 x 6 m, en condiciones de campo abierto. La temperatura promedio fue de $26,8^{\circ}\text{C}$, con humedad relativa de 74,81% en época seca y lluviosa de 82,48%. Las horas luz reportadas para época seca fueron de 627,2 y en época lluviosa 452,3. Para el ensayo se utilizó un Diseño de Bloques Completo al Azar (BCA) con 5 tratamientos y 6 repeticiones, los tratamientos en función a la demanda atmosférica quedaron establecidos así 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 ET_0 y control.

Diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos medidos en la época seca, donde la tasa de fotosíntesis (A) resultó ser mayor en el tratamiento control, disminuyendo en los que presentaban déficit (0,3 ET_0) y exceso de agua (0,9 ET_0) en el suelo, comportamiento similar se observó en la conductancia estomática (g_s) y tasa de transpiración (T), por lo que, el aumento o disminución de A , estaría asociado a la transpiración y a la conductancia estomática (g_s); en lo que se refiere a la Eficiencia en el uso del agua (EUA) resultó ser el tratamiento con una lámina de 0,5 ET_0 , mayor en relación a los demás tratamientos, podría asumirse que el aumento de esta variable, estaría dado por el manejo en la relación C_i/C_a , llevando a concluir que este tratamiento estaría sometido a un estrés hídrico severo, pues, este respondió favorablemente al potencial hídrico (Ψ_h) que fue bajo, siendo una respuesta a un estrés leve, que puede ser evidenciado por la disminución de la fluorescencia de la clorofila, pues su valor fue de F_v/F_m de 0,77.

Palabras claves: fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática, potencial hídrico, eficiencia cuántica.

2.2 Introducción

Ecuador es un país privilegiado cuenta con tres regiones naturales que son: Región litoral (Costa), Región Interandina (Sierra) y Región Oriental (Amazonia), además de la Región Insular (Galápagos), esta división se debe, a que lo atraviesa la cordillera de los Andes de Norte a Sur; cada región presenta una diversidad climática, que se ve influenciada por la presencia de las bajas presiones que rodea la tierra cerca de Ecuador, convergen los vientos alisios provenientes de los hemisferios (Guillén, 2014).

Con el cambio climático se ha presentado una serie de variaciones a nivel mundial, esto es preocupante, debido al fluctuante cambio de variables claves como son: precipitación, temperatura, entre otras, que se verán fuertemente afectadas, ocasionando alteración en la producción Agrícola, estas particularidades las están experimentando en muchos sitios; en la actualidad, hay un incremento en las precipitaciones y en las temperaturas, aumentando zonas secas en el medio (William R, 2007). Algunas investigaciones consideran que la producción de alimentos tendrá que crecer en un 70% para el año 2050, incrementando demandas hídricas, y de la temperatura promedio del aire y del océano; derretimiento de polos y glaciales, además de la elevación a nivel del mar, que son sin duda efectos del cambio climático (Correa, Vélez-Sánchez, & Rodríguez, 2013).

El incremento del CO₂ es otro impacto en la Agricultura, a pesar de ello, esta particularidad podría verse como una alternativa en la capacidad fijadora del CO₂, pero al interactuar con altas temperaturas ocurriría una reducción de ganancias netas de carbono en las especies C₃ por el incremento de la fotorrespiración (Orozco & Ayala, 2012). La asimilación de carbono en toda la planta suele disminuir a consecuencia de las limitaciones de la difusión del CO₂ en la hoja, la desviación del reparto del carbono a los órganos no fotosintéticos y las moléculas de defensa o los cambios bioquímicos en la hoja, dan como resultado una baja regulación de la fotosíntesis (Chaves et al., 2002). Un estrés hídrico conduce al cierre estomático, reduce el enfriamiento por evaporación e incrementa la temperatura en la hoja (Gonzalez-Dugo, Zarco-Tejada, & Fereres, 2014).

Los cítricos son uno de los cultivos de mayor importancia económica en la producción frutal, están distribuidos en áreas tropicales a subtropicales, así como también en regiones áridas y semiáridas con adecuado riego. El crecimiento y desarrollo de estos

cultivos es el resultado de una serie de procesos, en ellos se encuentra inmersa la fotosíntesis, que es directamente relacionada al rendimiento de los cultivos, la tasa fotosintética depende de una multitud de reacciones, al igual que otras especies, los cítricos tienen la capacidad de adaptarse y aclimatarse a un estrés ambiental, para ello desarrollan respuestas tanto fisiológicas como bioquímicas, así como mecanismos ecofisiológicos relacionados con la aclimatación y adaptación de la fotosíntesis en condiciones de estrés (Pessarakli & Dekker, 1999).

Diferentes tipos de estrés están asociados a la repercusión de una baja producción, sin embargo, es el estrés hídrico en los cultivos ya sea por exceso o déficit de agua, que ocasiona cuantiosas pérdidas, como resultado de ello, disminuye el crecimiento y vigor de las plantas, el estrés podría ocasionar abscisión de órganos; en el caso de algunos cítricos una floración reducida, es el resultado de un déficit hídrico severo (González-Altozano & Castel, 2003). En manzanas y cítricos, el estrés hídrico durante la floración afecta el número final de frutos por árbol, reduciendo significativamente el rendimiento (Sawicki, Barka, Clément, Vaillant-Gaveau, & Jacquard, 2015).

Por otro lado la conductancia estomática (g_s) es sensible a los cambios en la temperatura, es decir que a medida que esta aumenta, tanto la temperatura en la hoja y la conductancia estomática disminuye (Jifon & Syvertsen, 2003). Hay una relación directa entre el parámetro de fluorescencia y de intercambio gaseoso (A y g_s), el uso de estas herramientas resultan un mecanismo de apoyo para determinar el estrés hídrico en plantas (Flexas et al., 2002). Las plantas cuando están estresadas pierden agua disminuyen Ψ , así como potencial de turgencia y potencial osmótico, al haber mayor pérdida de agua hay mayor concentración de solutos (Parry, Rosenzweig, & Livermore, 2005).

A fin de aportar a fortalecer la cadena productiva de cítricos en Ecuador, se estudio el efecto de distintas láminas de riego en el cultivo de limón sutil, que es una importante variedad comercial en la provincia de Manabí, de manera especial en el Valle del Río Portoviejo, las cosechas son escalonadas, sin embargo, se intensifican dentro de la provincia dos producciones fuertes, una de época seca y otra lluviosa, uno de los problemas principales en los agricultores, es la falta de implementación de sistemas de riego, que les permita suministrar los volúmenes de agua en función a la demanda

atmosférica del cultivo, eso hace que se cuantifiquen pérdidas de agua, limitando la eficiencia en su uso (EUA), con los antecedentes antes descritos, se evaluó parámetros de intercambio gaseoso e hídricos que permitan conocer la eficiencia del cultivo a diferentes niveles de humedad del suelo. Por otra parte, en la época lluviosa suelen presentarse excedentes de lluvias, que, dependiendo de la intensidad, llegan a ocasionar cuantiosas pérdidas. Lo anteriormente descrito lleva a deducir que un problema a solucionar sería el aprovechamiento del agua en el limón, conociendo su influencia en el proceso intercambio gaseoso, parámetros hídricos y eficiencia cuántica, las evaluaciones en campo fueron quincenales en ambas épocas. La información permitió conocer el comportamiento del cultivo sometido a distintos niveles de humedad en el suelo y levantar valiosa información para apoyar con estrategias nuevas al manejo al agricultor.

2.3. Marco teórico

La fotosíntesis es un proceso biológico de conversión de la energía lumínica a electroquímica (Azcón-Bieto & Talón, 2008). La mayoría de respuestas de las hojas a la luz ocurre a un punto de saturación entre 500 y 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a flujos fotónicos inferiores a los de radiación solar máxima (Taiz & Zeiger, 2006).

Conductancia estomática.

Podría definirse como la difusión del CO_2 desde las cavidades subestomáticas hasta el estroma de los cloroplastos, este concepto permite comprender el proceso de difusión de gases por el interior de la hoja (Tholen & Zhu, 2011). La conductancia estomática (g_s) se divide en dos fases: a) gaseosa; que es la conductancia por medio de los espacios intercelulares y b) líquida: por medio de la pared celular, membrana, citosol, membrana cloroplástica y estroma del cloroplasto (Evans, Susanne, Setchell, & Graham, 1994). La conductancia del mesófilo puede variar de acuerdo a la especie, es así, que en el género *Citrus* se ha reportado valores de 0.02-0.42 $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, diferente a otras especies (Warren & Adams, 2004). La conductancia estomática es un parámetro fisiológico donde las plantas limitan la pérdida de agua, reducen el intercambio gaseoso como respuesta a diferentes factores exógenos (Santos, Martinez, & Donato, 2013). La conductancia en cítricos al igual que otros cultivos es sensible al ambiente (Cohen & Cohen, 1983).

Transpiración:

Es la eficiencia de las plantas para moderar la pérdida de agua, mientras se incorpora suficiente CO₂ para la fotosíntesis (L Taiz & Zeiger, 2006). Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua a través de las estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta, a través, de las cuales pasan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera (FAO, 2015). La transpiración juega un rol importante en los procesos de las plantas, afectando su crecimiento y productividad, influenciando directamente en la relación planta/agua, en condiciones de estrés, la pérdida de agua es controlada por la reducción en la conductancia estomática (Rodríguez-Gamir, Intrigliolo, Primo-Millo, & Forner-Giner, 2010).

Estrategias de las plantas al estrés hídrico

El estrés por sequía en cítricos, reduce el crecimiento y metabolismo, conduciendo a una reducción en el rendimiento y calidad de la fruta, reduce la g_s , T de la hoja y la tasa de asimilación neta de CO₂, por esta razón los estomas son reguladores importantes en el intercambio gaseoso (Pérez, Robles, Tovar, & Botía, 2009).

La tolerancia a la sequía en los cultivos se define por la capacidad de las plantas de sobrevivir a condiciones extremas y que tengan la capacidad de vivir, crecer y obtener rendimientos óptimos bajo condiciones limitadas del agua en el suelo o un periodo de estrés hídrico, sin embargo las plantas desarrollan estrategias frente a la sequía como: escape, evitación y tolerancia (Orozco & Ayala, 2012). El estrés en plantas puede dividirse en las siguientes fases: i) alarma.- responde relentizando funciones básicas ii) aclimatación.- acomodación del metabolismo celular y iii) adaptación.- se relaciona a una compensación morfológica y fisiológica (Azcón-Bieto & Talón, 2008)

El estrés afecta directamente la tasa fotosintética al disminuir la disponibilidad de CO₂, provoca un cierre estomático y cambios en el metabolismo fotosintético (Osakabe, Osakabe, Shinozaki, & Tran, 2014). Genalmente las plantas hacen un balance entre la necesidad de conservar agua y asimilar el CO₂, controlando el area foliar y la difusion de aire y vapor de agua por lo que la transpiración y acumulación de biomasa depenen

ampliamente del intercambio de gases por medio de los estomas (Mejía, Burbano, García, & Baena, 2014).

Déficit hídrico: El crecimiento y desarrollo de una planta esta influenciado por el ambiente y de manera especial por la disponibilidad de agua, un déficit hídrico afecta de manera negativa las funciones fisiológicas: fotosíntesis, respiración, reacciones metabólicas y anatómicas, desarrollo de semillas, absorción de nutrientes, transporte de asimilados y producción (Vélez, Álvarez, & Alvarado, 2012), el estrés suele presentarse por fases y su efecto dependerá básicamente de la duración, época e intensidad del mismo (Ballester, Castel, Intrigliolo, & Castel, 2011).

El déficit hídrico durante la fase de floración y cuajado de frutos origina un incremento de la caída de flores y frutos pequeños, limitando número de frutos y volúmenes de producción, cuando este se presenta cesa el crecimiento de los tallos y el sistema radical (Correa et al., 2013). El déficit hídrico resultaría una estrategia importante para ahorrar agua sin reducir rendimiento, este déficit tendría que estar basado en las restricciones hídricas en periodos precisos de desarrollo cuando el crecimiento sea menos sensible al déficit de agua en el suelo (Ballester, Castel, Intrigliolo, & Castel, 2013). Las hojas jóvenes tienen menos control sobre la transpiración estomática por tener menos ceras epicuticulares y cutina que las hojas viejas (Agusti, 2010). En cítricos los estomas en su mayoría se encuentran ubicados en el envés, y en situaciones de estrés hídrico marcado, se cierran limitando el intercambio de CO₂ y la pérdida de agua (Vélez et al., 2012). El tamaño de estomas en cítricos en hojas maduras, es variable, los estomas de hojas viejas son más grandes que los que se forman en hojas en desarrollo, están situados en la superficie ventral de las hojas, el tamaño de hoja de limón va en un rango de 10 a 90 cm² con una densidad estomática de 380 a 920 mm² (Reed & Hirano, 1931).

Anegamiento: Bajo condiciones normales las raíces obtienen el oxígeno directamente desde el suelo, que necesitan para la respiración mitocondrial, el entorno radical está en contacto con el oxígeno del suelo a una presión parcial equivalente a la atmosférica (0,21 atmósfera); pero cuando el suelo se satura de agua, el intercambio de gases con la atmósfera queda restringido, por esta razón las plantas toleran condiciones de hipoxia

(cuando el oxígeno del suelo es inferior al óptimo) y después a condiciones de anoxia (carencia de oxígeno) la primera bloquea la actividad de los ciclos ácidos tricarbónicos y de respiración con lo que la producción de ATP y regeneración de NAD⁺ y de NADP⁺ se detienen y el estado energético se reduce (Azcón-Bieto & Talón, 2008). La fermentación anóxica ocurre en las raíces por medio de la glucólisis, y la tasa de fermentación en las raíces depende del suministro disponible de azúcares solubles (Liao & Lin, 2001).

Eficiencia en el Uso del Agua (EUA): Es un parámetro de calidad y manejo del cultivo dentro del déficit hídrico, es un aspecto relevante a considerar, en ese sentido las plantas involucran una serie de mecanismos para reducir la composición de los recursos, y ajustar el crecimiento y adaptarlo a las condiciones ambientales (Osakabe et al., 2014). La eficiencia de la transpiración (T) que es la Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) de las hojas es determinada por la interacción entre la actividad fotosintética transitoria de la cavidad subestomatal de la concentración de CO₂ y la actividad estomática (Farquhar, Ehleringer, & Hubick, 1989). La cantidad de agua transpirada expresada por unidad de CO₂ fijado (T) es un criterio fisiológico de interés, el cierre estomático es una respuesta negativa pero podría ser manejada como una variante para determinar la movilización de la concentración interna del CO₂ en la hoja, solutos celulares, iones específicos, pH y producción de Ácido Abscísico (ABA) en la hoja o cuando es importada desde la raíz (Blum, 2009).

