



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

Facultad de Ingeniería Agronómica

## TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

## INGENIERO AGRÓNOMO

### TEMA:

“Efecto de distintas condiciones de humedad en el suelo, sobre el contenido de Auxina, Acido Abscísico, Prolina y parámetros hídricos en el cultivo de limón ‘Sutil’ [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle]”

### AUTOR:

Daniel Rolando Rezabala Pacheco

### DIRECTORA DE TESIS:

Ing. Adriana del Carmen Celi Soto Mg. Sc.

SANTA ANA- MANABÍ- ECUADOR

2018

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**TEMA:**

“Efecto de distintas condiciones de humedad en el suelo, sobre el contenido de Auxina, Acido Abscísico, Prolina y parámetros hídricos en el cultivo de limón ‘Sutil’ [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle]”

**TRABAJO DE TITULACIÓN:**

Sometida a consideración del Tribunal de Seguimiento y Evaluación, legalizada por el Honorable Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**APROBADA POR:**

-----  
Ing. Fredy Santana Parrales Mg. Eds.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

-----  
Dr. Eduardo Héctor Ardisana. PhD.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

-----  
Ing. Marina García de Almeida PhD.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. **ADRIANA DEL CARMEN CELI SOTO** Mg. Sc. Docente de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí.

### **Certifica:**

Que el trabajo de titulación **“EFECTO DE DISTINTAS CONDICIONES DE HUMEDAD EN EL SUELO, SOBRE EL CONTENIDO DE AUXINA, ACIDO ABSCÍSICO, PROLINA Y PARÁMETROS HÍDRICOS EN EL CULTIVO DE LIMÓN ‘SUTIL’ [*CITRUS AURANTIFOLIA* (CHRISTM.) SWINGLE]”**, es trabajo original realizado por el estudiante **REZABALA PACHECO DANIEL ROLANDO**, el cual fue realizado bajo mi tutoría.

---

**Ing. Adriana del Carmen Celi Soto Mg. Sc**

**TUTORA DE TESIS**

## CERTIFICACIÓN

Dr. **RAMÓN EDUARDO JAIMEZ ARELLANO Ph.D.**, Docente de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí.

### **Certifica:**

Que el trabajo de titulación “**EFECTO DE DISTINTAS CONDICIONES DE HUMEDAD EN EL SUELO, SOBRE EL CONTENIDO DE AUXINA, ACIDO ABSCÍSICO, PROLINA Y PARÁMETROS HÍDRICOS EN EL CULTIVO DE LIMÓN ‘SUTIL’ [CITRUS AURANTIFOLIA (CHRISTM.) SWINGLE]**”, es trabajo original realizado por el estudiante **REZABALA PACHECO DANIEL ROLANDO**, el cual fue realizado bajo mi revisión.

---

**Dr. Ramón Eduardo Jaimez Arellano Ph.D.**

**REVISOR DE TESIS**

## **AUTORIA**

La responsabilidad de esta investigación, resultados, conclusiones y recomendaciones, así como las ideas emitidas en la misma, pertenecen exclusivamente a su autor.

-----  
**Daniel Rolando Rezabala Pacheco**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios y a mi Familia*

## DEDICATORIA

Dedico mi tesis de grado a mi Patria, especialmente Manabí y su gente, quien se merecen más, por haber vivido tantas adversidades a través del tiempo. Entre ellas, el ver a un obrero volver a casa, sin pan para sus hijos y derrotados, después de haber buscado en vano un trabajo, o quizás, trabajando en pago de un mal salario, sin pan para sus hijos, con hambre y empujados a la ignorancia, por la fiera arrogancia de los que mandan.

En la cual se encuentran huellas innumerables, de gente que ha tratado de construirla con sacrificio y esperanza, llena de gente luchadora, honesta, ganancia de esta tierra morena; que me dio un sin número de circunstancias como: las pautas para seguir mi camino, donde forjé mis pensamientos y en donde están, las calles que vieron mi niñez, mi inocencia, mi primera contrariedad, mi primer arrebato, mi primera alegría, mi primer razonamiento, mi primera agonía.

Además, me dio a mi querida amiga, a la que tanto le debo, quien me quiso de genio o insensible, quien le da lo mismo si voy de ultimo o de primero, quien siempre tiene un puesto por si regreso. Quien con mucho sacrificio me dio estudios, me dio consejos, para luchar por una educación justa, para la construcción de una sociedad con equidad. ¡Gracias por haberme dado libros, gracias por el peso de las cosas que aconsejas, gracias por todo MADRE MIA!

*“Las almas de todos los hombres son inmortales, pero las almas de los justos son inmortales y divididas”*

***Sócrates***

*“Nuestra lucha es la de encontrar el modo correcto de hacer las cosas”*

***Platón***

*“Debemos construir una sociedad en la que cada uno, haga aquello en lo que es mejor”*

***Leonardo da Vinci***

*“La educación ayuda a la persona a ser, lo que es capaz de ser”*

***Hesíodo***

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES.....	3
III.	JUSTIFICACIÓN.....	4
IV.	OBJETIVOS .....	5
4.1.	General: .....	5
4.2.	Específicos:.....	5
V.	MARCO REFERENCIAL.....	6
5.1.	Generalidades del Cultivo .....	6
5.2.	Limitaciones Ambientales al desarrollo y fisiología de los cítricos .....	7
5.2.1.	Condiciones edáficas .....	7
5.2.2.	El clima .....	7
5.3.	Limitaciones en los principales estadios fenológicos .....	8
5.3.1.	Factores exógenos que afectan la floración.....	8
5.3.2.	Factores endógenos que afectan la floración.....	9
5.4.	Estrés hídrico .....	9
5.4.1.	Estrategias en condiciones de estrés hídrico .....	10
5.5.	Influencia del estrés hídrico en la fisiología de los cítricos .....	11
5.6.	Respuesta de los cítricos al estrés hídrico .....	11
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
6.1.	Característica del Área de Estudio.....	15
6.1.1.	Clima y Ecología .....	15
6.1.2.	Registro Meteorológico durante el ensayo.....	16
6.2.	Material Vegetal .....	17
6.3.	Diseño experimental .....	17
6.3.1.	Procedimiento experimental.....	18

6.3.2.	Análisis funcional .....	18
6.3.3.	Delineamiento experimental.....	19
6.4.	Ejecucion experimental.....	21
6.4.1.	Selección de árboles.....	21
6.4.2.	Análisis de suelo y foliar.....	21
6.4.3.	Sistema de riego.....	22
6.4.4.	Determinación del sistema de riego.....	22
6.4.5.	Inducción de los Tratamientos.....	22
6.4.6.	Lámina de riego .....	23
6.4.7.	Volumen de agua .....	23
6.4.8.	Tiempo de aplicación de dicho volumen .....	23
6.4.9.	Método de Balance Hídrico.....	24
6.5.	Mediciones de las variables.....	25
6.5.1.	Variables Fisiológicas .....	25
6.5.2.	Comportamiento hídrico .....	26
6.5.2.1.	Potencial Hídrico del xilema ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ).....	26
6.6.2.2.	Medición de la Conductancia estomática. ....	27
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
7.1.	Contenido hormonal durante el riego y el periodo de lluvia.....	28
7.2.	Relaciones agua-Planta .....	31
7.2.1.	Conductancia estomática ( $g_s$ ) .....	31
7.2.2.	Potencial hídrico xilemático ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ).....	34
VIII.	CONCLUSIONES.....	37
IX.	RECOMENDACIONES.....	38
X.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	39
XI.	ANEXOS .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Variables climáticas de la estación meteorológica La TEODOMIRA- Lodana.....	16
<b>Tabla 2.</b> Descripción de los tratamientos. ....	18
<b>Tabla 3.</b> Delineamiento experimental .....	19

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.</b> Localización de la parcela de estudio .....	15
<b>Fotografía 2.</b> Cultivo de limón ‘Sutil’ .....	17
<b>Fotografía 3.</b> Muestra de suelo y hojas .....	21
<b>Fotografía 4.</b> Método de frasco Mariotte .....	22
<b>Fotografía 5.</b> Lectura del Potencial Hídrico del Tallo .....	26
<b>Fotografía 6.</b> Lectura de la Conductancia Estomática .....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Contenido de AIA (**A**), ABA (**B**) y Prolina (**C**) durante la época seca con las láminas de riego establecidas en cuatro coeficientes de cultivo ( $k_c$ ) y durante la época de lluvia. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media para cada una de las variables.. 29
- Figura 2.** Efecto de la conductancia estomática (**A**) durante dos temporadas: la evaluación (1) representa la época seca con aplicación de los coeficientes de cultivo ( $k_c$ ). La evaluación (2), representa los valores obtenidos durante época de lluvia. (**B**) Comportamiento de la precipitación en los meses de la evaluación (2). Las barras verticales (**A**) indican la desviación estándar de la media. .... 33
- Figura 3.** Potencial del tallo ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) medido al medio día; (**A**) con los coeficientes de cultivo ( $k_c$ ), en dos fechas de evaluación, (1) y (2); (**B**) en la época de lluvia, en dos fechas de evaluación (1) y (2); (**C**) promedio por fecha de evaluación durante la época de lluvia. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media y letras diferentes mayúsculas y minúscula, indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ), por cada fecha de evaluación. .... 35

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Establecimiento del ensayo .....	49
<b>Anexo 2.</b> Método del frasco Mariotte .....	49
<b>Anexo 3.</b> Aplicación de los tratamientos de riego .....	50
<b>Anexo 4.</b> Lectura de Conductancia Estomática.....	50
<b>Anexo 5.</b> Lectura del potencial hídrico del tallo al mediodía .....	51
<b>Anexo 6.</b> Prueba de contraste de hipótesis del potencial hídrico del tallo en la temporada de riego evaluación (1).....	52
<b>Anexo 7.</b> Prueba de separación de medias con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ) del Potencial hídrico del tallo en la temporada de riego evaluación (1).....	52
<b>Anexo 8.</b> Prueba de contraste de hipótesis potencial hídrico del tallo en la temporada de riego evaluación (2). .....	53
<b>Anexo 9.</b> Prueba de separación de medias con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ) del Potencial hídrico del tallo en la temporada de riego evaluación (2).....	53

## RESUMEN

El cultivo de limón ‘Sutil’ se cultiva desde el nivel de mar hasta los 1.200 msnm, lo que genera diferentes adaptaciones ecológicas que influyen sobre el cultivo. Con el objetivo de evaluar cómo afecta la aplicación controlada de láminas de riego en el cultivo de limón sutil [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle], en Portoviejo provincia de Manabí, en la concentración de Auxina, Acido abscísico, Prolina y parámetros hídricos, se establecieron los siguientes tratamientos (T) de riego, que estuvieron determinados por los coeficientes de cultivos ( $k_c$ ), los cuales fueron: T1=  $k_c$  0,3; T2=  $k_c$  0,5; T3=  $k_c$  0,7; T4=  $k_c$  0,9.