La humedad estacional del suelo es el punto de partida para el manejo de cultivo con restricciones de agua; dos consideraciones importantes: a) la corta duración de crecimiento, que demanda un uso moderado de agua y el escape del estrés por sequía (etapa reproductiva); y b) larga duración de los genotipos generalmente tienen mayor uso de agua y sistemas de raíces más grandes y profundos; entonces el estrés por sequía se lo podría alcanzar maximizando la captura de agua del suelo (Blum, 2009). Por lo tanto un buen manejo de riego podría ser estimado por los requerimientos del agua del cultivo, el déficit de riego es una propuesta que incrementa la calidad del fruto (Gonzalez-Dugo et al., 2014).

La producción dependerá entonces de la capacidad de la planta de captar agua para producir de forma eficiente, es decir, (EUA) que en termino de producción podría definirse como la relación de biomasa acumulada expresada como la asimilación de CO_2 , total de biomasa de cultivo o rendimiento de grano a cosecha, el agua consumida expresada como transpiración, evapotranspiración o la entrada total de agua en el sistema (Sinclair, Tanner, & Bennett, 1984). Por lo tanto un buen manejo de riego podría ser estimado por los requerimientos del agua del cultivo, razón por la que el déficit de riego es una propuesta que incrementa la calidad del fruto (Gonzalez-Dugo et al., 2014). Un determinante en la producción sería suministros de agua limitada (Blum, 2009). Por otro lado, la Eficiencia en el Uso del Agua (EUA), estaría reflejada por la relación intrínseca entre la tasa de asimilación neta del CO_2 , A y la conductancia estomática (g_s) (Bogeat-Triboulot et al., 2019).

Potencial hídrico: Los cítricos muestran cambios significativos en el potencial de agua en la hoja diariamente (J. Syvertsen & Albrigo, 1980). El potencial hace relación a la energía potencial del agua, es decir la energía libre de las moléculas del agua; en cítricos han encontrado que el estrés hídrico incrementaba la caída de órganos florales, cuando el Ψ estaba cerca de -0,7 y -1,24 MPa al amanecer (C. R. Silva, 2005). En lima Tahití se midió Ψ_p y Ψ_m , y se redujo el Ψ_p de forma significativa llegando hasta -0,9 MPa (C. R. Silva, 2005). En mandarina *clementina* de Nules sometido a déficit hídrico encontraron que un valor umbral de -1,3 MPa de Ψ_{tallo} , resulta ser exitoso a restricciones hídricas, pero concluyen que no todos los cítricos cumplen el mismo estándar, pues todo depende de la duración e intensidad del mismo (Ballester et al., 2013).

La conductividad hidráulica de la raíz, es considerada uno de los principales factores que controlan el movimiento del agua en el sistema suelo-planta y las limitaciones del agua podrían estar impuestas por el porta injerto (Yoseph Levy & Syvertsen, 1983).

Fluorescencia: La fluorescencia de clorofila, ayuda a generar información sobre la tolerancia de las plantas al estrés en función a la presencia de factores ambientales adversos que limitan la fotosíntesis (Maxwell & Giles, 2000). Permite conocer información sobre diferentes reacciones de transferencia de electrones en el fotosistema II, la fluorescencia puede afectarse por la temperatura, esta variable es muy estudiada en

numerosas especies y se ha establecido como valor medio 0,832 como indicador que las plantas están en buenas condiciones (Bleda, Madrid, García, Gómez, & Porras, 2001).

El daño producido en condiciones de estrés puede también afectar al contenido de clorofilas totales, siendo mayor el descenso en la medida que las condiciones de estrés son más severas (Nayyar & Gupta, 2006).

2.4. Metodología

2.4.1 Material vegetal y condiciones climáticas

En este experimento se utilizaron árboles de limón sutil [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle)] (“Catalogue of Life: 2019”) de 15 años de edad, es un huerto comercial ubicado en el sitio Maconta (geográficamente situada a 10°08'28.5" de latitud Sur y 80°04'05.2" de latitud Oeste, altitud de 40 msnm), en la parroquia Colón del cantón Portoviejo, provincia de Manabí a 1½ km de la vía Portoviejo-Los Ángeles. El patrón es Cleopatra. La distancia de siembra es de 6 x 6 m, en condiciones de campo abierto. Los árboles de limón sutil se evaluaron en dos épocas una seca y otra lluviosa, en la primera, leves precipitaciones se presentaron en los meses de octubre y noviembre, intensificándose a mediados de diciembre del año 2018 (Figura 13) y extendiéndose hasta el mes de mayo que es donde culminó la época lluviosa. La temperatura registrada durante el periodo de evaluación fluctuó entre 31,5 °C máx, 22 °C min y promedio 26,8°C (Figura 14). La humedad relativa registrada en la época seca fluctuó entre 74,81% y en época lluviosa 82.48%. Las horas luz reportadas para la época seca fueron de 627,2 y en época lluviosa 452,3 (Figura 14).

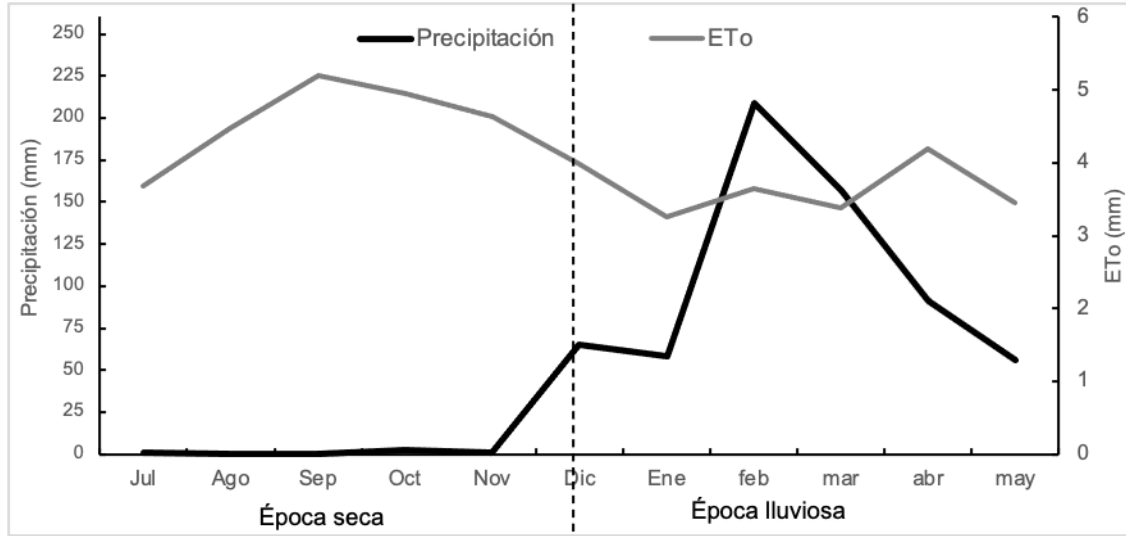


Figura 13. Precipitación y Evapotranspiración de referencia (ET₀), durante el periodo de evaluación. Datos recopilados de la Estación Meteorológica “La Teodomira”. Elaboración Propia.

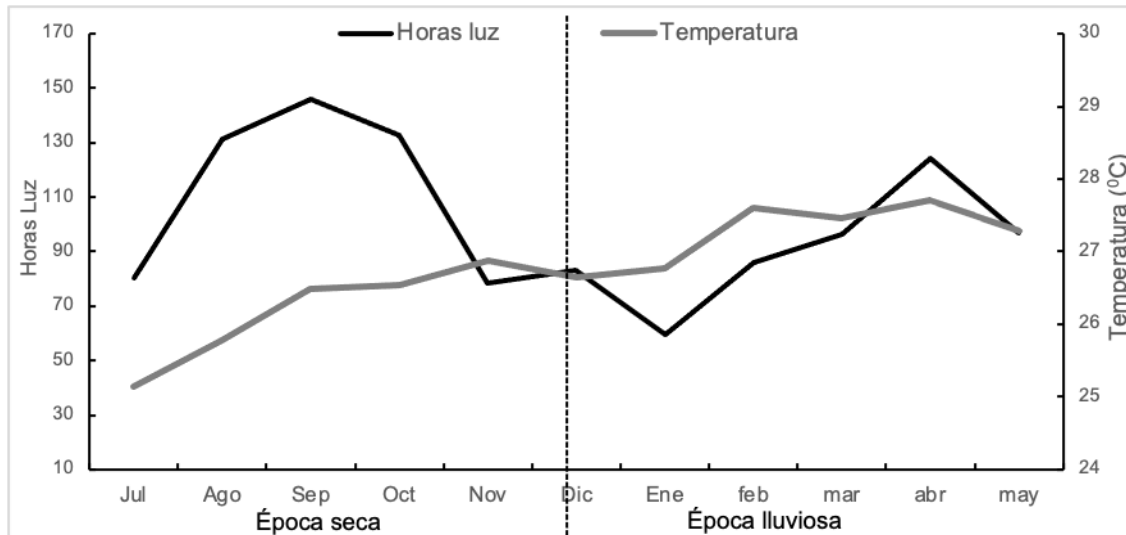


Figura 14. Temperatura y horas luz durante el periodo de evaluación. Datos recopilados de la Estación Meteorológica “La Teodomira”. Elaboración Propia.

2.4.2 Diseño y Selección de tratamientos

Un diseño de bloques completo al azar (BCA), conformado por cinco tratamientos incluido el tratamiento control (representado por el riego del agricultor) y seis

repeticiones, dando un total de 30 unidades experimentales, la unidad experimental representada por un árbol. Los tratamientos establecidos fueron en función a la demanda atmosférica del cultivo, bajo la recomendación descrita en el boletín 56 de FAO, quienes recomiendan un K_c para meses lluviosos de 0,80 y 0,65 para los meses secos (FAO, 2015); los tratamientos se describen en la siguiente tabla (5).

Tabla 5. Distribución de tratamientos

Tratamientos (T)	Evapotranspiración de referencia (ET_0)
1	0,3
2	0,5
3	0,7
4	0,9
5	Control

La instalación del riego, la aplicación de las láminas, la distribución, la frecuencia y el cómo y cuándo regar, no se mencionarán en este capítulo, pues el modelo de aplicación de agua al cultivo es el mismo para la investigación y puede verse en el apartado Capítulo 1 desde la página 15, 16, 17, 18 y 19, donde se detallada explícitamente la metodología del riego para el cultivo de limón sutil.

2.4.4.2 Intercambio gaseoso

Época seca: El intercambio de gases, se midió con un equipo portable LI-6400 XT. Photosynthesis System, el cual determinó la tasa de Fotosíntesis (A), conductancia estomática (g_s), transpiración (T), CO_2 intracelular (C_i) y la relación CO_2 intra e inter celular (C_i/C_a). Para conocer el punto de saturación a la fotosíntesis, se elaboraron curvas de luz a 50, 100, 200, 400, 500, 600, 900, 1200 $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$, por tres días. La evaluación de fotosíntesis se hizo en dos fechas distintas, la primera el 09 de agosto del 2018 y la segunda el 28 de noviembre del 2018.

Las hojas seleccionadas para las mediciones cumplieron con características: expuestas al sol, sin daños mecánicos, libres de plagas y enfermedades. Tres árboles por cada tratamiento para las mediciones, dejando que la cámara se estabilizará en un tiempo de 5 minutos.

Parámetros hídricos (potencial hídrico y conductancia estomática):

Estos parámetros fueron evaluados en dos épocas, seca y lluviosa, para lo cual, se midió inicialmente conductancia estomática (g_s), con el porómetro (modelo Leaf Porometer Decagon Devices, INC), seleccionando 3 árboles por tratamiento a esos árboles se seleccionó dos hojas expuestas, sin daños mecánicos, sanas y libres de plagas y enfermedades, para asegurar las mediciones se dejó estabilizar al equipo por un tiempo de 5 minutos. Culminadas las lecturas de g_s , estas hojas se cortaban para medir potencial hídrico (Ψ_h) en distintas horas del día en diferentes fechas, para estas mediciones del estado hídrico en las plantas, se utilizó la cámara de presión de la bomba Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Sta. Barbara, CA. USA) la lectura culminaba una vez que se formará una burbuja de agua en la punta del pedicelo.

Fluorescencia de la clorofila:

Fue evaluada en época seca y lluviosa, con el fluorómetro (OPTI-SCIENCES OS5+) con luz actínica de $1200 \mu\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad (Liu et al., 2019), sometiendo a oscuridad a las hojas por un tiempo de 30 minutos, para desacoplar la transferencia de electrones del Fotosistema II y se expresó como rendimiento cuántico primario máximo del fotosistema II (F_v/F_M).

Análisis de datos

Para el análisis de datos en las variables, se realizó un ANOVA, desviación estándar, regresiones y correlaciones, y para prueba de comparación de media se empleó el test Duncan ($P < 0.05$), con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System (SAS User's Guide, version 9.4. Cary, 2004).

2.5. Resultados:

Balance hídrico:

Los datos fueron tomados a los 20 días del mes de agosto del 2018, después de haber regado, muestras del suelo fueron extraídas para determinar humedad volumétrica (θ) del suelo, a fin de monitorear el θ hasta llegar a un nivel de agotamiento permisible, evitando sobrepasar PMP que para los suelos del sitio experimental es 20%, los niveles de humedad en el suelo obtenidos mediante la ET_c , a través de la ET_0 se describen en la Tabla (6) a continuación.

Tabla 6. Niveles de humedad de acuerdo a las distintas láminas de riego aplicadas al cultivo de limón sutil

Tratamientos	Época seca	Época lluviosa
	Humedad del suelo % (θ)	Humedad del suelo % (θ)
0,3 ET_0	29.17 a	39.15 a
0,5 ET_0	34.00 b	39.77 a
0,7 ET_0	37.70 c	41.28 a
0,9 ET_0	39.42 c	45.98 b
Control	35.30 b	39.95 a

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren de forma significativa, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).

Diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, siendo distintos en aquellos con láminas de 0,3; 0,5 y 0,9 ET_0 , sus promedios de θ en el suelo

fluctuaron entre 29,17; 34 y 39,42 % en condiciones de época seca; en los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo que corresponden a la época lluviosa es únicamente el tratamiento con una lámina de 0,9 ET₀ diferente a los demás, este acumuló un θ de 45,98% promedio que es superior a la CC (36%). Resulta interesante destacar que al establecer las láminas de riego, el tratamiento con una ET₀ de 0,5 es similar al control, su diferencia en θ es únicamente de 1,3%, por otro lado, los tratamientos 0,7 y 0,9 ET₀ los separa una diferencia porcentual en θ de 1,72%.