El diseño experimental fue Bloques Completos al Azar con cuatro bloques y cuatro tratamientos, cada tratamiento estuvo conformado por ocho árboles que corresponde a la unidad experimental. Las variables evaluadas fueron; contenido hormonal de Auxina, Acido Abscísico, aminoácido Prolina, potencial hídrico del tallo ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) y conductancia estomática ( $g_s$ ). Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el programa informático, SPSS. Los efectos de las diversas pruebas realizadas se determinaron mediante la aplicación del análisis de varianza unifactorial (ANOVA) y separación de medias (método de Tukey,  $p \leq 0.05$ ) de los datos.

No hubo diferencias estadísticas significativas, en los niveles de AIA, ABA y Prolina entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, en el  $\Psi_{\text{tallo}}$  y  $g_s$  existió diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ), siendo el T3 el de mejor comportamiento hídrico con - 0,9 MPa y 334,6  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  respectivamente.

**Palabras claves:** Balance Hídrico, Potencia hídrico del tallo, Conductancia Estomática.

## SUMMARY

The cultivation of lemon 'Sutil' is cultivated from the sea level to 1,200 meters above sea level, which generates different ecological adaptations that influence the crop. With the objective of evaluating how the controlled application of irrigation sheets affects the cultivation of subtle lemon [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle], In Portoviejo province of Manabí, in the concentration of Auxin, abscisic acid, Proline and water parameters, the following irrigation treatments (T) were established, which were determined by the crop coefficients ( $k_c$ ), which were: T1 =  $k_c$  0.3; T2 =  $k_c$  0.5; T3 =  $k_c$  0.7; T4 =  $k_c$  0.9.

The experimental design was complete blocks at random with four blocks and four treatments, each treatment was made up of eight trees that corresponds to the experimental unit. The variables evaluated were; Hormone content of Auxin, Abscisic Acid, Proline amino acid, water potential of the stem ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) and stomatal conductance ( $g_s$ ). The results obtained were analyzed using the computer program, SPSS. The effects of the various tests performed were determined by applying the one-way analysis of variance (ANOVA) and separation of means (Tukey's method,  $p < 0.05$ ) of the data.

There were no significant statistical differences in the levels of AIA, ABA and Proline between treatments ( $P < 0.05$ ). However, in the  $\Psi_{\text{tallo}}$  and  $g_s$  there were significant statistical differences ( $P < 0.05$ ), with T3 having the best hydric behavior with - 0.9 MPa and 334.6  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  respectively.

**Keywords:** Water Balance, Stem Water Power, Stomatal Conductance.

## I. INTRODUCCIÓN

Los cítricos a nivel mundial, son los frutales de mayor comercialización (Recalde, 2003), alcanzando una producción de 123'645.339 tn y ocupando un área de 8'645.339 (FAOSTAT, 2014). La producción mundial se distribuye entre los países del hemisferio norte y sur en porcentajes próximos a 70 y 30% respectivamente, siendo los países de China, Brasil, Estados Unidos, México y España, los mayores productores (Maya, 2017). Se desarrollan y son originarios de climas subtropicales y tropicales, destacándose en este último un buen comportamiento productivo (Agustí, 2003). Dentro de la subfamilia Aurantioideas los géneros de interés comercial son *Fortunella*, *Poncirus* y *Citrus*, este último de importancia para el consumo fresco y su transformación en jugo (Micheloud, 2013).

Las limas y limones son el tercer grupo más importante de los cítricos, gozan de un amplio mercado, por el hecho de no competir con las demás frutas, encontrándose a: India con 2'835.020 tn, México 2'205.079 tn, Brasil 1'101.799 tn, España 1'090.709 tn y Estados Unidos con 747.520 tn como los mayores productores de limas y limones (FAOSTAT, 2014).

A pesar que Ecuador no se destaca como país productor mundial de limas y limones, este cultivo es de vital importancia para la economía de los productores del país, pues las favorables condiciones ambientales debido, a la diversidad de regímenes térmicos, permite un buen comportamiento productivo, favorecido por condiciones climáticas y ambientales adecuadas (INIAP, 2014). Las plantaciones de naranja, mandarina, limón y toronja son las más representativas del género *Citrus* en Ecuador y la mayor producción se concentra en las provincias de Guayas y Manabí (SINAGAP, 2016).

En condiciones tropicales, los cítricos mantienen la producción durante todo el año, por la constante actividad fisiológica debido a las características climáticas (Agustí, 2004). Durante todo el ciclo del cultivo las plantas están expuestas a perturbaciones de origen biótico y abiótico, las respuestas frente al ambiente resultan importantes para mantener el equilibrio interno y son las hormonas responsables de regular todos los procesos que tienen efectos sobre las plantas (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Escaso *et al.*, 2010).

El déficit hídrico conlleva importantes cambios en las respuestas fisiológicas y la morfológicas de las plantas, provocando a corto y mediano plazo un descenso del potencial hídrico, contenido relativo de agua y la conductividad estomática (Medrano *et al.*, 2007), produciéndose

impactos negativos en el crecimiento y producción de las plantas, cambios anatómicos por modificaciones en el tamaño de las células, senescencia y hasta la muerte de muchas especies (Morales *et al.*, 2013). El estrés hídrico reduce el intercambio gaseoso limitando la fotosíntesis y producción de biomasa (Erice *et al.*, 2006; Erice *et al.*, 2007), bajo condiciones de déficit hídrico en periodos prolongados se presenta modificación en el área específica de las hojas (Erice *et al.*, 2010); provocando menor área foliar expuesta a la radiación solar (Álvarez *et al.*, 2009).

La participación de las hormonas es clave en sucesos fenológicos, quienes intervienen en el crecimiento de meristemas apicales, crecimiento y diferenciación celular, así como la presencia en el meristemo floral (Azcón-Bieto y Talón, 2008). En la fase de fructificación las giberelinas reactivan el crecimiento del fruto en el cultivo de mandarina, como también limitan y condicionan la permanencia del fruto (Talón, 2001). La permanencia del fruto se incrementa hasta tres veces con la aplicación de auxinas (32,2 ppm), giberelinas (32,2 ppm) y citoquininas (83,2 ppm) (Galván *et al.*, 2009).

El ácido abscísico (ABA) participa en la iniciación y mantenimiento de la dormancia de yemas y la protección de las plantas frente al estrés hídrico (Azcón-Bieto y Talón, 2008). En condiciones de sequía la concentración de ABA en las hojas puede aumentar hasta 50 veces; porque al acumularse en hojas estresadas reduce la pérdida de agua por transpiración en condiciones de estrés (Taiz y Zeiger, 2006). La producción de etileno en respuesta al marchitamiento generado por efecto de sequía, está dada principalmente por incremento en la síntesis de ACC (ácido carboxílico 1-amino-ciclo-propano) en los tejidos, que luego se convierte en etileno (Yang y Hoffman, 1984). Los resultados en estudios de Apelbaum y Yang, (1981) que determinaron en qué etapa durante la biosíntesis de etileno, se ocasiona el aumento por el déficit hídrico, indican que en periodo de cuatro horas de sequía los niveles de ACC en los tejidos aumenta considerablemente, estando directamente relacionado con el aumento proporcional en la síntesis de etileno.

Al presentarse el estrés, la planta responde también sintetizando algunas sustancias que les permiten mantenerse en función del tiempo, uno de ellas es la prolina, estable en condiciones de sequía, menos inhibitorio del crecimiento celular (Nolte *et al.*, 1997). La prolina es un aminoácido proteinogénico, con una conformación rígida y es esencial para el metabolismo primario, la acumulación de prolina en plantas estresadas tiene una función de protección (Cardozo y Quiriban, 2018).

## II. ANTECEDENTES

En el trópico y algunas regiones del sub-trópico, la brotación de los cítricos tiene lugar durante todo el año en ciclos de corta duración, separados por períodos de inactividad (Rebolledo, 2012); siendo en el trópico, el estrés hídrico el principal factor inductor de la floración, el cual regula la época, la intensidad, la duración y distribución de la floración (Davenport, 1990; Orduz y Mateus, 2012). Vélez *et al.* (2012) muestran que el déficit hídrico afecta negativamente funciones como: respiración, reacciones metabólicas y anatómicas, crecimiento, reproducción, desarrollo de semillas, absorción de nutrientes minerales, transporte de asimilados y producción; pero el impacto del efecto estará en base al rigor y duración de la sequía, como también de la época fenológica en que se encuentre el cultivo (Reichstein *et al.*, 2002).

El proceso de inducción floral en condiciones tropicales estaría regulado por diversos factores externos, uno de ellos sería el déficit hídrico; que influiría en el balance hormonal de la planta (Vélez *et al.*, 2012). Estudios realizados en el cultivo de naranja ‘Valencia’ por Orduz y Fisher (2007) muestran que, el déficit hídrico durante 90 días promovió la inducción floral con la transición de yemas en condición vegetativa a reproductivas.

Estudios realizados en lima ‘Tahití’ determinaron que, la floración de cítricos está influenciada por varias condiciones que se presentan durante el crecimiento, en árboles gravemente estresado por estrés hídrico, produjo más flores, en comparación de los árboles sometidos a estrés hídrico moderado (Southwick y Davenport, 1986). Por otro lado, el fruto inhibe la brotación de las yemas axilares y el desarrollo vegetativo, este efecto se relaciona, fundamentalmente, con factores nutricionales y hormonales (Martínez-Alcántara *et al.*, 2015). Mesejo *et al.* (2003) menciona, que el fruto regula el desarrollo de los haces vasculares del brote, que se sustentan a través de las auxinas inhibiendo directa o indirectamente la brotación axilar.