Intercambio gaseoso:

Curva de saturación a la fotosíntesis: El punto a saturación de la tasa de fotosíntesis para cítricos fluctuó entre 800 -1200 $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para condiciones del sitio Maconta en el cultivo de limón sutil, tal como se muestra en la Figura (15), es notorio, fijarse que con excesos de luz la A se inhibe, por lo que se puede deducir que el limón activa su A con bajas intensidades de luz.

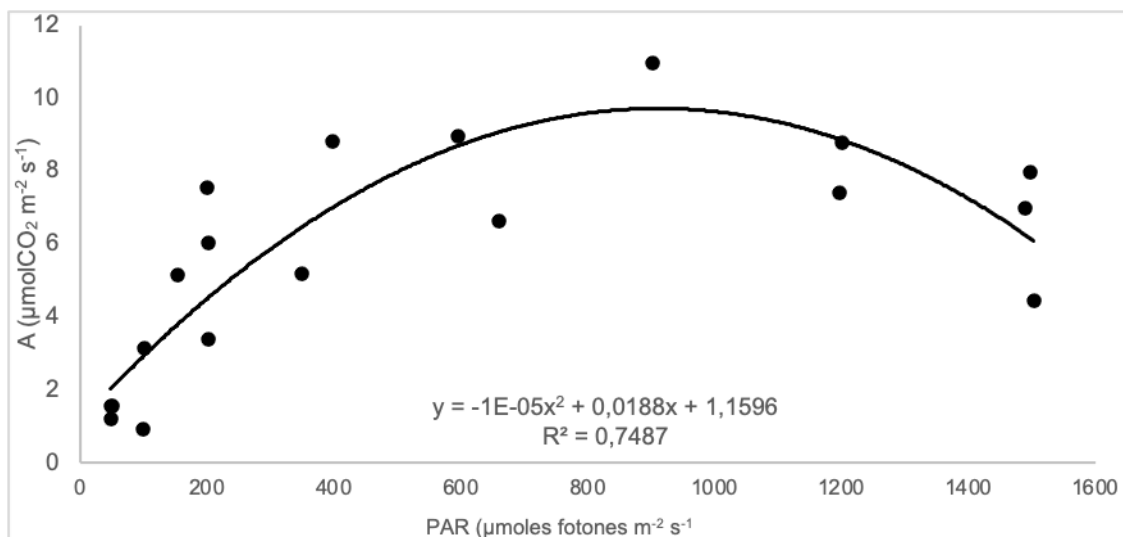


Figura 15. Curva de saturación a la fotosíntesis en el cultivo de limón sutil [*Citrus aurantiifolia* (Christm.) Swingle], en el sitio Maconta, en condiciones de época seca.

Fotosíntesis, conductancia, transpiración y relación C_i/C_a : La tasa de A resultó ser estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos, siendo mayor en el

control, mientras que los tratamientos 0,3 y 0,9 ET_0 que acumularon menor y mayor humedad en el suelo, resultaron obtener las tasas de A más bajas (Figura 16 A). El tratamiento control presentó mayor g_s y T (Figura 16 A, B), la g_s más baja fue en el tratamiento 0,9 ET_0 este último acumuló un θ 39,42% mayor a la CC(36%) para este suelo, lo que estaría influyendo a una disminución en la tasa de A .

El tratamiento de 0,3 ET_0 que acumuló un θ de 29,17%, inferior a CC (36%), transpiró menos que el resto de tratamientos, se puede deducir una respuesta de limón a condiciones estresantes, en este caso por restricciones hídricas, esta respuesta es similar en el tratamiento 0,9 ET_0 (Figura 16 C) donde mayor nivel de humedad se acumuló en el suelo. Por otro lado, la T incrementa en el tratamiento control así como la g_s , este comportamiento al ser asociado con la tasa de A explicaría el riego a plenitud de agua, llevándolo a un mayor desperdicio del agua.

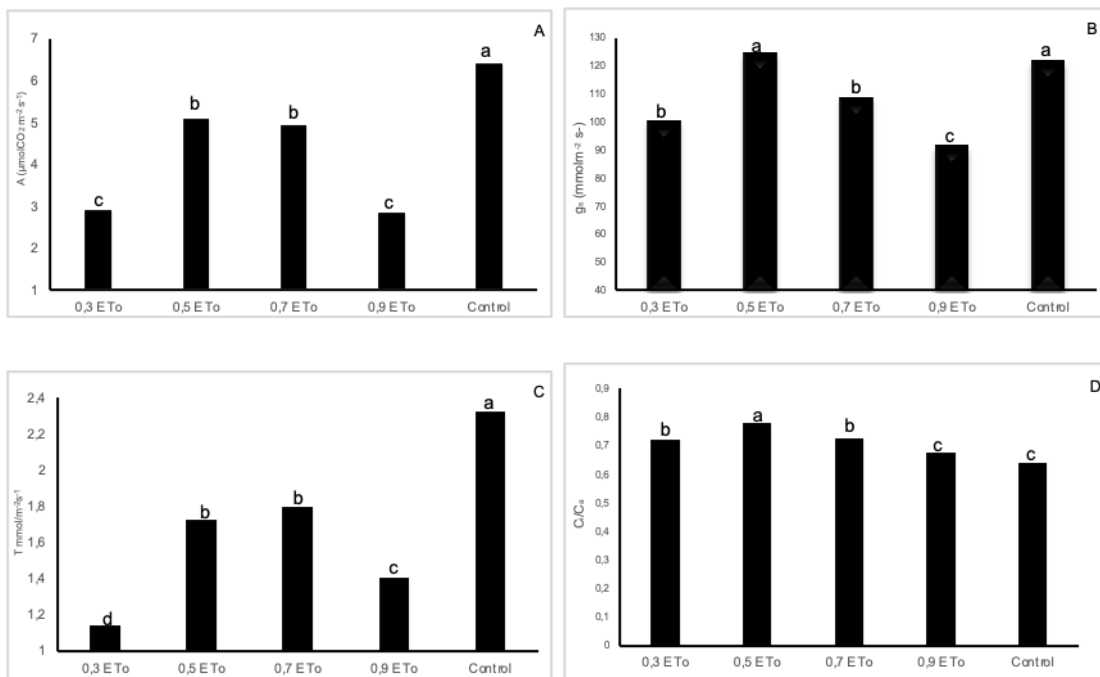


Figura 16. A) Fotosíntesis (A), B) conductancia estomática (g_s), C) transpiración (T), y D) relación de CO_2 intra-intercelular (C_i/C_a), bajo distintos tratamientos de ET_0 , en condiciones de Maconta.

A pesar de que el tratamiento control responde con mayor tasa de A , g_s y T , su relación C_i/C_a es baja, similar ($P < 0.05$) al comportamiento del tratamiento $0,9 ET_0$, y diferente a la ET_0 de $0,5$, que responde a esta variable eficientemente en comparación con el resto de los tratamientos (Figura 16 D), el comportamiento del control estaría asociado a una mayor apertura estomática que ocasionaría pérdidas del C_i intracelular, producto de gozar de un nivel de θ cercano a CC , pues únicamente lo separa un $0,7\%$, ello haría que este tratamiento desperdicie más agua.

Eficiencia en el Uso del Agua:

La Eficiencia en el Uso del Agua intrínseca (EUA) que corresponde a la A/T expresada como: $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1} / \text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, fue determinada 90 días después de someter las plantas a los tratamientos de riego. Diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), en los tratamientos $0,9 ET_0$ y $0,5 ET_0$ (Tabla 7), la primera con el valor más bajo y la segunda por tener el valor más alto de EUA.

Resultado del análisis se puede concluir que el tratamiento con la lámina de $0,5 ET_0$, es más eficiente en el uso del agua, esto se debería a la eficacia en la relación C_i/C_a (Figura 16 D), específicamente en la distribución del C_a al interior del mesófilo, este mismo tratamiento resulto disminuir la g_s , entonces, esta respuesta sería el resultado de un mecanismo de protección del cultivo para conservar el agua (Figura 16 D).

Tabla 7. Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) y la Eficiencia en el Uso de la Carboxilación en limón sutil, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo.

Tratamiento	EUA A/T ($\mu\text{mol de CO}_2 / \text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	EUC A/C _i ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ($\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ⁻¹
0,3 ET ₀	2,20 ab	0,008 b
0,5 ET ₀	3.22 a	0,017 a
0,7 ET ₀	2.45 ab	0,017 a
0,9 ET ₀	1,06 b	0,004 b
Control	2,36 ab	0,022 a
X	2,26	0,013
Pr > F	0,0202	0,0001
DMS (5%)	1,62	0,03

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren de forma significativa, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).

La eficiencia de la carboxilación (EUC) se determinó en el cultivo de limón, siendo los tratamientos 0,3 y 0,9 ET₀ estadísticamente similares ($P < 0.05$), asimismo, los tratamientos 0,5 ET₀, 0,7 ET₀ y control son iguales, por no presentar diferencias entre ellos. Pero al analizar los datos detenidamente se podría concluir que existe un aumento en la EUC en los tratamientos 0,5 y 0,7 ET₀, pues ambos comparten el mismo valor (Tabla 7) $0,017 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}/\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, ello también explicaría el comportamiento de la tasa de A y g_s (Figura 16 A y B), que fue mayor en el control pero es baja en la relación C_i/C_a , por lo que la oportunidad de captar más agua, hace que pierda CO_2 producto de la apertura estomática.

Parámetros hídricos evaluados durante la época seca y lluviosa:

Potencial Hídrico (ψ_h): Se determinó potencial hídrico en el suelo, durante la época seca (Figura 17 A), 15 días después de haber sometido los tratamientos de riego, no se observan variaciones en el potencial hídrico. Sin embargo, Cuando el θ del suelo llega a 42%, los tratamientos disminuyen su ψ_h , de manera especial el tratamiento de lámina 0,9 ET₀, que alcanza valores de -2,10 MPa, este mismo tratamiento logra recuperarse

cuando el θ del suelo llega a 36%, es decir a CC, con este θ todos los tratamientos responden favorablemente, al término de la evaluación cuando el θ del suelo alcanza 34%, 2 puntos porcentuales por debajo de la CC (36%), todas las láminas responden aumentando su ψ_h . se puede decir, que el limón sutil responde rápidamente a condiciones de déficit y exceso de humedad en el suelo (Figura 17 A).

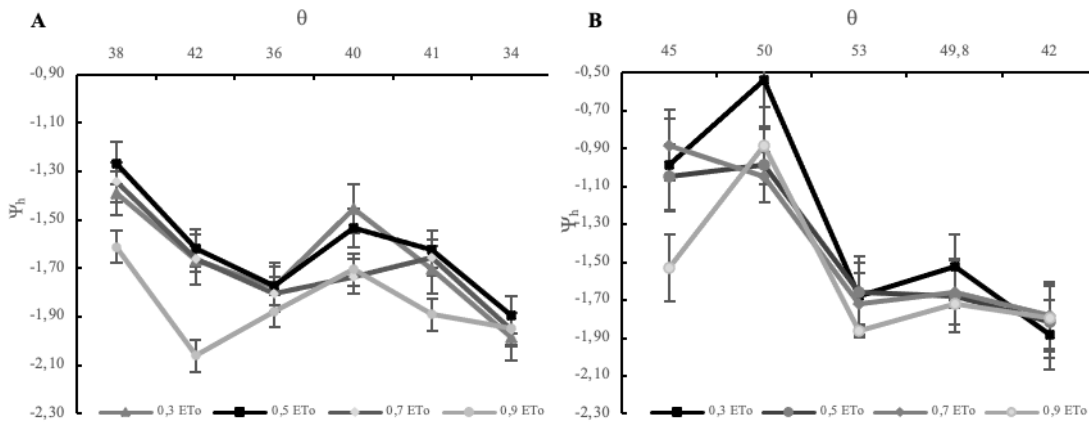


Figura 17. Potencial hídrico de la hoja (ψ_h) en MPa en dos épocas A) seca y B) lluviosa cada línea expresa un nivel de tratamiento determinado por la ET_0 y en el eje de las x se expone los niveles de humedad alcanzados durante la evaluación.

La época lluviosa se intensificó a finales del mes de diciembre, y las mediciones comenzaron 15 días después de la presencia de precipitaciones, es así, que cuando el θ estaba en 45% los tratamientos aumentaron el ψ_h , siendo marcado este incremento en el tratamiento de $0,9ET_0$, cuando las precipitaciones se intensificaron, el θ del suelo llegó a 50%, en esta humedad los valores de ψ_h fueron más altos, siendo representativo en el tratamiento de $0,3ET_0$ que llegó a promedios de $-0,5$ MPa. Los meses más lluviosos fueron febrero y marzo, y coincide con la otra medición cuando el θ estaba en 53%, 17 puntos porcentuales más de la CC (36%), con este θ todos los tratamientos disminuyeron, manteniéndose de cierta manera estables hasta llegar a un θ de 42%, donde levemente se estabilizaron, alcanzando valores cercanos a $-1,9$ MPa (Figura 17 B).

Conductancia estomática (g_s): La g_s se determinó en ambas épocas; en la época seca con valores de θ de 38 %, la g_s disminuye, en los tratamientos 0,3; 0,5 y 0,7 ET_0 ; e incrementa en el tratamiento 0,9 ET_0 , esta respuesta del cultivo en todos los tratamientos

se debería a la aplicación de riego que fue 6 días antes de la medición. Con mayor θ los tratamientos aumentan su g_s , pero el tratamiento 0,5 ET_0 mantiene baja su g_s al llegar a 36% de θ , es decir a CC donde la curva se estabiliza en todas las láminas de riego, pues el contenido de agua es estable, entonces el cultivo trata de aprovecharlo al máximo, cuando el suelo comienza a sobrepasar CC, llegando a saturarse, es decir alcanzando θ de 40%, la g_s disminuye consecutivamente hasta cuando el θ llega a 41%; ocurre lo mismo en todos los tratamientos, cuando el suelo empieza a disminuir humedad del suelo, es decir a 34% (Figura 17 B). Entonces, en limón sutil cuando el θ del suelo es menor o mayor a CC la g_s disminuye.

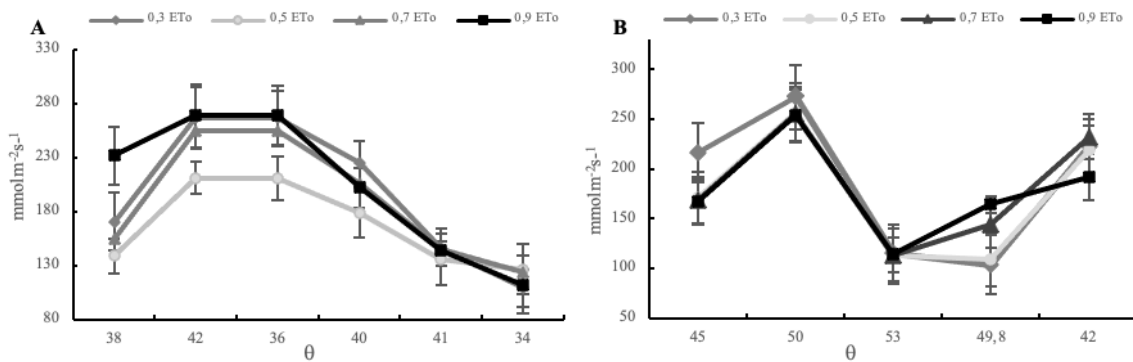


Figura 18. Conductancia estomática ($\text{mmol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), en dos épocas A) seca y B) lluviosa, cada línea representa los distintos niveles de humedad en el suelo y en el eje x la intensidad del estrés hídrico.

Luego de las lluvias presentes en la zona se determinó g_s , 20 días después de las precipitaciones en el sitio, es el tratamiento 0,3 ET_0 , que aumenta su g_s cuando el θ estaba en 45% (Figura 18 B), cabe indicar que durante la época seca este tratamiento estaba con restricciones hídricas (Figura 18 A), sin embargo, cuando el θ del suelo llega a 50% todos los tratamientos incrementan la g_s , producto de la presencia de precipitaciones en el sitio, al llegar a un θ de 53% disminuyen la g_s , por lo tanto, se puede deducir que bajo condiciones lluviosas el cultivo trata de adaptarse a estos excesos de humedad; mientras disminuye el θ en el suelo (49,8%) la g_s decae con una pequeña estabilización entre los tratamientos, finalmente con la disminución de las precipitaciones, conforme se pierde agua (42%) en el suelo, la g_s comienza a aumentar. (Figura 18 B).

Esta variación de la g_s en ambas épocas, muestra una recuperación paulatina del cultivo al estar cercano a CC (Figura 18 A y B) y una relación entre el ajuste del potencial hídrico y la g_s conforme se acerca a la humedad plena.

Fluorescencia: La eficiencia cuántica dada como F_v/F_m fue evaluada en época seca, resultando ser los tratamientos con 0,9 y 0,3 ET_0 diferente estadísticamente ($P < 0.05$) al resto de láminas de riego, sus valores de F_v/F_m estuvieron entre 0,75 y 0,76 respectivamente, es indispensable resaltar que estas láminas presentaron θ mayores y menores a CC (36%), esto permite concluir que estos tratamientos estaban en condiciones estresantes, sea por exceso o restricciones hídricas.

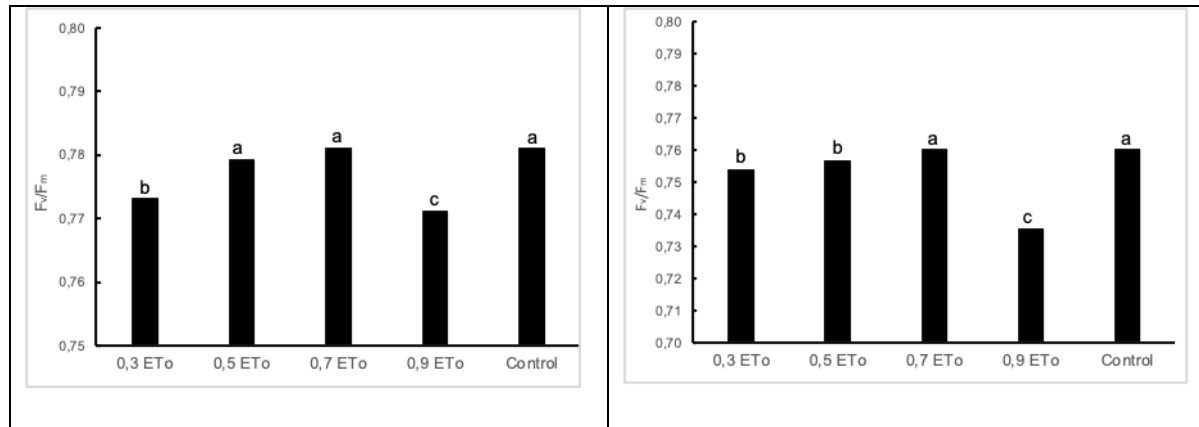


Figura 19. Eficiencia cuántica en el Fotosistema II expresada como F_v/F_m en la A) época seca y B) época lluviosa, bajo distintos niveles de ET_0 , en el sitio Maconta

Para la época lluviosa el tratamiento 0,9 ET_0 es diferente estadísticamente ($P < 0.05$) al resto de tratamientos y obtuvo el valor más bajo 0,74 (Figura 19B). Esta época se reportan valores más bajos que la época seca, el promedio de F_v/F_m fue de 0,75, durante este periodo de evaluación se presentaron precipitaciones frecuentes en el sitio de estudio durante 4 meses, esto ocasionaba acumulación de humedad en el suelo, tal como se observa en la Figura 19 B, por esta razón se puede decir que el cultivo de limón es susceptible a exceso de humedad en el suelo, pues sus valores en θ siempre se mantienen mayores a CC (36%).

2.6 Discusión

Niveles de humedad en el suelo:

Como anteriormente se describió en el capítulo de resultados, el θ más bajo fue con la lámina de agua de $0,3 ET_0$, el tratamiento acumuló un θ de 29,17%, que es 6,36% más bajo a la CC (36%) determinada para los suelos de Maconta (Tabla 6), esta lámina estaría provocando deficiencia en la humedad del suelo, sin embargo, el cultivo podría estar respondiendo a este θ por medio de alteraciones fisiológicas, en todo caso, se puede decir que el limón sutil podría soportar θ más bajos a la CC, dependiendo de la duración y fase fenológica en la que se aplique; es decir, que, el volumen de agua que el cultivo puede aprovechar sería aun menor, tal como lo manifiesta Ríos-Rojas, Correa, Rojas, & Dorado (2018). Por otro lado, el tratamiento con un $0,9\% ET_0$ acumuló un θ 3,43% mayor a CC, este excedente de θ ocasionaría disminución en la tasa fotosintética en el cultivo de limón sutil, sin embargo estas láminas responderán de acuerdo a las características climáticas del sitio, pues se ha visto que en en lima Tahití aplicaciones de $K_c = 0,82$ y $1,18$ generan respuestas favorables en el cultivo (Junior, Marcos, Fábio, & Roberto, 2009).

El tratamiento con un $0,5 ET_0$, fue similar al tratamiento control, con ello se puede decir, que se apuntó a la lámina de aplicación del agricultor con algunas variaciones, en todo caso, tanto el control como la lámina de respuesta favorable fue inferior a la recomendación del Boletín 56 de FAO, ellos mencionan un K_c que va de 0,65 a 0,85, condición que para el sitio Maconta no funciona, resultando favorable la lámina de $0,5 ET_0$ (Tabla 6), estos resultados son similares a los que reportan en naranja *navel*, tras someter a estrés hídrico con un 50% de ET_c notaron similitud con el tratamiento control, deduciendo que con la aplicación de esta lámina ahorrarían un 19% de agua (Ballester, Castel, Intrigliolo, & Castel, 2013).

Es escasa la información de limón sutil en condiciones de época lluviosa, pero se logró observar que un exceso de agua en el suelo por sobre 9,98% puntos porcentuales en

relación a la CC(36%), ocasiona alteraciones fisiológicas, que pueden darse por medio de una disminución de A y cierre estomático.

Intercambio gaseoso:

Curva de luz: El punto de saturación a la fotosíntesis (A) en limón sutil fue entre los 700 a 1100 $\mu\text{moles de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con una tasa de fotosíntesis que va de 6 -12 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 15). Observando que la tasa de A en limón sutil es baja, los resultados coinciden con lo reportado por Hu et al (2007), ellos encontraron que en cítricos la tasa fotosintética neta en hojas sometidas a altas radiaciones, suelen ser bajas y se encuentran entre 600-700 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Otros autores reportan que la tasa de A ocurre normalmente de 600 a 1000 $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Ribeiro, Machado, & Oliveira, 2006).

Fotosíntesis, conductancia, transpiración y relación C_i/C_a : Se reportaron valores de A de 7,2 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, similares a lo que registra C. Da Silva et al., (2005) quienes describen promedios de 4-7 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ que resultan ser bajos, a los que se reportan para naranja Navel que van de 12-14,5 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Syvertsen et al., 2003).

Con los θ de 29,17% y 39,42%, obtenidos mediante las láminas de 0,3 ET_0 y 0,9 ET_0 , se puede concluir que una respuesta del cultivo de limón sutil a restricciones y excesos de agua, es disminuir la tasa de A y g_s (Figura 16). Similares resultados se encontraron en Limón Fino 49, [*Citrus limon* (L.) Burm. fil], ellos deducen que con déficit hídrico, el intercambio gaseoso disminuye significativamente (Pérez, Robles, Tovar, & Botía, 2009). Sin embargo, esto es dependiente de la tolerancia del cultivo, es así que un estudio descrito por García, Syvertsen, Gimeno, Botía, & Perez, (2007), al someter a dos patrones de cítricos a déficit y anegamiento, notaron que ambos disminuyeron A y T , concluyen que la tolerancia dependerá del genotipo.

Una disminución de T en el tratamiento 0,3 ET_0 , sería una respuesta inmediata del cultivo de limón frente a restricciones hídricas, disminuyendo su g_s (Figura 16 B y C) producto

del cierre de estomas para evitar pérdidas de agua en la planta. La pérdida del agua implica el cierre estomático, esto provoca un descenso en la concentración de CO_2 disponible en las hojas, y, como consecuencia, un descenso en la tasa fotosintética debido a la disminución de la actividad de la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa oxigenasa (Arbona, Manzi, De Ollas, & Gómez, 2013). La abrupta disminución de T con el θ de 29,17% coincide con lo descrito por Roccuzzo, Villalobos, Testi, & Fereres, (2014) ellos manifiestan que una disminución en la transpiración relativa con el déficit hídrico, se origina por un bajo nivel de agua almacenada en el suelo. De la misma forma, estudios en cítricos informan que el tamaño de los árboles puede influir en la tasa de absorción de agua, cuando mayor es la biomasa, hay más pérdida de agua por T (Romero et al., 2006).

Eficiencia en el uso del agua:

La EUA alcanzada en el tratamiento 0,5 ET_0 (Tabla 7), lleva a deducir que esta lámina aprovecho el suministro de agua para poder convertir materia seca con menos contenido de agua en el suelo, pues, como ya se ha visto en la investigación, el agua en el suelo influye en la tasa de asimilación de CO_2 , tal como lo manifiesta Brakke & Allen, (1995). El tratamiento antes descrito podría estar respondiendo a deficiencias hídricas, producto de ello cierra sus estomas, para evitar la pérdida de agua por transpiración y así mantener la tasa de fotosíntesis (Begg & Turner, 1976), entonces una respuesta a condiciones adversas en limón sería reducir T y g_s como mecanismo de protección a deshidratación. Al parecer excesos de agua en el suelo disminuyen la EUA en limón, esto lleva a concluir la sensibilidad del limón a exceso de agua.

Parámetros hídricos:

Potencial hídrico: Con respecto al ψ_h de la hoja en ambas épocas, se observó que con θ del suelo mayores y menores a CC (36%), (Figura 17 A y B), los tratamientos tienden a aumentar o disminuir su ψ_h , esta respuesta estaría asociada a un mecanismo de tolerancia de la planta, frente a factores exógenos que provocarían alteraciones en el cultivo y estaría asociado al grado de regulación de la g_s , el cierre estomático parcial

luego de suministro de agua, que adoptan las plantas para aprovechar al máximo el agua al cultivo como lo menciona M. Ortuño et al., (2005). Es representativo señalar que en la época lluviosa las humedades del suelo fueron más altas, tanto así que cuando el θ llegó a 50% el tratamiento 0,3 ET₀ alcanzó un Ψ_h de -0,5 MPa (Figura 17 B), similar a -0,6 MPa reportado por Da Cruz, Rocha, De Siqueira, & L, (2007) en lima Tahití. Este comportamiento del cultivo estaría asociado a un ajuste osmótico que hacen que rápidamente los cultivos recuperen el estado hídrico después de un posible estrés asociado a la capacidad de extracción de agua del suelo (D. Santos et al., 2019). También en Lima Tahití sometido a restricciones hídricas encontraron potenciales de -0,4 a -0,5 MPa los autores concluyen que las plantas adquirieron Ψ_h permisibles más positivos que perjudican la productividad y calidad de la fruta producto de una disminución del intercambio gaseoso (Da Silva et al., 2006).

Conductancia estomática: Este parámetro fue evaluado con la ayuda de un porómetro, un incremento de la g_s en el tratamiento 0,9 ET₀ durante la época seca, cuando el θ estaba en 38%, 2 puntos porcentuales más que CC (36%), podría ser explicado como una respuesta del cultivo a condiciones normales, que le permite hidratarse con facilidad, lo contrario ocurrió en la época lluviosa al llegar el θ del suelo a 53% todos los tratamientos disminuyeron la g_s esta respuesta estaría asociada a lo reportado por García, Syvertsen, Gimeno, Botía, & Perez, (2007), quienes al someter dos patrones de cítricos a inundación notaron que 9 días después de inundar los tratamientos, el g_s disminuyó progresivamente. El aumento de g_s (Figura 18 B) con un θ de 50% en todos los tratamientos en la época lluviosa, se explicaría como una respuesta del limón a condiciones de exceso de agua, pues el incremento de la regulación estomática podría mejorar el equilibrio hídrico de la especie, bajo condiciones de inundación, como mecanismo de adaptación para prevenir la deshidratación de las hojas (Domingo, Pérez, & Ruiz, 2002). Entonces la disminución de g_s en condiciones de época lluviosa estaría relacionada a una disminución de O₂ en la zona de raíces (M. F. Ortuño, Alarcón, Nicolás, & Torrecillas, 2007).

Fluorescencia:

La disminución de F_v/F_m en el tratamiento $0,3 ET_0$ con un teta acumulado de 29,17%, (Figura 19 A) estaría ocasionando alteraciones en la fluorescencia de clorofila, producto de la falta de agua, esto coincide con lo que reporta D. Santos et al., (2019), en un estudio sobre respuestas fisiológicas en cítricos sometidos a sequía, notaron que el déficit de agua en el suelo causó alteraciones en la fluorescencia de la clorofila, señalando la reducción del flujo de electrones fotosintéticos.

Sin embargo, una disminución notoria en la relación F_v/F_m dada por el tratamiento $0,9 ET_0$ con un θ de 45,98% (Figura 19 B) en condiciones de época lluviosa, permite deducir que a pesar de disponer de agua en el suelo, el cultivo evita tomarlo, provocando un estrés por exceso de humedad, tal como lo describe García, Syvertsen, Gimeno, Botía, & Perez, (2007) en dos patrones de cítricos, ellos observaron reducción de la eficiencia cuántica en aquellos tratamientos inundados.