Pocos estudios se han realizado en el cultivo de limón ‘Sutil’ dentro de Ecuador y especialmente en la provincia de Manabí, entre las investigaciones realizadas tenemos a; Caiza (1992) estudió distintas dosis de nitrógeno en limón, para favorecer rendimiento. Moreno (2003) evaluó el efecto de la cobertura viva y de desecho sobre la presencia de malezas. Espinoza (2004) evaluó el control biológico natural de las principales plagas del cultivo de limón y su dinámica poblacional. Como se puede apreciar, investigaciones referentes a requerimientos hídricos en limón ‘Sutil’ dentro de la provincia son nulos.

### III. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la planta está influenciado por el medio ambiente, especialmente por la disponibilidad de agua, debido a su papel vital de intervenir prácticamente en todos los procesos fisiológicos (Vélez *et al.*, 2012); la pérdida de agua ocasiona mayor concentración de soluto y disminuye la actividad metabólica de la planta (Montoliu, 2010).

En condiciones tropicales el principal elemento climático que influye sobre el crecimiento y desarrollo de los cítricos es la precipitación, la ausencia de lluvias ocasiona la detención del crecimiento vegetativo (Orduz y Garzón, 2012; Mateus y Orduz, 2015); mientras que, con el inicio de la precipitación se presentan las brotaciones vegetativas, la floración, el cuajado, el crecimiento y la maduración de los frutos (Ordúz, 2012).

Las plantas responden a los factores adversos donde estén sometida, produciéndose un desbalance hormonal, conocer cómo influyen estas sustancias es clave en la agricultura, porque se podría manejar de forma eficiente la producción; los procesos más sensibles al estrés hídrico son la reducción del crecimiento y división celular seguido de la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2006; Escaso *et al.*, 2010). En los cítricos, el estrés hídrico aumenta el contenido de ácido abscísico, ácido jasmónico y ácido salicílico, y disminuye las giberelinas en las hojas que están sometidas al estrés (Montoliu, 2010).

En Ecuador existen dos tipos de limón comercializados pero el que predomina para el consumo local es el denominado limón 'Sutil' (SINAGAP, 2016). Investigaciones realizadas por INIAP (2014), mencionan que en las condiciones climáticas del valle del río Portoviejo, los productores alcanzaron a cosechar frutos con peso promedio de 35 g/fruto y producciones bajo riego han logrado obtener hasta un 40% más de jugo.

En Ecuador, principalmente el régimen Costa, los árboles de limón 'Sutil' florecen repetidamente durante el año con el aporte del riego, el mismo que es realizado sin conocimiento de los requerimientos hídricos del cultivo. Utilizar el agua eficientemente es importante en la agricultura y resulta vital para regiones con recursos hídricos limitado como los que existen en Manabí, como también conocer el comportamiento de algunas hormonas involucradas en el proceso de floración y de déficit hídrico en el cultivo.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1.GENERAL:**

Evaluar el efecto de distintas condiciones de humedad del suelo dadas por el riego, en las concentraciones de Auxina, Acido Abscísico, Prolina y parámetros hídricos, del cultivo de limón 'Sutil' [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle].

### **4.2.ESPECÍFICOS:**

Determinar los cambios en las concentraciones de Auxina, Acido Abscísico y Prolina en el cultivo de limón 'Sutil' sometido a distintas condiciones de humedad en el suelo.

Evaluar el comportamiento de los parámetros hídricos en el cultivo de limón 'Sutil' sometido a distintas condiciones de humedad en el suelo.

## V. MARCO REFERENCIAL

### 5.1.GENERALIDADES DEL CULTIVO

Las especies del género *Citrus* son nativas de las regiones tropicales y subtropicales del sudeste de Asia y el archipiélago malayo (Goldschmidt y Koch, 1996), perteneciendo al Orden Rutales, familia Rutaceae, sub familia Aurantioideas, las especies con atracción económica, dentro de esta subfamilia son: *Fortunella*, *Poncirus* y *Citrus*, los cultivos provenientes de este último, son destinados para el consumo en fresco y transformación de jugo (Micheloud, 2013).

Dentro de los *Citrus*, uno de los grupos de importancia económica son los limones y limas, siendo las limas ‘Tahití’ y ‘Key Lime’ las más comerciales (Davies y Albrigo, 1999; Amorós, 1999). Esta última conocida también en varios países como lima mejicana, limón gallego, West Indian, limón criollo o limón sutil (Montoliu, 2010; Contreras, 2015).

En Ecuador las especies de género *Citrus* de importancia son: naranjas (*Citrus sinensis* [L.] Osb), mandarinas (*Citrus reticulata* Blanco y *C. unshiu* Marc), limón ‘Sutil’ - ‘Tahití’ [*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle] y *C. latifolia*) y pomelos (*Citrus paradisi* Macf) (INIAP, 2014; SINAGAP, 2016). Las variedades ‘Sutil’ y ‘Tahití’ son productos que tienen mercado internacional, destacándose Estados Unidos y Colombia, durante el periodo 2006-2008 capturaron el 84% de las exportaciones del Ecuador (Panchana, 2015).

El cultivo de limón ‘Sutil’, posee una superficie total de 8.152 ha de limón, ocupando la región costa el 79,1 % de dicha superficie, encontrándose en la provincia de Manabí, como monocultivo 2.774 ha y asociado 208 ha, con una producción de 11.359 tn, seguido de la provincia de El Oro con 2.757 ha con una producción de 11.976 tn (SINAGAP, 2017).

Por lo tanto, el limón ‘Sutil’, posee importancia socioeconómica a nivel nacional (SINAGAP, 2016); Sin embargo, en las regiones tropicales productoras cítricos, están regulados por las modificaciones climáticas, que influyen en el desarrollo del cultivo, las cuales afectan directamente sobre la inducción floral, brotación, desarrollo de flores, desarrollo y la calidad interna/externa de los frutos (Orduz y Garzón, 2012).

## **5.2. LIMITACIONES AMBIENTALES AL DESARROLLO Y FISIOLÓGÍA DE LOS CÍTRICOS**

### **5.2.1. Condiciones edáficas**

Desde punto de vista agronómico no existe un suelo ideal para el cultivo, los cítricos pueden crecer en condiciones edáficas diferentes, progresar en suelos sin condiciones para su desarrollo, pero este progreso, se da a través de adaptaciones (Agustí, 2003); influyendo en el desarrollo, rendimiento y calidad de los cítricos (Tolentino, 2015).

Los suelos francos y arenosos son considerados óptimos, mientras, los suelos con reducida porosidad, propensos al encharcamiento, los mismos, que al secarse pierden volumen, se endurecen y agrietan dañando los pelos radicales, debilitando y retardando el desarrollo del árbol, siendo crítico en edades tempranas (Agustí, 2004).

El sistema radicular está relacionado con la producción, es por ello, que las características físicas como la permeabilidad debe estar entre 10 y 30 cm/h, en los primeros 90 cm de profundidad, deben facilitar el desarrollo de las raíces; al mismo tiempo, son sensibles a concentraciones de alta salinidad, afectando a la producción, y, los frutos se tornan pequeños con corteza fina, de coloración intensa: el pH no es factor de importancia en cítricos (Agustí, 2003).

### **5.2.2. El clima**

La producción de cítricos se encuentra limitada en las latitudes 40°N a 40°S (Davies y Albrigo, 1999), pero las principales regiones productoras del mundo comprenden 25° a 40° latitud de ambos hemisferios (Orduz, 2012), encontrándose las regiones tropicales entre los 23,5° al norte y al sur (Davies y Albrigo, 1999).

Esta adaptación a diferentes condiciones climáticas, modifican la morfología de sus órganos, influyendo en la densidad y apertura estomática, que a su vez afecta fotosíntesis y transpiración (Agustí, 2003); Por otro lado, la altitud es otro factor limitante para el cultivo, pero, el nivel crítico está relacionado con la latitud, en condiciones tropicales se puede producir en altitudes de 1.500 metros sobre el nivel del mar (Agustí, 2010).

La temperatura influye en la determinación del desarrollo vegetativo, floración, cuajado y calidad de los frutos, temperaturas entre 25°C a 30°C se consideran óptimas para la actividad fotosintética y temperaturas de 35°C o superiores la reducen (Pimentel *et al.*, 2007).

Así, por ejemplo, en regiones tropicales, cercana a la línea ecuatorial, los árboles tienden a florecer repetidamente, de forma escasa, alcanzando producciones elevadas (Agustí, 2010). En regiones subtropicales, cuando inciden las bajas temperaturas, los árboles presentan un periodo de reposo y cuando se eleva la temperatura brotan uniformemente en primavera (García *et al.*, 1992).

De igual modo, el tamaño de fruto también se asocia con la temperatura del aire, en climas tropicales el desarrollo del fruto se vuelve lento, siendo temperaturas combinadas día/noche entre 20°C y 25°C donde el crecimiento del fruto llegue a su máxima intensidad, por otra parte, entre más alto es el régimen término día/noche más baja es la concentración de sólidos solubles totales (SST) y acidez (A) (Agustí, 2003).

### **5.3. LIMITACIONES EN LOS PRINCIPALES ESTADIOS FENOLÓGICOS**

Las yemas brotan en cualquier época del año cuando la temperatura del suelo supera los 12°C, sin exigencia de horas frío, las condiciones ambientales no sólo determinan la época de brotación, sino también la intensidad y distribución de la floración (Orduz, 2012). Aspectos tales como bajas temperatura, déficit hídrico y la luz, son algunos requisitos para que esta tenga lugar (Davies y Albrigo, 1999; Agustí, 2003), siendo la interacción de factores exógenos y endógeno los que participan en la inducción floral (Micheloud, 2013).

#### **5.3.1. Factores exógenos que afectan la floración**

Los factores exógenos en cítricos en consideración, son bajas temperaturas y deficiencia hídrica, cuando las yemas se encuentran durante un reposo vegetativo (sensibles), provocan transición del crecimiento vegetativo a la producción de inflorescencia, notándose cambios químicos endógenos (Davenport, 1990; Davies y Albrigo, 1999; Iglesias *et al.*, 2007). Estos factores de inducción floral deben ser de intensidad moderada, porque cuando son muy severos se consideran perjudiciales para los *Citrus* (Micheloud, 2013), porque el grado de inducción es proporcional a la duración y severidad del estrés (Ribeiro *et al.*, 2006).

Las características de desarrollo, producción y calidad se ven favorecidas en la regiones tropicales y subtropicales, siendo los factores ambientales los de mayor influencia sobre el desarrollo y rendimiento (Orduz, 2012). Para climas subtropicales la temperatura es el factor inductivo primarios de floración (Poweranto y Inowe, 1990; García *et al.*, 1992) y el estrés hídrico en climas tropicales (Davenport, 1990 y Pilatti *et al.*, 2009).

Cuando las plantas están sometidas a condiciones diferentes de las óptimas, se interpreta que está bajo condiciones de estrés (Hsiao, 1973), dicha condiciones afectan al crecimiento,

desarrollo y productividad (Mentaberry, 2007). Nilsen y Orcutt (1996) señalan que algunos factores pueden tener efectos negativos y positivos simultáneamente.

El exceso y falta de agua es un limitante en la planta, ocasionando efectos negativos a nivel celular, fisiológico y morfológico, que reduce la tasa de crecimiento y retarda el desarrollo (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Desde el punto de vista de la fisiología ambiental el estudio de estrés en plantas, tiene como propósito conocer como las plantas funcionan en sus ambientes naturales y cuáles son los patrones que determinan su distribución, supervivencia y crecimiento (Ackerly *et al.*, 2002).

### **5.3.2. Factores endógenos que afectan la floración**

La permanencia de fruto en el árbol modifica sensiblemente la floración y su intensidad, ocasionando que se modifiquen factores internos, que inhiban la producción de inflorescencia, siendo un factor importante en la regulación de la floración, debido a la relación cuantitativa que indica, que cuanto mayor es el número de frutos por árbol, menor es la floración a la primavera siguiente (Muentes, 2010); igualmente, De Souza Prado *et al.* (2007) determinó que la carga de frutos en el árbol, debido a la cosecha tardía de los mismos, inhibe parcialmente la floración. Conviene subrayar, que las giberelinas endógenas, producida por el fruto, se convierte en el factor control de la floración en cítricos (Agustí, 2003). Koshita *et al.* (1999) demuestran, que la aplicación exógena de giberelinas trae consigo un efecto inhibitorio de la floración.

La inactividad radicular promovida por las bajas temperatura, reduce la síntesis hormonal y su transporte hacia la copa en ella, permitiéndose la floración ante la ausencia (al menos parcial) de sus inhibidores, con esto, se puede explicar la exigencia de las bajas temperaturas para que se produzca la floración en clima templados (Agustí, 2010).

También a través de estudios como defoliación de estaquillas sometidas a estrés hídrico, aplicaciones de giberelinas y rayado de ramas, han demostrado otras épocas de sensibilidad a la inhibición de la floración, muy alejada del período de reposo (Agustí, 2003).

### **5.4. ESTRÉS HÍDRICO**

Existen factores que afectan al potencial hídrico de la planta como; concentración, presión y gravedad representado por la siguiente formula;  $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$  (Montoliu, 2010): El potencial de soluto o potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) representa el efecto de los solutos disueltos sobre

potencial hídrico, donde los solutos disminuyen la energía libre del agua por dilución de la misma (Taiz y Zeiger, 2006).

El potencial de presión ( $\Psi_p$ ) indica, la presión hidrostática de la solución, la presión positiva aumenta el potencial hídrico, que su vez, da origen al potencial de turgencia: mientras que, las presiones negativas reducen dicho potencial: El potencial de gravedad ( $\Psi_g$ ) es responsable del movimiento hacia abajo del agua, a menos que la fuerza de gravedad se le oponga una fuerza igual y opuesta (Taiz y Zeiger, 2006).

Cuando las plantas se encuentran sometidas a estrés hídrico pierden agua y su potencial disminuye, este suceso, ocurre de forma simultánea: la pérdida de agua implica una mayor concentración de solutos (Bray, 1997; Ashraf, 2012). La disminución del potencial, no implica necesariamente una pérdida de turgencia, ya que, estas plantas son capaces de acumular de forma activa sustancias osmóticas que disminuyen el  $\Psi_s$ , al menos temporalmente, evitando la pérdida de turgencia (Moltoliu, 2010).

#### **5.4.1. Estrategias en condiciones de estrés hídrico**

El agua interviene en funciones tales como: solvente de sales inorgánicas y aniones orgánicos, constituye el medio donde se dan todas las reacciones bioquímicas, es esencial para la difusión y flujo masivos de soluto: desarrollo y crecimiento está influenciado por el medio ambiente, especialmente por la disponibilidad de agua debido al papel vital, de intervenir prácticamente en todos los procesos fisiológicos (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

La falta de agua provoca tensión o estrés que influye sobre las plantas, esta tensión produce dos tipos de respuesta en los organismos: respuestas que tienden a evitar o prevenir la tensión y mecanismos o adaptaciones que permiten soportar o resistir la tensión (Valladares *et al.*, 2004; Mentaberry, 2011; Martínez-Alcántara *et al.*, 2012). La respuesta ante el estrés hídrico, está estrechamente relacionado con la respuesta al estrés térmico y lumínico, esto, suele generar un estado de mayor resistencia de la planta ante estos estreses, aún antes de que lleguen a producirse (Valladares *et al.*, 2004). Esta respuesta general está mediada por hormonas, principalmente por el ácido abscísico (Terradas, 2001).

Cuando la carencia de agua llega a producir un funcionamiento subóptimo de la planta se inducen determinadas respuestas frente a la deficiencia hídrica: marchitamiento de la hoja, reducción del potencial hídrico, reducción de la conductancia estomática, transpiración y asimilación de  $\text{CO}_2$  (Pérez-Pérez *et al.*, 2007).

El principal mecanismo por el cual las plantas limitan la pérdida de agua por transpiración bajo condiciones de estrés hídrico es el cierre estomático que, además de reducir el grado de estrés hídrico, también reduce la asimilación neta de CO<sub>2</sub> (García-Sánchez *et al.*, 2007).

### **5.5. INFLUENCIA DEL ESTRÉS HÍDRICO EN LA FISIOLÓGÍA DE LOS CÍTRICOS**

El estrés hídrico limita la productividad en cítricos, la exposición en ambientes con limitaciones de agua durante varios estadios de desarrollo, parece activar múltiples cambios fisiológicos y bioquímicos (Quiñonez *et al.*, 2007). Los daños y efectos del estrés son diversos, los cuales depende de procesos como intensidad del estrés y características de las plantas (Lascano y Spain, 1988; Vélez *et al.*, 2012).

El crecimiento de la planta puede ser inhibido por niveles de estrés moderado, que inducen una reducción en el crecimiento y división celular, que son procesos más sensibles al estrés hídrico, seguido por la fotosíntesis (Mansfield y Atkinson, 1990).

La primera respuesta de las plantas, ante el estrés de sequía, es el cierre de estomas para evitar las pérdidas por transpiración, descendiendo la concentración de CO<sub>2</sub> disponible en las hojas, como consecuencia, un descenso en la tasa fotosintética debido a la disminución de la actividad ribulosa, 1-5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCO) (Mansfield y Atkinson, 1990; Ortuño *et al.*, 2004).

La pérdida de turgencia celular, altera la fluidez de la bicapa fosfo-lipídica, el contenido celular se desnaturaliza y la concentración de solutos puede llegar a niveles tóxicos, afectando el funcionamiento enzimático (Ortuño *et al.*, 2004). Otro proceso con que los cítricos hacen frente al estrés hídrico es el ajuste osmótico, donde el descenso del potencial hídrico, se basa en la pérdida de turgencia, debido al almacenamiento activo, de sustancias osmóticas que reducen el potencial osmótico, probablemente de manera temporal, evitando la pérdida de turgencia y en efecto permitiendo el desarrollo fisiológico celular normal (Moltoliu, 2010).

### **5.6. RESPUESTA DE LOS CÍTRICOS AL ESTRÉS HÍDRICO**

Las hojas no caducifolias de los cítricos transpiran durante todo el año, notándose que las hojas jóvenes, con escasa en ceras epicuticulares, no tienen control de la transpiración, caso contrario ocurre, con las hojas viejas, que, por la abundancia de esta cera reducen la pérdida de agua (Agustí, 2003).

El crecimiento y producción dependen del balance entre la demanda evaporativa y el suministro de agua, así como de una adecuada nutrición; estas condiciones están ligadas al ambiente, el cual favorece o perjudica la expresión de genes deseables en las plantas cultivadas (Sinclair, 1984 citado por Vélez *et al.*, 2012).

Cuando existe déficit hídrico, éste perjudica funciones fisiológicas como: fotosíntesis, respiración, metabolismo, crecimiento, absorción de nutrientes minerales, transporte de asimilados y producción de semillas (García-Sánchez *et al.*, 2003; Ortuño *et al.*, 2004), donde el efecto estribará de la intensidad y duración de la sequía, como también de la época en que afecta al cultivo, esto ocurre tanto en cítricos (Ballester *et al.*, 2011) como en otras especies (Reichstein *et al.*, 2002).

Existen varios tipos de respuestas en cítricos; disminución en la conductancia estomática, con lo que se evita la pérdida de agua por transpiración (Pérez-Pérez *et al.*, 2009), disminución del área foliar, por ende, menor superficie de transpiración, como también adaptaciones a nivel metabólico y osmoregulación (Rodríguez, 2006; Navarro *et al.*, 2010). Esta eficiencia además de depender de factores climáticos, también se ve afectada por el material vegetal usado y la fenología del mismo; por ejemplo, en el cultivar 'Lane late' de naranja, encontraron que, el porta injertos 'Citrange Carrizo' es más eficiente en la relación producción agua<sup>-1</sup> suministrada que 'Cleopatra' (Pérez-Pérez *et al.*, 2010). Mientras tanto, en mandarina 'Clementina de Nules', al someterla a estrés hídrico durante dos años consecutivos, la eficiencia no aumento significativamente en el periodo fenológico III del fruto, revelando que en esta fase fenológica no es significativo el ahorro de agua usando riego deficitario (Pérez-Pérez *et al.*, 2008).