Para especies se ha reportado valores de 0,832 como un indicador de que las plantas está en condiciones normales (Bleda et al., 2001).

2.7. Conclusiones

Los tratamientos $0,3 ET_0$ y $0,9 ET_0$ indujeron disminución en el proceso de intercambio gaseoso, las humedades promedio de estas láminas estuvieron en 29,17% y 39,42%, afectando directamente en la tasa de asimilación de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática.

El déficit parcial de agua del suelo (34%), obtenido por medio de la lámina $0,5 ET_0$ causó alteraciones significativas en la relación C_a/C_i en limón, razón por la que se puede deducir que este déficit parcial en limón sería una opción para el productor limonero.

La respuesta fisiológica a las restricciones hídricas se produjo por medio de los cambios frecuentes del potencial hídrico del árbol, esto permite concluir que este cultivo responde

a condiciones estresantes ajustando sus potenciales hídricos, con el fin de evitar perder agua y/o evitar asfixia radical producto de un déficit o exceso de humedad en el suelo.

Un aumento en la relación C_i/C_a en el tratamiento 0,5 ET₀, lleva a concluir que esta lámina fue más eficiente en el almacenamiento CO₂, pues este mismo tratamiento resultó ser más eficiente en el uso del agua, y obtuvo mayores crecimientos de fruto como ya se vio con anterioridad.

2.8 Bibliografía

- Agusti, M. (2010). *Fruticultura* (Mundi-Pren). Madrid-Barcelona-México.
- Arbona, V., Manzi, M., De Ollas, C., & Gómez, A. (2013). Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(3), 4885–4911. <https://doi.org/10.3390/ijms14034885>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (I Edicions). Barcelona.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.011>
- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2013). Response of Navel Lane Late citrus trees to regulated deficit irrigation: Yield components and fruit composition. *Irrigation Science*, 31(3), 333–341. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0311-3>
- Begg, J., & Turner, N. (1976). Crop Water Deficits. In Advances in agronomy. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 28, pp. 161–217). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bleda, F. ., Madrid, R., García, A., Gómez, P., & Porras, I. (2001). Fluorescencia de clorofila in vivo en patrones de cítricos y sus combinaciones bajo condiciones de estrés salino. *ITEA. Producción vegetal*, 97(1), 52–59.
- Blum, A. (2009). Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112(2–3), 119–123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.009>
- Bogeat-Triboulot, M. B., Buré, C., Gerardin, T., Chuste, P. A., Le Thiec, D., Hummel, I., Brendel, O. (2019). Additive effects of high growth rate and low transpiration rate drive differences in whole plant transpiration efficiency among black poplar genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 166(May). <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.021>

- Brakke, M., & Allen, L. H. (1995). Gas exchange of Citrus seedlings at different temperatures, vapor-pressure deficits, and soil water contents. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(3), 497–504. <https://doi.org/10.21273/jashs.120.3.497>
- Catalogue of Life: 2019 Annual Checklist. (2019).
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(SPEC. ISS.), 907–916. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>
- Cohen, S., & Cohen, Y. (1983). Field Studies of Leaf Conductance Response to Environmental Variables in Citrus. *Applied Ecology*, 20(2), 561–570.
- Correa, D., Vélez-Sánchez, J., & Orduz, J. (2013). Efecto del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de frutos de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte del Meta, Colombia. En *Acta Agronomica* (Vol. 62, pp. 136–147). <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200007>
- Da Cruz, M., Rocha, R., De Siqueira, D., & L, C. (2007). Avaliação do potencial hídrico foliar, umidade do solo e temperatura do ar no período pré- florescimento dos citros. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(5), 1291–1296. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000500003>
- Da Silva, C., Folegatti, M., Araújo, T., Alves, J., Fonseca, C., & Vasconcel, R. (2005). Water relations and photosynthesis as criteria for adequate irrigation management in “Tahiti” lime trees. *Scientia Agricola*, 62(5), 415–422. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500001>
- Domingo, R., Pérez, A., & Ruiz, M. (2002). Physiological responses of apricot plants grafted on two different rootstocks to flooding conditions. *Journal of Plant Physiology*, 159(7), 725–732. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0670>
- Evans, J., Susanne, C., Setchell, B., & Graham, H. (1994). The relationship between CO₂ transfer conductance and leaf anatomy in transgenic tobacco with a reduced content of Rubisco. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21(4), 475–495. <https://doi.org/10.1071/PP9940475>
- FAO. (2015). Estudio FAO Riego y Drenaje. En *Pesquisa Agropecuaria Tropical* (Vol. 45, pp. 46–55).
- Farquhar, G. D., Ehleringer, J. R., & Hubick, K. T. (1989). Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40(1), 503–537. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.40.060189.002443>
- Flexas, J., Escalona, J. M., Evain, S., Gulías, J., Moya, I., Osmond, C. B., & Medrano, H. (2002). Steady-state chlorophyll fluorescence (Fs) measurements as a tool to follow variations of net CO₂ assimilation and stomatal conductance during water-stress in C₃ plants. *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP*, (527), 26–29.
- García, F., Syvertsen, J., Gimeno, V., Botía, P., & Perez, J. (2007). Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use

- efficiency. *Physiologia Plantarum*, 130(4), 532–542. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00925.x>
- González-Altozano, P., & Castel, J. R. (2003). Regulated deficit irrigation in “Clementina de Nules” citrus tree, 1. Yield and fruit quality effects during four years. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(2), 81. <https://doi.org/10.5424/sjar/2003012-24>
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P. J., & Fereres, E. (2014). Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198–199, 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.08.003>
- Guillén, V. (2014). Metodología De Evaluación De Confort Termico Exterior Para Diferentes Pisos Climáticos En Ecuador. En *Congreso Nacional del Medio Ambiente* (pp. 1–13).
- Hu, L. M., Xia, R. X., Xiao, Z. Y., Huang, R. H., Tan, M. L., Wang, M. Y., & Wu, Q. S. (2007). Reduced leaf photosynthesis at midday in citrus leaves growing under field or greenhouse conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(3), 387–392. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512248>
- Jifon, J. L., & Syvertsen, J. P. (2003). Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. *Tree Physiology*, 23(2), 119–127. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.2.119>
- Junior, C., Marcos, F., Fábio, R., & Roberto, A. (2009). Coeficiente de cultura da Lima-ácida Tahíti no outono-inverno determinado por lisimetria de pesagem em piracicaba-sp Cícero. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 28, 691–698.
- Liao, C. T., & Lin, C. H. (2001). Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. *Proceedings of the National Science Council, Republic of China. Part B, Life sciences*, 25(3), 148–157.
- Liu, B., Liang, J., Tang, G., Wang, X., Liu, F., & Zhao, D. (2019). Drought stress affects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of Juglans rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 250(February), 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.056>
- Maxwell, K., & Giles, J. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(2), 659–668. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.02.001>
- Mejía, M., Burbano, R., García, M., & Baena, D. (2014). Respuesta fotosintética de *Eucalyptus grandis* W . Hill a la disponibilidad de agua en el suelo y a la intensidad de luz. *Acta Agronomica*, 63, 311–317.
- Nayyar, H., & Gupta, D. (2006). Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58(1–3), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.021>
- Orozco, A. J., & Ayala, C. C. (2012). Efecto Del Cambio Climático Sobre La Fisiología De Las Plantas Cultivadas: Una Revisión Effect of Climate Change on the Physiology of Crop Plants: a Review. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1),

- 63–76.
- Ortuño, M., Alarcón, J. J., Nicolás, E., & Torrecillas, A. (2005). Sap flow and trunk diameter fluctuations of young lemon trees under water stress and rewatering. *Environmental and Experimental Botany*, 54(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.06.009>
- Ortuño, M. F., Alarcón, J. J., Nicolás, E., & Torrecillas, A. (2007). Water status indicators of lemon trees in response to flooding and recovery. *Biologia Plantarum*, 51(2), 292–296. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0058-0>
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., & Tran, L. S. P. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*, 5(MAR), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
- Parry, M., Rosenzweig, C., & Livermore, M. (2005). Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2125–2138. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1751>
- Pérez, J., Robles, J., Tovar, J., & Botía, P. (2009). Response to drought and salt stress of lemon “Fino 49” under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. *Scientia Horticulturae*, 122(1), 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.04.009>
- Pessaraki, M., & Dekker, M. (1999). Handbook of Plant and Second Edition, Revised and Expanded (pp. 545–550).
- Reed, H., & Hirano, E. (1931). The density of stomata in citrus leaves[^], 43(3), 209–222.
- Ribeiro, R. V., Machado, E. C., & Oliveira, R. F. de. (2006). Temperature response of photosynthesis and its interaction with light intensity in sweet orange leaf discs under non-photorespiratory condition. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(4), 670–678. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542006000400012>
- Ríos, L., Correa, F., Rojas, C., & Dorado, D. (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), 569–591. https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num3_art:862
- Rocuzzo, G., Villalobos, F. J., Testi, L., & Fereres, E. (2014). Effects of water deficits on whole tree water use efficiency of orange. *Agricultural Water Management*, 140, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.019>
- Rodríguez-Gamir, J., Intrigliolo, D. S., Primo-Millo, E., & Forner-Giner, M. A. (2010). Relationships between xylem anatomy, root hydraulic conductivity, leaf/root ratio and transpiration in citrus trees on different rootstocks. *Physiologia Plantarum*, 139(2), 159–169. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2010.01351.x>
- Romero, P., Navarro, J. M., Pérez-Pérez, J., García-Sánchez, F., Gómez-Gómez, A., Porrás, I., ... Botía, P. (2006). Deficit irrigation and rootstock: Their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral nutrition of *Clemenules* mandarin. *Tree Physiology*, 26(12), 1537–1548. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.12.1537>

- Santos, D., De Almeida, A., Pirovani, C., Cardoso, M., Da Conceição, A., Soares, W., ... Gesteira, A. (2019). Physiological, biochemical and molecular responses to drought conditions in field-grown grafted and ungrafted citrus plants. *Environmental and Experimental Botany*, 162(December 2018), 406–420. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.018>
- Santos, M. R. dos, Martinez, M. A., & Donato, S. L. R. (2013). Gas exchanges of 'Tommy Atkins' mango trees under different irrigation treatments = Trocas gasosas da mangueira 'tommy atkins' sob diferentes regimes de irrigação. *Bioscience Journal*, 29(5), 1141–1153.
- SAS User's Guide, version 9.4. Cary, U. (2004). Statistical Analysis System. SAS.
- Sawicki, M., Barka, E., Clément, C., Vaillant-Gaveau, N., & Jacquard, C. (2015). Cross-talk between environmental stresses and plant metabolism during reproductive organ abscission. *Journal of Experimental Botany*, 66(7), 1707–1719. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru533>
- Silva, C. R. (2005). Evapotranspiração e desenvolvimento de limeira ácida Tahiti na ausência e presença de estresse hídrico, 85.
- Sinclair, T., Tanner, C., & Bennett, J. (1984). Water-Use Efficiency in Crop Production. *BioScience*, 34(1), 36–40. <https://doi.org/10.2307/1309424>
- Syvertsen, J., & Albrigo, L. (1980). Seasonal and Diurnal Citrus Leaf and Fruit Water Relations. *Botanical Gazette*, 141(4), 440–446. <https://doi.org/10.1086/337180>
- Syvertsen, J. P., Goñi, C., & Otero, A. (2003). Fruit load and canopy shading affect leaf characteristics and net gas exchange of "Spring" navel orange trees. *Tree Physiology*, 23(13), 899–906. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.13.899>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (3rd.ed).
- Tholen, D., & Zhu, X. G. (2011). The mechanistic basis of internal conductance: A theoretical analysis of mesophyll cell photosynthesis and CO₂ diffusion. *Plant Physiology*, 156(1), 90–105. <https://doi.org/10.1104/pp.111.172346>
- Vélez, J., Álvarez, J., & Alvarado, O. (2012). El Estrés Hídrico en Cítricos (Citrus spp .): Una revisión., 16(2), 32–39.
- Warren, C., & Adams, M. (2004). Evergreen trees do not maximize instantaneous photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 9(6), 270–274. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.04.004>
- William R, C. (2007). *Global Warming and Agriculture*. Washington.
- Yoseph Levy, J., & Syvertsen, P. (1983). Effect of drought stress and vesicular-arbuscular mycorrhiza on citrus transpiration and hydraulic conductivity of roots. *New Phytologist*, 93, 61–66.

3. Capítulo 3. Rendimiento y calidad de la fruta.

3.1. Resumen:

El estudio se llevó a cabo en una finca comercial “San Nicolás” de 15 años, árboles de limón sutil limón sutil [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle] injertados sobre patrón Cleopatra, sembrados a un distanciamiento de plantación de 6 x 6 m. La temperatura promedio fue de 26,8°C., con humedad relativa de 74,81% en época seca 82,48% en época lluviosa. Las horas luz reportadas para época seca fueron de 627,2 y en época lluviosa 452,3. Un Diseño de Bloques Completo al Azar (BCA) con 5 tratamientos incluido el control y 6 repeticiones, los tratamientos en estudio fueron: 0,3; 0,5; 0,7; y 0,9 ET₀, regados de acuerdo a la ET₀ calculada para el cultivo, y regado mediante el método del balance hídrico. Por medio de gravimetría se monitoreó la humedad del suelo (θ) hasta alcanzar un nivel de agotamiento permitido para cada tratamiento.

Mayores rendimientos, se obtuvieron con la lámina 0,5 ET₀ que acumuló un θ de 34%, así mismo mayores pesos de fruta, pulpa, cáscara y contenido de jugo se dieron, con este tratamiento a diferencia ($P < 0.05$) de las láminas 0,3 y 0,9 ET₀ que presentaron los rendimientos más bajos, es importante destacar, que en condiciones de época lluviosa menores fueron los rendimientos, sin embargo, mayores pesos de fruto en los tratamientos 0,3 ET₀ y control. Mayor acumulación de grados brix se acumularon en las frutas de la época seca, siendo el tratamiento 0,5 ET₀ quien obtuvo mayores valores de SST, en comparación al resto de tratamientos, a pesar tener 2 puntos porcentuales menos a CC(36%), y su rendimiento también fue satisfactorio pese a ser menor a CC, entonces, el mayor contenido de SST en esta lámina, sería una estrategia de estos árboles que acumularon carbohidratos como mecanismo de protección frente a un estrés hídrico moderado. Por consiguiente, esta lámina de riego sería la más apropiada para el sitio Maconta, pues se mejoraría rendimiento y peso de fruta.

Palabras claves: Producción, rendimiento, peso fruta, peso pulpa, peso cáscara, grados brix.

3.2. Introducción

Los cítricos son uno de los cultivos de mayor importancia económica en la producción frutal, están distribuidos en áreas tropicales a subtropicales, así como también, en regiones áridas y semiáridas con adecuado riego (Pessarakli & Dekker, 1999). La producción mundial de cítricos es superior a los 100 millones de toneladas anuales; resultado de ello, se ha considerado uno de los frutales más cultivados en el mundo (Orduz-Rodríguez & Fischer, 2007). Dentro de las regiones tropicales se encuentran ubicados desde los 23,5^o de latitud norte y sur, se cultivan desde 0 a 2.000 msnm. De acuerdo a esta altitud, las regiones cítricas tropicales se clasifican en: trópico alto (1.500 a 2.000 msnm), medio (800 a 1.500 msnm) y bajo (0 a 700 msnm) (Orduz-Rodríguez, Castiblanco G., Calderón, & Velásquez R., 2012). Sin embargo, a menudo, no se pueden satisfacer las necesidades de agua, y por lo tanto, se están imponiendo estrategias de riego deficitario a medida que los recursos hídricos se vuelven más limitados (Gonzalez-Dugo, Zarco-Tejada, & Fereres, 2014).

Algunos autores han recomendado el riego deficitario como estrategia para aumentar rendimiento y calidad de la fruta, y esto va a depender de la sensibilidad en ciertos periodos críticos del cultivo (García et al., 2007) (Gonzalez-Dugo et al., 2013). Entonces, bajo este criterio, se puede deducir que el riego deficitario como herramienta de manejo, sería la reducción de aportes de agua en distintas fases del cultivo, siempre y cuando no se afecte rendimiento y calidad de la fruta (Molina-Ochoa, Vélez-Sánchez, & Rodríguez, 2016). Por lo tanto, para suspender riego al cultivo, como estrategia de producción, resulta imprescindible conocer la dinámica de crecimiento del fruto. El limonero tiene un crecimiento doble sigmoideo, donde se ven tres fases definidas: 1) División celular; 2) crecimiento celular; y 3) aumento de azúcares y compuestos aromáticos con cambios de color y disminución de ácidos orgánicos (Manuel Agustí, 2012). En condiciones tropicales, uno de los inductores de la floración en cítricos, es el estrés hídrico, esta técnica permite regular la época, intensidad y la distribución de la floración (Correa et al., 2013). Las restricciones hídricas del cultivo podrían incrementar la productividad del agua de riego, métodos

para manejar el agua, podrían causar diferentes efectos, alterando el potencial de desarrollo de la planta, por la disminución de la tasa fotosintética (García-Tejero et al., 2010), También las restricciones hídricas podrían repercutir negativamente en el desarrollo y producción del cultivo. Los mayores rendimientos podrían obtenerse cuando el riego deficitario controlado se realice en aquellas plantaciones con mayor densidad, esta eventualidad lleva a deducir que el riego deficitario funcionará mejor con el crecimiento radical limitado (Vélez, Álvarez, & Alvarado, 2012). Cabe indicar que de forma general una planta es capaz de reprimir respuestas de crecimiento (aun a pesar de que el período de desarrollo ya inicio), de esta forma comienza a emitir respuestas de protección para defenderse en caso de que susciten problemas desfavorables para asegurar la supervivencia del cultivo.

La aplicabilidad en los cultivos dependerá de la especie, el tiempo de duración del estrés (Ginestar & Castel, 1996). Los cítricos tienen la capacidad de acelerar el crecimiento después de un período de déficit de agua, para alcanzar su tamaño potencial. Esta capacidad, es conocido como “crecimiento compensatorio” (Ballester, Castel, Intrigliolo, & Castel, 2011b). La respuesta de esta técnica, depende del genotipo la duración e intensidad y la etapa fenológica del cultivo (Iván, Durán-Zuazo, Javier, & Muriel-Fernández, 2012), así como también de las humedades relativas y altas temperaturas que repercuten de forma negativa en el crecimiento de las plantas, estos daños agrícolas se convierten en un problema mundial (Zaher-Ara, Boroomand, & Sadat-Hosseini, 2016).

Con los antecedentes antes descritos, este trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar distintas láminas de riego, en el cultivo de limón sutil, dada la importancia económica para la provincia de Manabí, cabe recalcar que la información es muy limitada en cuanto a limón sutil, por ende un desconocimiento en cuanto a la tolerancia de este cultivo a técnicas de manejo de riego, lo que se conoce es que el patrón para cítricos dentro de la provincia es Cleopatra y dentro de sus características se encuentra la tolerancia a sequía, mas no al anegamiento. En función a ello se evaluó 5 tratamientos de riego calculados de acuerdo con la demanda atmosférica del cultivo, a estos se les evaluó rendimiento y parámetros de calidad de fruta, a fin de conocer la eficiencia de estos tratamientos aplicados al suelo y su repercusión en el comportamiento de la planta.

3.3. Materiales y Metodología

3.3.1. Localización del sitio de ensayo

La investigación se llevó a cabo en huerto comercial que tiene como nombre “San Nicolás” y está ubicado en el sitio Maconta (geográficamente situada a 10°08'28.5" de latitud Sur y 80°04'05.2" de latitud Oeste, altitud de 40 msnm), en la parroquia Colón del cantón Portoviejo, provincia de Manabí a 1½ km de la vía Portoviejo-Los Ángeles. Las evaluaciones se realizaron en épocas contrastantes una seca (julio-noviembre) y otra lluviosa (diciembre-mayo). Un diseño de bloques completo al azar (BCA) con 5 tratamientos incluido el control y 6 repeticiones, para un total de 30 unidades experimentales. En este experimento se utilizaron árboles de limón sutil (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) (“Catalogue of Life: 2019”) de 15 años de edad, injertados sobre patrón *Cleopatra*. Las plantas sembradas a un distanciamiento de plantación de 6 x 6m en condiciones de campo abierto. La temperatura registrada durante el periodo de evaluación osciló entre 31,5 máx., 22 min y promedio 26,8°C. La humedad relativa en la época seca de 74,81% y en época lluviosa 82,48%. Los tratamientos se determinaron en función a la demanda atmosférica del cultivo, considerando como criterio para el cálculo de ET_c , la recomendación del Boletín 56 de FAO (2015), quienes recomiendan un K_c para cítricos que va de 0,80 en los meses de época seca y 0,65 en los meses lluviosos, entonces los tratamientos se establecieron como se muestra en la Tabla (8).

Tabla 8. Selección de los tratamientos

Tratamientos (T)	Evapotranspiración de referencia (ET_0)
1	0,3
2	0,5
3	0,7
4	0,9
5	Control

Cálculo de láminas de riego: El manejo del riego, el cálculo de las láminas con sus respectivas ecuaciones, se explicaron de forma detallada en el apartado del capítulo 1 de Fenología reproductiva en las páginas 15, 16, 17, 18 y 19, donde se detallada explícitamente la metodología del riego, para facilitar la revisión de la investigación.

Rendimiento del cultivo: El rendimiento del cultivo expresado en Kg/ha, se obtuvo mediante el peso total de la fruta, proveniente de la cosecha obtenida en dos épocas tanto seca y lluviosa. Los frutos se colectaron de acuerdo al criterio de cosecha del productor, obedeciendo a parámetros estándar como tamaño y color, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana INEN, (2016), las colectas fueron observadas de manera visual y el rendimiento de cada árbol determinado como Kg totales (Kg/árbol) calculado en todos los árboles del sitio experimental finalmente llevados a ha, el rendimiento se expresó en Kg.

Peso de la fruta:

De seis árboles se seleccionó un total de 20 frutos/árbol, generando 120 frutas por tratamiento, una vez cosechados se trasladaron al laboratorio de Botánica y Fisiología Vegetal de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, las frutas se pesaron en una balanza de precisión (TRAVELER) y el peso se expresó en gramos (g).

Calibres y firmeza de frutos (transversal y longitudinal)

Con un calibrador digital (precisión de ± 0.01 mm), se determinaron los diámetros polar y ecuatorial; tomando dos puntos para la medición; la firmeza con la ayuda de un penetrómetro (FRUIT HARDNESS TESTER), por medio de un método no destructivo, se retiró la piel de la fruta para colocar el equipo para las lecturas, los valores expresados en libras o kilogramos (1 kg. = 1 lb x 2,2).

Peso del fruto, cáscara y volumen del jugo

El peso de fruto y cáscara se determinó con una balanza de precisión, se extrajo el zumo con ayuda de un extractor, y se midió el volumen en una probeta de 100 ml.

Características químicas del fruto:

Contenido de sólidos solubles (Grados Brix) del zumo de limón: Los Sólidos Solubles Totales (SST), expresado como $^{\circ}$ Brix, se midieron por medio de una de una probeta colocando 0.5 ml en el refractómetro digital Mod.

Acidez titulable: La acidez titulable (AT), fue calculada siguiendo este protocolo:

Se colocó muestras de 5 ml de zumo de limón, en una bureta de 25 ml, poniendo una o dos gotas de fenolftaleína y para neutralizar la acidez del zumo, se filtró con hidróxido sódico (NaOH) al 0.1 N hasta llegar a un pH final de 7. Utilizando esta fórmula para determinar ácido cítrico:

$$\text{Ácido cítrico \%} = \frac{V \times N \times \text{Meq}}{\text{Alícuota valorada}} \times 100$$

Dónde:

V = Volumen de hidróxido sódico (NaOH) gastado (ml).

N = Normalidad del hidróxido sódico (NaOH).

Meq = Mili equivalente del ácido de la muestra (0.064 en cítricos).

Alícuota valorada= volumen de muestra en ml.

Estas variables fueron analizadas tanto en la cosecha de época seca como lluviosa. Un total de 120 frutos fueron analizado por cada tratamiento.

Análisis estadístico:

Para el análisis de respuesta se emplearon ANDEVA, desviación estándar, regresiones y correlaciones, y pruebas de media Waller-Duncan ($P < 0.05$), a través del programa estadístico SAS (Statistical Analysis System (SAS User's Guide, version 9.4. Cary, 2004).

3.4. Resultados y Discusión:

Balance hídrico: La aplicación de tratamientos de riego para la condición de época seca, se llevó a cabo desde el 20 de julio del 2018, hasta el 20 de diciembre del mismo año. En condiciones de época seca son los tratamientos con láminas 0,3; 0,5 y 0,9 ET₀ quienes difieren estadísticamente ($P < 0.05$), estos tratamientos alcanzaron humedades en el suelo (θ) que van de 29,17%, 34% y 39,42%. En la época lluviosa únicamente es el tratamiento 0,9 ET₀ que alcanzó un θ de 45,98% diferente al resto de los tratamientos ($P < 0.05$).

Tabla 9. Niveles de humedad de acuerdo a los distintos Kc en el cultivo de limón sutil.

Tratamientos	Epoca seca	Epoca lluviosa
	Humedad del suelo % (θ)	Humedad del suelo % (θ)
0,3 ET ₀	29.17 a	39.15 a
0,5 ET ₀	34.00 b	39.77 a
0,7 ET ₀	37.70 c	41.28 a
0,9 ET ₀	39.42 c	45.98 b
Control	35.30 b	39.95 a

Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren de forma significativa, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).

El tratamiento 0,5 ET₀ obtuvo los mejores rendimientos y el θ del suelo fue 2 puntos porcentuales menor a CC(36%), estos datos son similares a lo que reporta Ballester, Castel, Intrigliolo, & Castel, (2013), quien manifiesta que con un 50% de ET₀, favorecen rendimiento, a más de economizar agua, por otra parte, en lima Tahití con una reposición de ET_c al 100%, favorecieron rendimiento e incrementaron peso promedio de la fruta (Braz, Ramos, Soares, Júnior, & De, 2009); entonces, se podría

deducir que limón llegaría a soportar niveles de humedad aún más bajos a CC, sin embargo con mayores θ en el suelo, el rendimiento disminuye significativamente, un estudio en árboles de lima Tahití donde determinaron K_c , encontraron que en condiciones de invierno el K_c se ubicó entre 0,55 a 0,66 y en invierno de 1,1 a 1,2, deducen que estos K_c son dependientes de cada condición climática (Alves et al., 2007).

Rendimiento:

Con los resultados obtenidos, se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, siendo el rendimiento, con el $0,5 ET_0$, mayor con respecto a las demás láminas de riego, los bajos rendimientos resultaron con el tratamiento $0,3 ET_0$ (Figura 20), esta última acumuló un θ de 29,17% que resulta ser menor a CC(36%) para suelos de Maconta.

Algo importante a transcribir, son los resultados de rendimiento proveniente de las dos épocas, que difirieron estadísticamente ($P < 0.05$) entre ellas, pues aquellas frutas provenientes de época lluviosa resultaron ser bajos (Figura 20) de manera especial en el tratamiento $0,9 ET_0$.

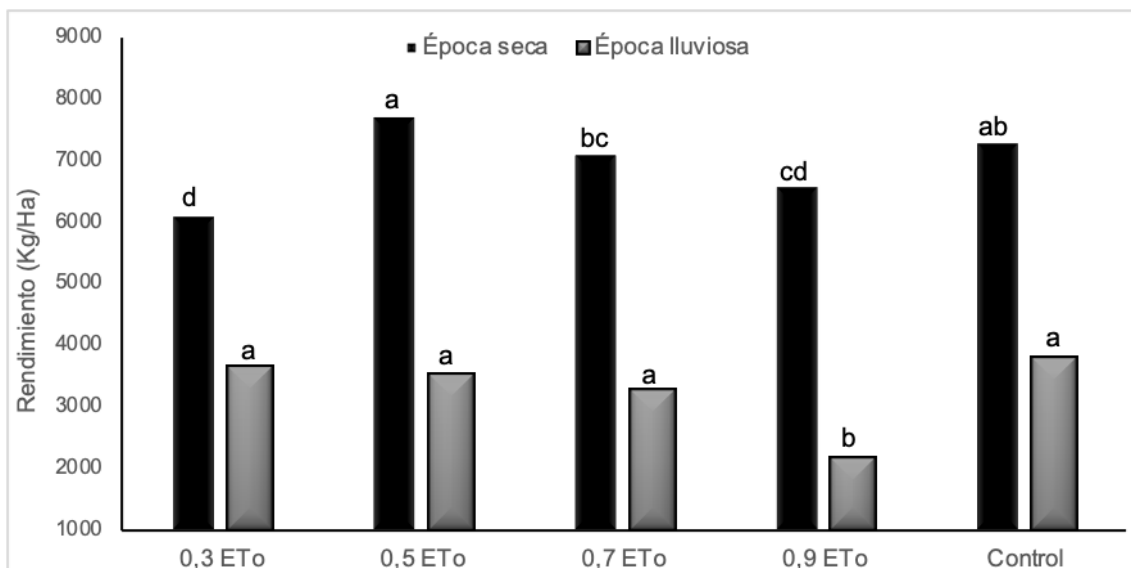


Figura 20. Rendimiento del limón sutil sometido a distintos niveles de humedad en el suelo en dos épocas seca y lluviosa, de acuerdo con prueba de Duncan ($P < 0.05$).