Como respuesta al estrés hídrico se detiene el desarrollo de la planta, hay marchitamiento de las hojas, reducción del potencial hídrico y la conductancia estomática, asimilación de CO<sub>2</sub> y por último de la conductividad hidráulica de la raíz (Tudela y Primo-Millo, 1992; Pérez-Pérez *et al.*, 2009). Cuando la pérdida de agua es rápida debido a las altas temperaturas, que producen vientos fuertes y secos, ocasionan estrés hídrico en la planta, aún con humedad aceptable en el suelo, este estrés afecta de diferente maneras e intensidades, en los distintos estados de crecimiento, un ejemplo es que afecta la inflorescencia y la fecundación, produciendo un aborto floral y abscisión del fruto (González-Altozano y Castel, 2003).

Savé *et al.* (1995) en naranjo y tangor encontraron que, en condiciones de estrés hídrico severo, se desarrollan mecanismos de ajuste elástico, este mecanismo consiste en el aumento de la elasticidad de las paredes celulares con el objeto de mantener la turgencia celular: lo que facilita, que en el ajuste osmótico continúe los procesos esenciales, como la utilización de nutrientes, asimilados y la fotosíntesis (Huang *et al.*, 2000).

Al mismo tiempo el déficit hídrico, es un gran perturbador del balance hormonal de muchas especies vegetales, alterando significativamente los procesos fisiológicos del crecimiento y desarrollo en cítricos (Moreno y Patricia, 2009). En el caso de Auxina (AIA) en el cultivo de mandarina, el contenido en hojas de brotes anillados, aumentó notablemente de Octubre a Diciembre, luego, disminuyó de Diciembre a Febrero del año siguiente; los contenidos de AIA en los brotes con fruto, no mostraron cambios estacionales durante el período de medición, mientras que, el contenido de AIA en brotes no anillados aumentó gradualmente con el tiempo (Koshita *et al.*, 1999).

Así mismo los niveles de AIA fueron significativamente más altos en brotes «on» (altas producciones) en relación con brotes «off» (bajas producciones), en 2,9 veces en el tiempo 0 y en 5,2 veces en el tiempo 4, en cambio, los niveles de AIA disminuyeron en brotes donde no existió frutos, en relación con brotes «on», por un factor de 2.4 en el tiempo 1 (Shalom *et al.*, 2012).

En el caso del etileno, la síntesis se incrementa por diversos estreses, tales como las heridas, la salinidad, la sequía, el frío, el ozono y el encharcamiento: los reguladores del crecimiento vegetal pueden interactuar de forma cooperada o antagónica, en dependencia del factor estresante (Chávez y Ramírez, 2012). Desde el punto de vista de producción de etileno, los mayores efectos del estrés hídrico se manifiestan en la senescencia foliar, degradación de la clorofila y abscisión de hojas y frutos. (Vélez *et al.*, 2012).

Cuando se presentan periodos de sequía, se incrementa las concentraciones de ácido abscísico (ABA) en las hojas, simultáneamente, el transporte de las raíces hacia las hojas aumenta, con la finalidad, de contribuir a la respuesta frente al estrés, induciendo el cierre estomático (Vélez *et al.*, 2011); habría que decir también, que el estrés hídrico, aumenta el contenido de ácido abscísico, ácido jasmónico y ácido salicílico, mientras que el contenido de giberelinas disminuye rápidamente (Montoliu, 2010); aunque vuelve a su normalidad cuando se reanuda el riego (Mahouachi *et al.*, 2005).

El ABA tiene una doble función en la protección de los cítricos frente al estrés hídrico: a corto plazo, reduce la transpiración debido al suministro de ABA a las hojas, produciendo el cierre inmediato de los estomas, mientras que, a largo plazo induce la síntesis de proteínas que aumentan la tolerancia de la planta a la desecación (Mahouachi *et al.*, 2005).

En condiciones de estrés hídrico, la biosíntesis de ABA se induce por la pérdida de turgencia, sin embargo, los estomas a menudo se cierran antes de que se produzca el aumento del ABA en la hoja, las evidencias indican que el ABA producido en las raíces puede actuar como una señal, mediante la cual, las plantas regulan su estado hídrico en los suelos secos (Zhang y Outlaw, 2001; Mahouachi *et al.*, 2005). La función principal del ABA sintetizado en respuesta a la sequía, parece ser la regulación de la tolerancia a éste estrés, mediante la expresión de genes que confieren protección frente a la desecación (Gimeno *et al.*, 2009).

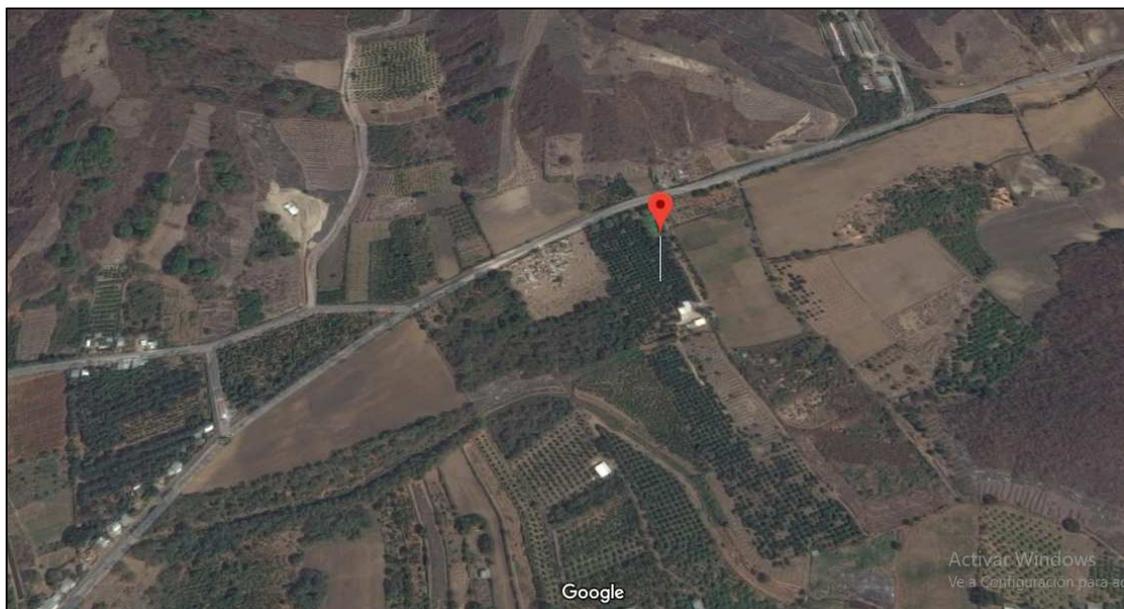
Otra de las respuestas de las plantas frente a los estreses es la acumulación de prolina, es decir, cuando existe descenso del potencial hídrico celular, la planta acumula solutos en el citoplasma o reduce turgencia, para poder disminuir el potencial osmótico y generar movimiento de agua hacia el interior de la célula (Díaz *et al.*, 1999). La prolina es un aminoácido que se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas, cuando estas crecen en condiciones óptimas, por el contrario, cuando estas crecen en condiciones de estrés, el contenido de prolina aumenta, para actuar como un agente osmótico, protegiendo a la planta de deshidratación (Pérez, 2011).

Los tipos de estrés que dan origen al incremento en el contenido de prolina son: estrés hídrico, salino, bajas temperatura, acumulación de metales pesados y alta intensidad lumínica (Rincón y Hoyos, 2013). Su constitución hidrofílica es la responsable de la protección de ácidos nucleicos, proteínas y membranas durante los déficits hídricos (Wagner *et al.*, 1998); De modo que, al deshidratarse las células y aumentar la concentración de iones, la prolina es capaz de prevenir la interacción de los iones, con los componentes celulares, protegiendo contra la desestabilización de las moléculas (Rao, 2006). Así se señalan entre otros, aumentos en los niveles de Prolina, respuestas enzimáticas y no enzimáticas ante condiciones de estrés oxidativo (Rivas *et al.*, 2008), y, modificaciones en el balance hormonal (Arbona y Gómez-Cadenas, 2008).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. CARACTERÍSTICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El experimento se realizó en el periodo de Noviembre 2017- Junio 2018, en una plantación comercial ubicado en la parroquia Colón, Portoviejo, provincia de Manabí, que disponía de condiciones normales de riego, fertilización y cultivo. Cuyas coordenadas geográficas son 1°05'19.9" latitud Sur y 80°24'18.6 longitud Oeste, con elevación de 60 msnm.



Fotografía 1. *Localización de la parcela de estudio*

#### 6.1.1. Clima y Ecología

Según la clasificación de Zonas de vida de Holdridge, Portoviejo se ubica en la formación ecológica Bosque Seco Tropical (bs-T); posee un régimen de lluvia monomodal, donde la época de lluvia comprende de los meses de Diciembre a Mayo, seguida de la época seca de Junio a Noviembre, apareciendo lluvias inconspicuas en forma de garúas durante la época seca, los meses ecológicamente secos varían dentro de la zona anualmente, pero están entre los seis y siete meses (Cañadas, 1983).

### 6.1.2. Registro Meteorológico durante el ensayo

Tabla 1. Variables climáticas de la estación meteorológica La TEODOMIRA- Lodana

Meses	Precipitación (mm/mes)	Evaporación (mm/mes)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Humedad Relativa máxima (%)	Humedad Relativa media (%)	Heliofanía (horas/mes)
<b>Año 2017</b>								
<b>Noviembre</b>	0	143,9	31,2	20,9	26	93	76	124,5
<b>Diciembre</b>	22	119,7	31	21,3	26,2	98	78	55
<b>Año 2018</b>								
<b>Enero</b>	45,4	152,5	32	21,4	26,7	98	77	99,7
<b>Febrero</b>	284,7	105,2	30,3	22,4	26,4	98	84	74,7
<b>Marzo</b>	180,7	139,9	32,4	22,3	26,8	97	82	118,3
<b>Abril</b>	60,6	154,4	31,8	21,8	26,8	97	79	145,6
<b>Mayo</b>	33,4	129,1	30,7	22,2	26,4	97	81	85,5
<b>Junio</b>	9	134,4	29,8	20,8	25,3	97	79	86,3

Fuente: INAHAMI (2018)

## 6.2.MATERIAL VEGETAL

Se escogió el cultivo de limón “Sutil”, de 12 años de edad, injertado sobre Mandarino “Cleopatra” (*Citrus reshii Hort. ex Tan.*), con un marco de plantación de 7 x 7 metros. Este patrón es utilizado por ser moderadamente tolerante a la sequía, una buena tolerancia a “gomosis de pie” (*Phytophthora sp.*), “exocortis” (CEVd- *Citrus Exocortis Viroid*) y resistente a “tristeza” (CTV- *Citrus Tristeza Closterovirus*) (Iniap, 2014).



Fotografía 2. Cultivo de limón ‘Sutil’

## 6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro bloques y cuatro tratamientos, cada tratamiento estuvo conformado, por ocho árboles que corresponde a la unidad experimental. El modelo lineal aditivo para el presente diseño experimental es el siguiente (Steel y Torrie, 1985).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$ : Es la observación de la  $i$ -ésimo tratamiento en el  $j$ -ésimo bloque.

$\mu$ : Es la media general del experimento.

$\tau_i$ : Es el efecto asociado del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\beta_j$ : Es el efecto asociado al  $j$ -ésimo bloque.

$\varepsilon_{ij}$ : Variación aleatoria asociada a la parcela del  $i$ -ésimo genotipo en el  $j$ -ésimo bloque.

### 6.3.1. Procedimiento experimental

Tabla 2. Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Contenido de agua en el suelo
T1	$ET_o * k_c$ de 0.3
T2	$ET_o * k_c$ de 0.5
T3	$ET_o * k_c$ de 0.7
T4	$ET_o * k_c$ de 0.9

Fuente: Elaboración del autor

#### Donde:

$ET_o$ : Evapotranspiración de Referencia. ( $mm\ d^{-1}$ )

$k_c$ : Coeficiente de cultivo (*Adimensional*)

### 6.3.2. Análisis funcional

Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el programa informático, SPSS. Los efectos de las diversas pruebas realizadas se determinaron mediante la aplicación del análisis de varianza unifactorial (ANOVA) y separación de medias (método de Tukey,  $p \leq 0.05$ ) de los datos.

### 6.3.3. Delineamiento experimental

Tabla 3. *Delineamiento experimental*

Diseño experimental	DBCA
Numero de tratamiento	4
Numero de bloques	4
Número de unidades experimentales	16
Superficie de la parcela experimental	392 m <sup>2</sup>
Superficie de la parcela útil	48 m <sup>2</sup>
Distanciamiento entre hilera	7 m
Distanciamiento entre árbol	7 m
Distanciamiento entre repeticiones	7 m
Número de plantas útiles	2
Número de plantas por unidad experimental	8
Número total de árboles en el ensayo	256
Área total del ensayo	12.544 m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración del autor

### 6.3.4. Croquis de Campo

T1	*	T2	*	T3	*	T4
T1	*	T2	*	T3	*	T4
T1	*	T2	*	T3	*	T4
T1	*	T2	*	T3	*	T4
T1	*	T2	*	T3	*	T4
T1	*	T2	*	T3	*	T4
T1	*	T2	*	T3	*	T4
T1	*	T2	*	T3	*	T4
T1	*	T2	*	T3	*	T4

**BLOQUE I**

T2	*	T3	*	T1	*	T4
T2	*	T3	*	T1	*	T4
T2	*	T3	*	T1	*	T4
T2	*	T3	*	T1	*	T4
T2	*	T3	*	T1	*	T4
T2	*	T3	*	T1	*	T4
T2	*	T3	*	T1	*	T4
T2	*	T3	*	T1	*	T4
T2	*	T3	*	T1	*	T4

**BLOQUE II**

T4	*	T2	*	T1	*	T3
T4	*	T2	*	T1	*	T3
T4	*	T2	*	T1	*	T3
T4	*	T2	*	T1	*	T3
T4	*	T2	*	T1	*	T3
T4	*	T2	*	T1	*	T3
T4	*	T2	*	T1	*	T3
T4	*	T2	*	T1	*	T3
T4	*	T2	*	T1	*	T3

**BLOQUE III**

T3	*	T4	*	T2	*	T1
T3	*	T4	*	T2	*	T1
T3	*	T4	*	T2	*	T1
T3	*	T4	*	T2	*	T1
T3	*	T4	*	T2	*	T1
T3	*	T4	*	T2	*	T1
T3	*	T4	*	T2	*	T1
T3	*	T4	*	T2	*	T1
T3	*	T4	*	T2	*	T1

**BLOQUE IV**



\*= Hilera borde de Árboles, entre cada tratamiento y entre Bloque.

## 6.4.EJECUCION EXPERIMENTAL

### 6.4.1. Selección de árboles

El experimento se instaló en un lote en producción, para la selección de los árboles, se consideró tener uniformidad en la altura, volumen, copa y edad de los árboles; así mismo, sean árboles sanos, sin ningún efecto de daño. Los árboles que no cumplían con estas características, se descartaron. Se seleccionaron como modelo dos árboles útiles, de las ocho unidades experimentales: donde, cada árbol modelo para los muestreos se seleccionaron dos ramas orientadas por cada punto cardinal (Norte, Sur, Este y Oeste).

### 6.4.2. Análisis de suelo y foliar

Se colecto una muestra de suelo procedente del área experimental antes de inducir los tratamientos, se obtuvo diez sub-muestras procedentes de los cuatros bloques para obtener un kilogramo de suelo: para el análisis foliar se escogieron hojas del tercio medio del árbol, esto se hizo para cada uno de los tratamientos, las hojas fueron guardadas en fundas de papel, para ser enviadas al laboratorio del INIAP - EET Pichilingue para su análisis nutricional de tejido.



Fotografía 3. *Muestra de suelo y hojas*

### 6.4.3. Sistema de riego

El sistema de riego utilizado fue riego por goteo, compuesto por dos anillos por árbol, el distanciamiento del primer anillo es, 0,90 metros del tronco y el otro a 1,70 metros del tronco. El primer anillo cuenta con 6 goteros, el segundo anillo con 10 goteros, cada árbol tiene 16 goteros espaciado a 0,80 m uno de otro, los mismos que tienen un sistema autocompensantes, que permite la distribución homogénea del agua, con capacidad de descarga de 8 L/h por árbol y como fuente de agua se utilizó un reservorio.

### 6.4.4. Determinación del sistema de riego

Para facilitar la investigación, el distanciamiento de los anillos estuvo en base a la distancia donde se encontraban las raíces horizontales con respecto al tronco, que fue alrededor de 1,35 m. Se utilizó el método del frasco Mariotte (Beléndez *et al.*, 2013), el cual consiste en utilizar envases realizándole dos agujeros, uno en la base de la botella y otro en el cuello. Esto se realizó para establecer el número y distanciamiento de los goteros, de esa manera poder garantizar el bulbo húmedo de cada árbol.



Fotografía 4. Método de frasco Mariotte

### 6.4.5. Inducción de los Tratamientos

Para dar inicio a los tratamientos, se saturó el suelo mediante el riego por inundación, la frecuencia de riego se estableció de forma arbitraria, inicialmente estuvo en un rango de 3 a 4 días y luego cada 8 días, la frecuencia dependió del comportamiento hídrico del cultivo, la humedad y las condiciones climáticas. Para medir la humedad de suelo se utilizó el método gravimétrico.

#### 6.4.6. Lámina de riego

Para establecer la lámina de riego se tomó en cuenta las ganancias y pérdidas de humedad, realizando un balance hídrico (Guerra *et al.*, 2015). Luego se determinó a cuantos centímetros se encontraban las raíces efectivas en el suelo, con la finalidad de tener conocimiento hasta que profundidad se iba a irrigar, en el experimento se encontraron de 20-30 cm. Para el cálculo de lámina de riego se multiplico el  $ET_o$  por cada uno de los  $k_c$  antes dicho (Tabla 2), utilizando la siguiente formula:

$$ET_c = ET_o \times k_c$$

**Donde:**

$ET_c$ : Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar [ $mm\ día^{-1}$ ]

$ET_o$ : Evapotranspiración del cultivo de referencia [ $mm\ día^{-1}$ ]

$k_c$ : Coeficiente del cultivo

#### 6.4.7. Volumen de agua

Para establecer el volumen de agua en litros, se utilizó cada uno de los valores de  $ET_c$  obtenidos en la formula anterior y se multiplico por el área humedecida y por  $10^{-3}$ . Para el cálculo del volumen de agua se utilizó la siguiente formula

$$V = ET_c \times Ah$$

**Donde:**

V: Volumen de agua aplicar.

Ah: Área humedecida (metros).

#### 6.4.8. Tiempo de aplicación de dicho volumen

Para esto se calculó el caudal del gotero ( $\theta_s$ ), que se obtuvo multiplicando la cantidad de goteros por la descarga del gotero. Luego se determinó el tiempo en que se aplicará dicho volumen, para ello se utilizó la siguiente formula:

$$T = \frac{V}{\theta_s}$$

**Donde:**

V: Volumen de agua aplicar.

$\theta_s$ : Caudal de gotero.

#### **6.4.9. Método de Balance Hídrico**

Para saber cómo regar y cuando regar se utilizó el método de balance hídrico, para este método se consideraron los siguientes parámetros: precipitación, promedio mensual, precipitación efectiva, evaporación, evapotranspiración potencial del cultivo y el coeficiente del cultivo (FAO, 2006).

Para el cálculo de la  $ET_0$  se utilizó el método de FAO de Penman-Monteith98, para facilitar la inserción de datos, se utilizó el modelo de simulación CROPWAT 8.0 y los datos fueron obtenidos con apoyo de la Estación meteorológica LA TEODOMIRA- INAHAMI.