Mayores rendimientos obtenidos con el tratamiento 0,5 ET₀ alcanzaron 7736,11 Kg/ha, mientras que en el tratamiento 0,3 ET₀ llegó a 6116,67 Kg/ha, siendo el rendimiento más bajo en la época seca, a pesar de ello, este tratamiento no se compara con los rendimientos obtenidos en la época lluviosa, pues la lámina con un 0,9 ET₀ obtuvo rendimientos que alcanzaron 2166,21 Kg/ha, una diferencia muy marcada; es imprescindible señalar que a este tratamiento lo separa una diferencia en θ de 9,98% más, comparada a la CC (36%). Entonces, los niveles de humedad mayores a CC (36%) influyen directamente en una disminución en el rendimiento del limón, al parecer una disminución en la oxigenación de las raíces provocaría un cierre estomático, limitando crecimiento afectando directamente rendimiento, así por ejemplo período prolongado de estrés afectaría el crecimiento de cultivos, repercutiendo en la producción y calidad de fruta (Vázquez, Dell Amico, Pérez, & Betancourt, 2018).

Los mayores rendimientos obtenidos con 0,5 ET₀ (Figura 20), a pesar de ser 2 puntos porcentuales menor a CC (36%), lleva a concluir, que el limón respondió favorablemente a condiciones bajas de θ , esto coincide con lo que se reporta para mandarina Kinnow, ellos encontraron que un riego con una ET_c de 50% se convertiría en la mejor opción en el Norte de India, donde el agua es escasa, y, sugieren que podría convertirse en un indicador en sitios con similares condiciones agroclimáticas (Panigrahi, Sharma, Hasan, & Parihar, 2014), al igual que en naranja Navel Late sometida a un déficit hídrico de 50% ET_c, se observó que no perjudicó significativamente el rendimiento, y resulta ser una estrategia en huertos comerciales con escasez de agua (Ballester, Castel, Intrigliolo, & Castel, 2013), este mismo autor encontró que regadíos que van en un 30-40% de ET_c resultan ser perjudiciales para el rendimiento del cultivo, esto último permite comparar el resultado con 0,3 ET₀, donde el rendimiento se vio afectado (Figura 20).

La respuesta evidente de los árboles de limón con respecto a los niveles de humedad, se podría explicar, en aquellos tratamientos que acumularon un mayor θ en el suelo (39,47%) y menor θ en el suelo (29,17%) en relación a los demás tratamientos, pues para ambos casos hay disminución del rendimiento, sin embargo, en la época seca se nota más sensible el tratamiento 0,3 ET₀ que el 0,9 ET₀, lo propio describe Lima, Martins, & Coelho, (2015), ellos encontraron que producciones bajas en naranja resultó ser en aquellos tratamientos donde el suministro de agua era insuficiente. Mientras que en condiciones de época lluviosa los rendimientos son muy bajos, este

es un problema general para el agricultor durante los meses lluviosos su producción es limitada.

Finalmente el rendimiento para limón sutil, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos Ecuador INEC (2018), alcanza los 24.144 t a nivel nacional, de acuerdo a estas cifras, es la provincia de Manabí donde se concentra la mayor producción con 10.194 t por hectárea. En la investigación se encontró un rendimiento promedio de 10.260,5 t, sin embargo, con el tratamiento 0,5 ET₀ se logró rendimientos de 11256,94 t/ha, una diferencia de 996,44 t más con esta lámina que acumuló un θ de 34%, cifras que son mayores a lo que reporta INEC, entonces, esta lámina de riego sería una alternativa para el sitio Maconta en Portoviejo, pues con este tratamiento se podría incrementar producción, economizando agua.

Peso fruta, cáscara y pulpa:

El peso de la fruta, pulpa y cáscara (g) se evaluó en dos épocas: seca y lluviosa, resultando el tratamiento 0,5 ET₀ estadísticamente significativo ($P < 0.05$) en relación con los demás tratamientos, sus pesos alcanzaron 51.02 g, esta misma lámina acumuló mayor peso de pulpa y cáscara; los pesos más bajos se reportaron con el tratamiento 0,7 ET₀, este mismo recomendado por FAO, no funcionó para el sitio Maconta, quizás los intervalos de riego prolongado en esta lámina y en la 0,9 ET₀ redujeron crecimiento de brotes secundarios y un menor tamaño de frutos (Hutton, Landsberg, & Sutton, 2007). Por otro lado, se ha visto que en naranja Navel, tratamientos con déficit hídrico no se vieron afectados por las restricciones hídricas, por lo que los autores concluyen que es dependiente del grado de resistencia del cultivo (Treeby, Henriod, Bevington, Milne, & Storey, 2007).

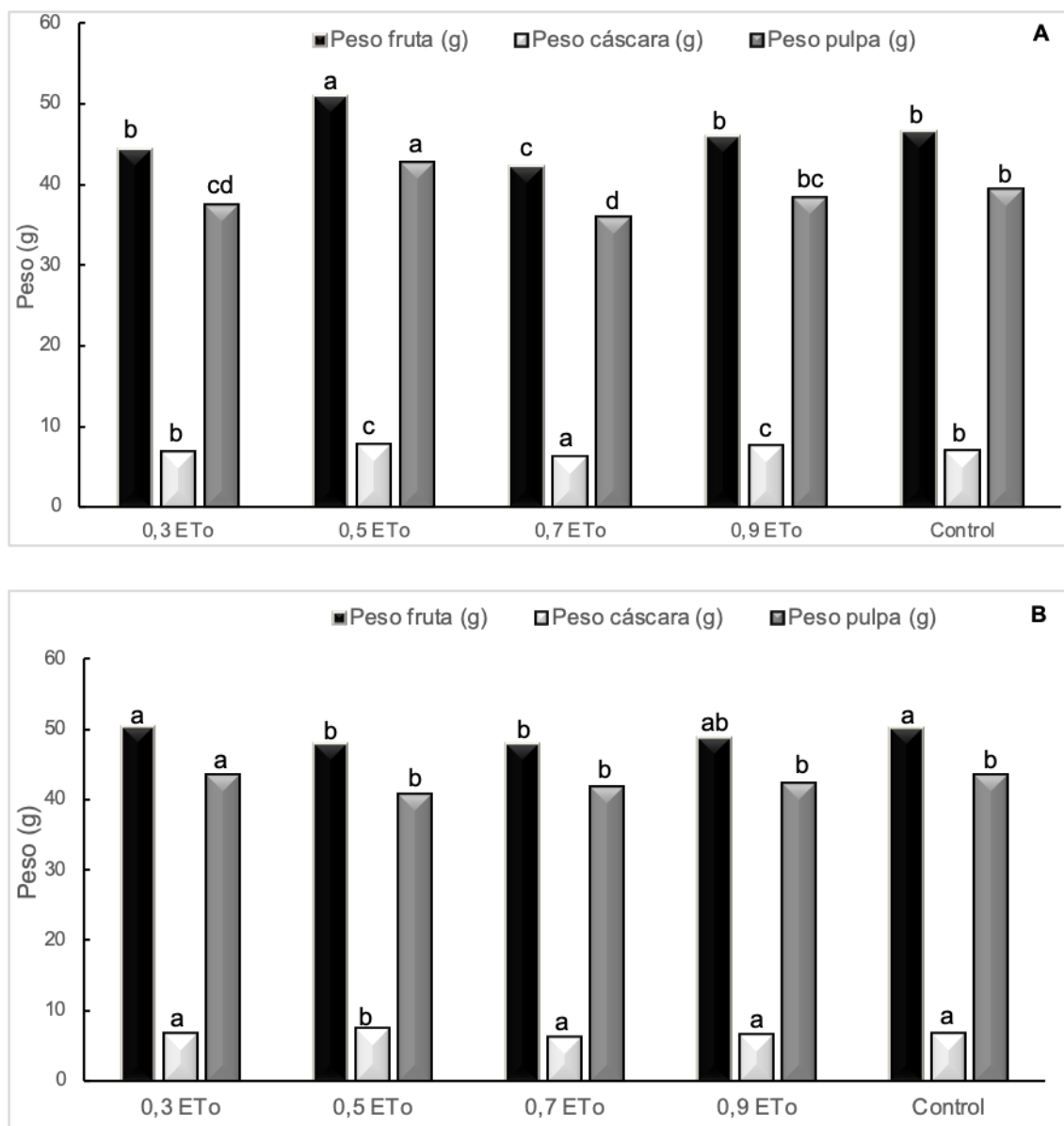


Figura 21. Peso de fruta, cáscara y pulpa, determinada en la época seca (A) y lluviosa (B), de acuerdo con prueba de Duncan ($P < 0.05$).

En la época lluviosa mayor peso de fruta y pulpa se presentó en los tratamientos 0,3 ET₀ y control, menor peso de cáscara con el tratamiento 0,5 ET₀, el comportamiento de la lámina 0,3 ET₀ que alcanzó un θ de 39,15% (Figura 21 B) dio como resultado frutos de mayor tamaño durante esta época, cabe recordar que en la época seca este tratamiento obtuvo valores más bajos en peso, además que su θ fue de 29,17%, entonces, se podría concluir que estos árboles se recuperaron tras estar sometidos a restricciones hídricas. El incremento del crecimiento de fruto tras estar sometido a restricciones de agua, se conoce como crecimiento compensatorio, que estaría

asociado, a más del θ , a la carga frutal y a la tasa neta de asimilación de la fotosíntesis (Perez-Perez, Romero, Navarro, & Botia, 2009).

Peso pulpa y contenido de jugo:

Mayor peso de pulpa acumularon las frutas provenientes de la época lluviosa a diferencia de las provenientes de época seca (Figura 22). En condiciones de época seca, es el θ de 34%, 2 puntos porcentuales menos a CC(36%) alcanzado en el tratamiento 0,5 ET₀, quienes obtuvieron mayor peso de pulpa y contenido de jugo (Figura 22 A) y disminuye cuando el θ alcanza 37,70% , en la época lluviosa el peso de pulpa y contenido de jugo es mayor cuando el θ alcanza 39,95%. Sin embargo, es importante destacar que el comportamiento del contenido de jugo y peso de pulpa no es tan variante, esto se asociaría a que todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de agua, producto de la precipitación en el sitio de estudio.

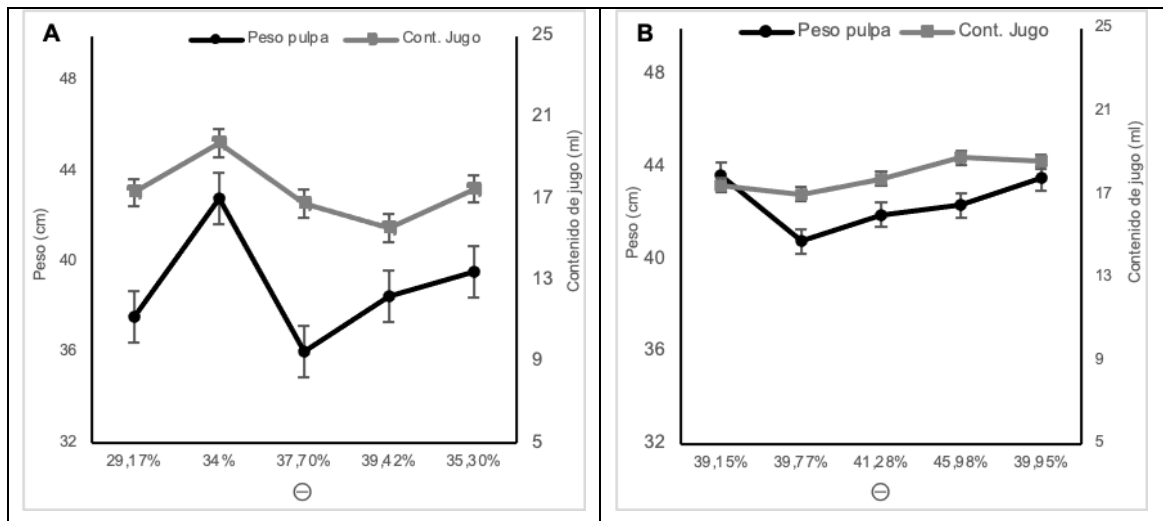


Figura 22 A) Peso de pulpa y contenido de jugo en condiciones de época seca y B) Peso de pulpa (A) y contenido de jugo (B) en época lluviosa, sometido a distintos niveles de humedad en el suelo, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).

Mayor contenido de jugo con el θ de 34%, promedio que acumuló el tratamiento con lámina de 0,5 ET₀, este mismo presentó mayor peso de pulpa y fruta, sin embargo estas frutas obtuvieron mayor peso de cascara, el comportamiento de esta fruta sería explicado por el peso total de la misma, es decir peso de pulpa más cascara, mientras que el tratamiento 0,3 ET₀ y 0,9 ET₀ presentaron menos contenido de jugo (Figura 22 A) y mayor peso de cáscara y pulpa (Figura 21 A), estos resultados apoyan la teoría descrita por Pérez-Pérez, Robles, & Botía (2009), quienes evaluaron la influencia del déficit hídrico en la fase III del crecimiento de fruto en naranja "Lane Late", y

encontraron reducción del porcentaje de jugo por el incremento de la relación pulpa/cáscara. Otros autores Chartzoulakis, Michelakis, & Stefanoudaki, (1999) no reportaron diferencias significativas en peso de cáscara y contenido de jugo, al someter a un estrés hídrico al cultivo de naranja.

Diámetro polar, ecuatorial y firmeza: No se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en la época seca, en cuanto a los diámetros, tanto polar como ecuatorial (Tabla 10); resultados similares reportaron Torrecilla & Domingo (1993), en árboles de limón fino sometidos a estrés hídrico, donde tampoco encontraron diferencias con el diámetro del fruto, ellos atribuyen esta particularidad a que el inicio de la fase II de crecimiento de los frutos se produjo cuando los valores de crecimiento relativo del fruto, comenzaron a disminuir en la curva de crecimiento acumulativo de los mismos.

En la época lluviosa se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), en los diámetros polar y ecuatorial y fue mayor en el tratamiento $0,3 ET_0$ (Tabla 10), esta respuesta estaría asociada a un crecimiento compensatorio del fruto, pues, este tratamiento en condiciones de época seca estaba sometido a restricciones hídricas. En lo que respecta a la firmeza (Tabla 10), el tratamiento $0,3 ET_0$ resultó ser más firme y el $0,5 ET_0$ menos firme; mientras que en la época lluviosa no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

Tabla 10. Diametros polar y ecuatorial y firmeza de limón sutil sometido a distintas humedades en el suelo en dos épocas seca y lluviosa.