### **6.5. MEDICIONES DE LAS VARIABLES**

#### **6.5.1. Variables Fisiológicas**

Se colectó material foliar fresco del campo, de la parte mesotónica del árbol se seleccionó ramas productivas de posición intermedia, sin daños abióticos y bióticos, las hojas que se colectaron, se ubicaron en el tercio medio del brote vegetativo, inmediatamente estas muestras fueron congeladas con nitrógeno líquido (De Ollas *et al.*, 2012) para luego ser enviadas al laboratorio donde se realizaron los análisis.

El primer análisis se realizó al segundo mes de temporada de riego y el otro análisis al segundo mes de la temporada de precipitación, para la temporada de precipitación se obtuvo una media de 26 % de humedad del suelo (H.S). Los análisis fueron realizados por el Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), que pertenece a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

## 6.5.2. Comportamiento hídrico

### 6.5.2.1. Potencial Hídrico del xilema ( $\Psi_{\text{tallo}}$ )

Se realizaron cuatro lecturas de  $\Psi_{\text{tallo}}$  del mediodía, con intervalos de 30 días entre cada medición. Para este fin, se escogió el tercio medio de la copa, hojas sanas, totalmente desarrollada, expuestas al sol. Para medir el estado hídrico general ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) del árbol, se usaron hojas previamente tapadas cuidadosamente con bolsas de papel y cobertura de aluminio, durante 60 minutos (Meyer y Reicosky, 1985), la determinación del potencial hídrico se midió con la bomba de presión de Scholander (Modelo **3005F01**) de acuerdo a la metodología de Scholander *et al.*, (1964). Se utilizó como material de apoyo una lupa para observar la primera gota de agua sobre el corte realizado, luego se anotó el valor de la presión en Bar y MPa (Turner, 1981; Shackel, 2003).

Las lecturas realizadas fueron en dos temporadas, la temporada I, corresponde a los meses donde se indujo los tratamientos de riego que, a su vez, se divide en evaluación (1) y evaluación (2), y la temporada II, corresponde a los meses donde se presentaron las precipitaciones, en la cual se consideró, la sumatoria en milímetros (mm) de siete días antes de cada de cada evaluación, resultando; evaluación (1) con 22,2 mm y evaluación (2) con 3,9 mm. Adicionalmente se hizo un figura donde se muestra, un valor el promedio del  $\Psi_{\text{tallo}}$  pertenecientes a los dos meses de evaluación de la temporada II.



Fotografía 5. Lectura del Potencial Hídrico del Tallo

### 6.6.2.2. Medición de la Conductancia estomática

Para medir la Conductancia Estomática ( $g_s$ ), se utilizó el Porómetro marca **DECAGON** modelo **SC-1** que mide la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja en  $\frac{mmol}{m^2s}$ . Para este fin, se escogió el tercio medio de la copa, hojas sanas, totalmente desarrolladas, expuestas al sol.

Las lecturas de los parámetros hídricos fueron, realizadas al mes de haber inducido los tratamientos. La conductancia estomática ( $g_s$ ), para su interpretación, se dividió en, evaluación (1), que son los valores pertenecientes a los meses de inducción de los tratamientos de riego, y, la evaluación (2), pertenecen a los meses, donde se presentaron las precipitaciones, se escogieron los mismos árboles de la evaluación (1), como también, se tomó en consideración la acumulación de milímetros (3,9 mm) de siete días antes de la evaluación. Adicionalmente se hizo una figura donde, se expone la cantidad de milímetros de agua que cayeron durante los dos meses de precipitaciones.



Fotografía 6. Lectura de la Conductancia Estomática

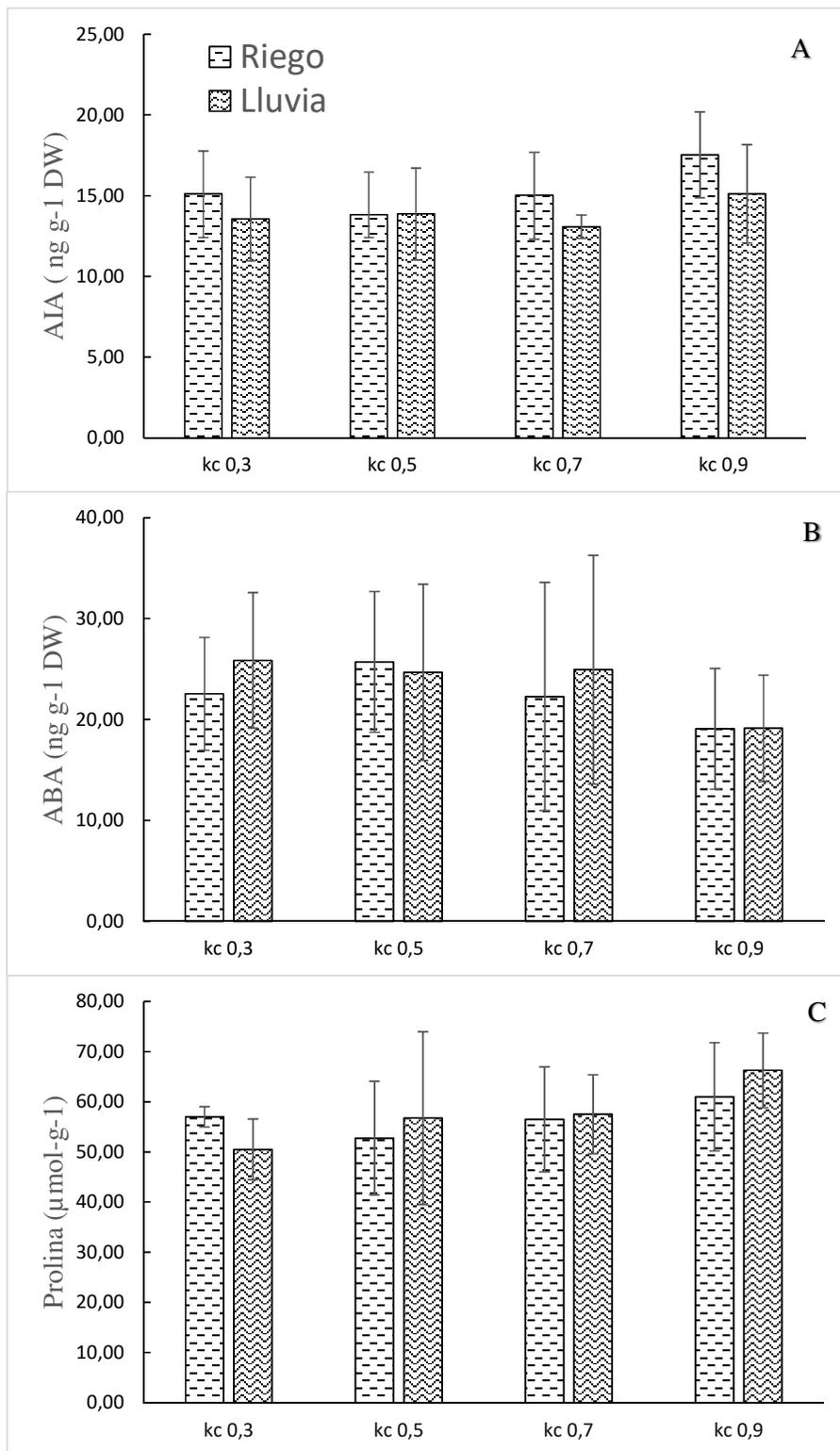
## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. CONTENIDO HORMONAL DURANTE EL RIEGO Y EL PERIODO DE LLUVIA.

No hubo diferencias estadísticas significativas, en los niveles de AIA, ABA y Prolina entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ). En la figura 1A, durante la temporada de riego, se aprecia que los niveles de AIA aumentan a medida que existe mayor cantidad de agua, siendo el  $k_c$  0,9 (17,53 ng g<sup>-1</sup>) el que mostró más concentración de AIA, por el contrario, los  $k_c$  0,3 (15,12 ng g<sup>-1</sup>) y  $k_c$  0,5 (13,82 ng g<sup>-1</sup>), son los de menor cantidad agua, de igual modo, son los de menor concentración. El agua es uno de los factores, que condicional la floración y fructificación de los frutales (Goldschmidt, 2013), quizás al existir más contenido de agua en el suelo, los brotes fueron influenciados para dar inicio a la floración, lo cual trajo consigo el aumento de auxina. Así mismo, Koshita *et al.* (1999) en cultivo de mandarina 'Satsuma' observaron que el contenido de AIA en árboles con estrés hídrico moderado, fue dos veces mayor, en comparación con árboles con estrés hídrico severo, además, el alto contenido de AIA en hojas, provenían de ramas que habían iniciado floración.

En la temporada de lluvia, se puede apreciar, que existe una tendencia de haber más concentración de AIA en los árboles que estuvieron sometidos a los  $k_c$  de mayor cantidad de agua durante la temporada I, siendo los árboles, del  $k_c$  0,9 (15,12 ng g<sup>-1</sup>) los que obtuvieron más niveles de AIA durante esta temporada, probablemente los tratamientos de riego de la temporada de riego, influenciaron en el contenido de AIA de los árboles. Sin embargo las concentraciones AIA, depende de muchos factores, por ejemplo, en tanger 'Nadorcott' el micro-rayado del pedúnculo modificó el contenido de AIA a lo largo del brote; la concentración de AIA fue significativamente mayor en los nudos del brote «on» que en el fruto, alcanzando un valor máximo de 200 ng g<sup>-1</sup> en el nudo 3 (Montagud, 2015): Mientras que, Shalom *et al.* (2014) en mandarina 'Murcott' manifiestan que los niveles de AIA son significativamente más altos en brotes de árboles «on» en comparación con brotes «off», y la vez, el contenido de AIA disminuyó cuando se eliminan los frutos.

Los niveles de ABA (Figura 1B) en la temporada riego, fue mayor en los tratamientos donde se aplicó menor cantidad de riego, apreciándose los  $k_c$  0,3 (22,56 ng g<sup>-1</sup>) y  $k_c$  0,5 (25,72 ng g<sup>-1</sup>) con los menores niveles de ABA, es probable que la deshidratación de las raíces, ocasionada por la poca disponibilidad de agua en el suelo, generó la síntesis de ABA y así poder reducir el daño por estrés hídrico (López *et al.*, 2008).