Época seca						
Tratamiento	Diámetro polar (cm)		Diámetro ecuatorial (cm)		Firmeza (lbs)	
0,3 ET₀	4,46	a	4,29	a	6,09	a
0,5 ET₀	4,67	a	4,38	a	5,97	c
0,7 ET₀	5,02	a	4,82	a	6,07	ab
0,9 ET₀	4,46	a	4,28	a	6,03	b
Control	4,52	a	4,33	a	6,03	b
x	4,63		4,42		6,04	
Pr > F	0,302		0,299		0,0001	
DMS	0,67		0,63		0,59	
Época lluviosa						
0,3% ET₀	5,14	a	5,02	a	6,02	a
0,5% ET₀	5,09	ab	4,93	b	6,02	a
0,7% ET₀	5,04	b	4,94	b	6,01	a
0,9% ET₀	5,08	ab	4,95	ab	6,00	a
Control	5,09	ab	4,96	ab	6,02	a
x	5,09		4,96		6,01	
Pr > F	0,11		0,029		0,586	
DMS	0,89		0,781		0,25	

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren de forma significativa, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).

La firmeza estaría asociada al peso de la cáscara de fruto, pues, el tratamiento con un 0,3 ET₀ (Tabla 10) presentó mayor peso de cáscara y menos peso de pulpa y contenido de jugo (Figura 22). Esta característica de firmeza en limón sutil coincide con lo que reporta Alcobendas, Mirás-, Alarcón, Pedrero, & Nicolás, (2012) en Albaricoque, ellos encontraron que frutos más firmes provenían de aquellos

tratamientos sometidos a deficiencias hídricas. La información en limón con respecto a la influencia del riego en cuanto a la firmeza es limitado, pero se sabe que un riego deficitario aumentaría la firmeza de frutos (Steduto, Hsiao, Fereres, & Raes, 2012).

Número de semillas, grados brix, acidez titulable y pH

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), con respecto al número de semillas en la época seca (Tabla 11), en cuanto a las variables de grados brix y pH este fue mayor en el tratamiento 0,5 ET₀, mientras que el 0,3 ET₀ presentó menos grados brix, el tratamiento 0,9 ET₀ obtuvo menor pH. En condiciones de época lluviosa diferencias significativas ($P < 0.05$) en el tratamiento 0,5 ET₀ que obtuvo el menor número de semillas, mayor grados brix el tratamiento 0,9 ET₀, mientras que la acidez titulable fue mayor en la lámina 0,5 ET₀ y el pH más alto en el 0,3 ET₀.

El aumento de grados brix o SST en el tratamiento 0,5 ET₀, en condiciones de época seca, podría asociarse a estrés moderado en los árboles de limón, pues su θ alcanzó 34%, 2 puntos porcentuales inferior a la CC (36%), su respuesta estaría dada a un ajuste en el uso de los carbohidratos para elaborar azúcar en las plantas, y así mantener suficiente ATP para activar sus procesos metabólicos sin perjudicar rendimiento, resultados que coinciden con Stagno, Intrigliolo, Consoli, Continella, & Rocuzzo, (2015), quienes manifiestan que tratamientos con déficit hídrico leve incrementaron los sólidos solubles totales y acidez de la fruta. Este argumento lo comparten Chartzoulakis et al., (1999), ellos reportan que con bajos θ en el suelo, existió mayor concentración de fructosa, glucosa y sacarosa, incrementando SST y acidez titulable. La acumulación de azúcares es una respuesta de osmorregulación del cultivo frente a un estrés por déficit, pues esta respuesta evita la deshidratación del cultivo (Yakushiji et al., 1996). También en condiciones de estrés hídrico por falta de agua en el suelo incrementa concentraciones de fructosa, glucosa y sacarosa, esta acumulación de azúcares activaría osmorregulación (Chartzoulakis, Michelakis, & Stefanoudaki, 1999).

Tabla 11. Parámetros de calidad del limón sutil sometido a distintos niveles de humedad en el suelo en dos épocas seca y lluviosa

Época seca						
Tratamiento	Nro. Semillas	Grados brix		Acidez titulable		pH
0,3 ET₀	6 a	8,02	c	6,95	ab	2,15 cd
0,5 ET₀	6 a	8,63	a	6,99	ab	2,19 a
0,7 ET₀	6 a	8,35	b	6,88	b	2,16 bc
0,9 ET₀	6 a	8,17	bc	6,86	b	2,14 c
Control	6 a	8,33	b	7,11	a	2,17 b
x	6	8,30		6,96		2,16
Pr > F	0,37	< 0,0001		0,021		< 0,0001
DMS	0,595	0,63		0,181		0,167
Época lluviosa						
0,3 ET₀	6 ab	7,51	d	6,38	b	2,21 a
0,5 ET₀	5 b	8,33	b	6,9	a	2,16 b
0,7 ET₀	6 ab	8,51	ab	6,35	b	2,12 c
0,9 ET₀	6 ab	8,6	a	6,29	b	2,08 d
Control	6 ab	8,09	c	6,39	b	2,11 cd
x	6	8,21		6,46		2,14
Pr > F	0,0003	< 0,0001		< 0,0001		< 0,0001
DMS	0,595	0,25		0,274		0,38

*Valores en la misma columna con letras iguales, no difieren de forma significativa, de acuerdo a prueba de Duncan ($P < 0.05$).

Un descenso de los SST en el tratamiento 0,9 ET₀ (Tabla 11), podría explicarse por lo que suscribe Velez, Intrigliolo, & Castel, (2007), ellos mencionan que un exceso de agua en la etapa de maduración podría reducir el contenido de sólidos solubles totales. El incremento de SST en el tratamiento 0,9 ET₀ en la época lluviosa podría explicarse como una respuesta del limón frente a excesos de agua, pues al acumular un θ de 45,98% que es mayor a la CC(36%) reportada para estos suelos, se podría deducir que estos árboles están estresados y como respuesta ello, su resultado sería limitar la disponibilidad de oxígeno de las raíces producto de la anoxia (Ortuño, Alarcón, Nicolás, & Torrecillas, 2007). Cuando un cultivo está sometido a condiciones de humedad sufren daños por la baja difusión de oxígeno en el agua inhibiendo la respiración mitocondrial de las células (Else, Coupland, Dutton, & Jackson, 2001).

3.5.Conclusiones

Mayores rendimientos con la lámina de 0,5 ET₀, que obtuvo un θ de 34%, este tratamiento incremento los rendimientos en un 10% a lo reporta INEN (2018), por consiguiente, para condiciones del sitio Maconta, este tratamiento resultaría idóneo para el productor limonero. Ya se menciona el aporte favorable de la lámina 0,5 ET₀ aplicado en época seca en el cultivo de limón sutil, por lo que, sería una herramienta de apoyo para el agricultor limonero, pues, con este mismo tratamiento se incrementó parámetros de calidad como peso, SST y acidez titulable.

Los rendimientos más bajos obtenidos mediante el tratamiento 0,7 ET₀, que acumuló un θ de 37,70 % mayor 1,7 puntos porcentuales a CC, permite confrontar, que esta lámina que es recomendada por FAO, no favorece producción de limón en el sitio de estudio, por lo que se puede decir que esto es dependiente de las condiciones agro-climáticas de cada sitio. Menor rendimiento en el cultivo de limón sutil en condiciones de época lluviosa, tal como lo manifiesta el agricultor, en estos escenarios, el exceso de humedad del suelo se convierte en un problema del cultivo, además del incremento de temperatura y humedad relativa que repercuten en el crecimiento y por ende rendimiento del fruto.

3.6 Bibliografía:

- Agustí, M. (2012). *Citricultura* (Mundi-Pren). Madrid-México.
- Alcobendas, R., Mirás-, J., Alarcón, J., Pedrero, F., & Nicolás, E. (2012). Combined effects of irrigation, crop load and fruit position on size, color and firmness of fruits in an extra-early cultivar of peach. *Scientia Horticulturae*, *142*, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.003>
- Alves, J., Folegatti, M., Parsons, L., Bandaranayake, W., Da Silva, C., Da Silva, T., & Campeche, L. (2007). Determination of the crop coefficient for grafted “Tahiti” lime trees and soil evaporation coefficient of Rhodic Kandudalf clay soil in Sao Paulo, Brazil. *Irrigation Science*, *25*(4), 419–428. <https://doi.org/10.1007/s00271-006-0057-5>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.011>
- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2013). Response of Navel Lane Late citrus trees to regulated deficit irrigation: Yield components and fruit composition. *Irrigation Science*, *31*(3), 333–341. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0311-3>
- Braz, V., Ramos, M., De Andrade, A., De Sousa, C., & Mantovani, E. (2009). Níveis e frequências de irrigação na limeira ‘ Tahiti ’ no Estado do Piauí. *Rev. Ceres, Viçosa*, *56*(5), 611–619.
- Catalogue of Life: 2019 Annual Checklist. (2019).
- Chartzoulakis, K., Michelakis, N., & Stefanoudaki, E. (1999). Water use, growth, yield and fruit quality of “Bonanza” oranges under different soil water regimes. *Advances in Horticultural Science*.
- Correa, D., Vélez-Sánchez, J., & Orduz, J. (2013). Efecto del déficit hídrico en el

- crecimiento y desarrollo de frutos de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte del Meta, Colombia. En *Acta Agronomica* (Vol. 62, pp. 136–147). <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200007>
- Else, M., Coupland, D., Dutton, L., & Jackson, M. (2001). Decreased root hydraulic conductivity reduces leaf water potential, initiates stomatal closure and slows leaf expansion in flooded plants of castor oil (*Ricinus communis*) despite diminished delivery of ABA from the roots to shoots in xylem sap. *Physiologia Plantarum*, 111(1), 46–54. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110107.x>
- García-Tejero, I., Romero-Vicente, R., Jiménez-Bocanegra, J. A., Martínez-García, G., Durán-Zuazo, V. H., & Muriel-Fernández, J. L. (2010). Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agricultural Water Management*, 97(5), 689–699. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.012>
- García, F., Syvertsen, J., Gimeno, V., Botía, P., & Perez, J. (2007). Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. *Physiologia Plantarum*, 130(4), 532–542. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.00925.x>
- Ginestar, B., & Castel, J. (1996). Responses of young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. *Journal of horticultural Science*, 71, 551–559.
- Gonzalez-dugo, V., Zarco-tejada, P. J., & Fereres, E. (2014). Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198–199, 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.08.003>
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Nicolás, E., Nortes, P. A., Alarcón, J. J., Intrigliolo, D. S., & Fereres, E. (2013). Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. *Precision Agriculture*, 14(6), 660–678. <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9322-9>
- Hutton, R., Landsberg, J., & Sutton, B. (2007). Timing irrigation to suit citrus phenology: A

- means of reducing water use without compromising fruit yield and quality? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(1), 71–80. <https://doi.org/10.1071/EA05233>
- INEC. (2018). *Superficie, Producción y Ventas , según región y Provincia Limón (Fruta fresca)*.
- INEN. (2016). Norma Técnica Ecuatoriana Frutas Frescas. Limón. Requisitos.
- Lima, G. C., Martins, M. Q., & Coelho, R. I. (2015). Response of orange Natal Folha Murcha (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) at different levels of irrigation. *Plant Science Today*, 2(2), 74–76. <https://doi.org/10.14719/pst.2015.2.2.111>
- Molina-Ochoa, M. J., Vélez-Sánchez, J. E., & Rodríguez, P. (2016). Efecto del riego deficitario controlado en las tasas de crecimiento del fruto de pera (*Pyrus communis* L.), var. Triunfo de Viena. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 234. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4179>
- Ordúz-Rodríguez, J. O., Castiblanco G., S., Calderón, C. L., & Velásquez R., H. (2012). Potencial de rendimiento y calidad de 13 variedades e híbridos comerciales de cítricos en condiciones del piedemonte llanero de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5(2), 220–232. <https://doi.org/10.17584/rcch.2011v5i2.1273>
- Ordúz-Rodríguez, J. O., & Fischer, G. (2007). Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina “Arrayana” en el piedemonte llanero de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 255–263.
- Ortuño, M. F., Alarcón, J. J., Nicolás, E., & Torrecillas, A. (2007). Water status indicators of lemon trees in response to flooding and recovery. *Biologia Plantarum*, 51(2), 292–296. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0058-0>
- Panigrahi, P., Sharma, R. K., Hasan, M., & Parihar, S. S. (2014). Deficit irrigation scheduling and yield prediction of “Kinnow” mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) in a semiarid region. *Agricultural Water Management*, 140, 48–60. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.018>
- Pérez-Pérez, J. G., Robles, J. M., & Botía, P. (2009). Influence of deficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in “lane late” sweet orange. *Agricultural Water Management*, 96(6), 969–974. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.01.008>

- Perez-Perez, J. G., Romero, P., Navarro, J. M., & Botia, P. (2009). Response of sweet orange cv "Lane late" to deficit-irrigation strategy in two rootstocks. II: Flowering, fruit growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*, 26(6), 519–529. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0113-4>
- Pessarakli, M., & Dekker, M. (1999). Handbook of Plant and Second Edition, Revised and Expanded (pp. 545–550).
- SAS User's Guide, version 9.4. Cary, U. (2004). Statistical Analysis System. SAS.
- Stagno, F., Intrigliolo, F., Consoli, S., Continella, A., & Roccuzzo, G. (2015). Response of Orange Trees to Deficit Irrigation Strategies: Effects on Plant Nutrition, Yield, and Fruit Quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, (3), 141. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774)
- Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. FAO (Vol. 66). <https://doi.org/978-92-5-308564-4>
- Torrecilla, A., & Domingo, R. (1993). Regulated Deficit Irrigation on Fino Lemon Trees. *Acta Horticultural Crops*, 335, 205–212.
- Treeby, M., Henriod, R., Bevington, K., Milne, D., & Storey, R. (2007). Irrigation management and rootstock effects on navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] fruit quality. *Agricultural Water Management*, 91(1–3), 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.04.002>
- Vázquez, M., Dell Amico, R., Pérez, M., & Betancourt, M. (2018). Revisión bibliográfica Estrés hídrico y salino en cítricos . Review Water and saline stress on citrus . Strategies for reducing plant damages. *Cultivos Tropicales*, 38(February), 65–74.
- Vélez, J., Álvarez, J., & Alvarado, O. (2012). El Estrés Hídrico en Cítricos (*Citrus* spp .): Una revisión., 16(2), 32–39.
- Velez, J. E., Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2007). Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management*, 90(3), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.03.007>
- Yakushiji, H., Nonami, H., Fukuyama, T., Ono, S., Takagi, N., & Hashimoto, Y. (1996).

Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in Satsuma mandarin fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3), 466–472. <https://doi.org/10.21273/jashs.121.3.466>

Zaher-Ara, T., Boroomand, N., & Sadat-Hosseini, M. (2016). Physiological and morphological response to drought stress in seedlings of ten citrus. *Trees - Structure and Function*, 30(3), 985–993. <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1372-y>