**Figura 1.** Contenido de AIA (A), ABA (B) y Prolina (C) durante la época seca con las láminas de riego establecidas en cuatro coeficientes de cultivo ( $k_c$ ) y durante la época de lluvia. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media para cada una de las variables.

Así, por ejemplo, Koshita *et al.* (1999), en mandarina ‘Satsuma’ el contenido de ABA fue dos veces mayor en árboles con estrés hídrico severo, con respecto a los árboles con estrés hídrico moderado. Caso contrario, Contreras (2015) en el cultivo de limón mexicano menciona que, al medir concentraciones ABA, en condiciones controlada, regando una parte de la raíz (50%), determinó que el tratamiento con mayor concentración de ABA (1200 ng ABA/g DW) fue en hojas de árboles regados diariamente, con un 100 % Et<sub>0</sub>, siendo el mejor tratamiento.

Los kc 0,7 (22,26 ng g<sup>-1</sup>) y kc 0,9 (19,10 ng g<sup>-1</sup>) son los de menor concentración de ABA, esto indica que estos niveles de agua, no origino estrés hídrico en los árboles y los niveles de ABA se mantuvieron en condiciones normales. Algo semejante, ocurre con Gamir (2012) en árboles de ‘Citrange Carrizo’, donde el contenido de ABA en raíces aumentó en plantas estresadas y al mismo tiempo aumentó en hojas, observándose que alcanzó en nueve días sin riego, un valor siete veces mayor que las plantas control.

En cuanto a la Temporada lluvia, los niveles de ABA se incrementaron ligeramente, a lo mejor, existieron otros factores presentes al momento del análisis, posiblemente, los niveles de ABA fueron influenciados por otros factores, tal como muestra Shalom *et al.* (2014) en el cultivo de mandarina ‘Murcott’, los niveles de ABA en brotes «on» son más alto en comparación con brotes off, pero, estos niveles aumentaron durante cada tiempo de análisis, mientras que, en brotes donde se raleó los frutos, los niveles de ABA disminuyeron en comparación con brotes «on».

En el caso de, Lagranja (2016) en mandarina ‘Moncada’, el contenido de ABA en hojas y yemas de árboles «on», tiende a tener similares concentraciones, por el contrario, en árboles «off» el contenido de ABA en hojas, sin presencia de fruto, llegó hasta 1700 ng g<sup>-1</sup> PF, disminuyendo significativamente (x<sup>4</sup>) durante el siguiente mes, luego fluctuó en los meses de evaluación hasta antes de la brotación, en el caso de las yemas, las concentraciones de ABA aumentaron levemente desde octubre hasta noviembre alcanzando los 600 ng g<sup>-1</sup> PF.

En ‘Citrange Carrizo’ el contenido de ABA en hojas de árboles encharcados, se incrementó a los 21 días de haber comenzado el ensayo, y el contenido, fue mayor en hojas adultas, con 2,3 veces mayor en comparación con hojas de árboles control; por otro lado, árboles sin encharcar los niveles permanecieron bajos sin diferencias significativas (Gamir, 2012).

Con respecto al contenido de Prolina (Figura 1C), en la temporada riego, la menor concentración de Prolina se observó en el  $k_c$  0,5 (52,75  $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ), es posible, que el comportamiento del  $k_c$  0,5, se debe, a que no existió problema en la absorción de agua, por lo que hace referencia, que estos árboles no presentaron síntomas por presencia de déficit hídrico.

Sin embargo, como se dijo anteriormente no hubo diferencias estadísticas significativas en el contenido de Prolina, probablemente esto ocurrió porque la frecuencia de riego fue corta, para que los tratamientos de riego se pudieran expresar, como lo muestra Escalona *et al.* (2011) en el cultivo de naranja 'Valencia' injertado sobre limonero 'Volkameriana', que el mayor contenido de prolina, con una concentración de 45,31  $\mu\text{g}$  materia seca fue cuando los árboles estuvieron estresados. Así mismo el reporte de Wagner *et al.*, 1998 en árboles de naranja 'Valencia', que estuvieron sometido a déficit hídrico, cuando existió una frecuencia de cada quince días con aplicación de riego, donde mostraron en promedio mayor concentración de prolina, con valores de 27,29  $\mu\text{mol}/\text{g}$  de materia seca.

En la temporada de lluvia, la concentración de Prolina, mantiene la misma tendencia que la temporada anterior, se podría postular que el tiempo de inducción de riego fue corto, por esta razón no se expresaron los tratamientos y no hubieron diferencias entre los tratamientos, tal como muestra Manzi (2011) en cultivares de naranja 'Valencia' y 'Ellendale', el contenido de Prolina fue mayor en árboles que presentaron déficit hídrico severo, con potencial hídrico foliar que fluctuó entre -4,0 MPa, además la concentración de prolina incrementó a lo largo del periodo de estrés hídrico, en comparación con árboles regado eficientemente y árboles con déficit hídrico moderado, cabe destacar, que el contenido de prolina fue siempre menor, en comparación de aquellos árboles con un déficit hídrico severo.

## **7.2.RELACIONES AGUA-PLANTA**

### **7.2.1. Conductancia estomática ( $g_s$ )**

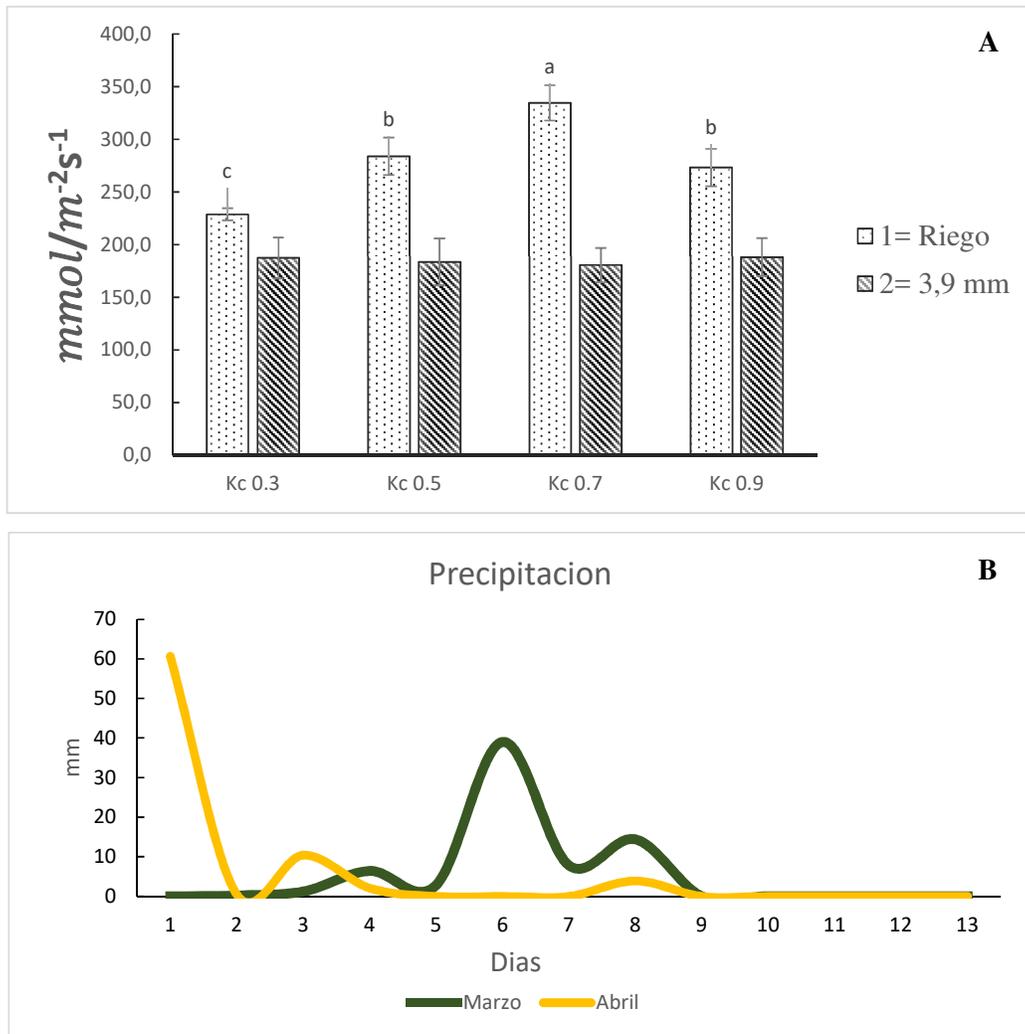
En la figura 2A, muestra la evaluación (1), en donde se observa la  $g_s$  durante el riego en los diferentes  $k_c$ , se aprecia que existen diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ), donde el  $k_c$  0,7 (334,6  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) mostró mayor apertura estomática. Tal vez, la disponibilidad de agua en suelo en este tratamiento, ocasionó que las raíces gocen de buena humedad en suelo, permitiéndole tener un grado de apertura estomática alto. Indiscutiblemente el estado hídrico de estos árboles fue el óptimo, tal como expone las medidas mostradas.

Por otro lado, los tratamientos con menor cantidad de agua, fueron los que presentaron menor  $g_s$ , siendo el  $k_c$  0,3 ( $228,8 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) con el de menor  $g_s$ . El agua es un elemento esencial en protoplasma, mantiene la turgencia en la célula lo cual es importante para la regulación de la apertura estomática (Azcón y Talón, 2008), posiblemente la disponibilidad hídrica en los árboles, con menor cantidad de agua afecto la apertura estomática, ocasionando que los niveles de  $g_s$  disminuyeran considerablemente, con el fin de evitar deshidratación celular. De manera análoga Manzi (2011) reportó, que en dos cultivares de naranja ‘Valencia’ y ‘Ellendale’, la  $g_s$  disminuyó, cuando éstas, se sometieron a déficit hídrico severo, las mismas que registraron niveles menores a  $20 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , mientras que las plantas con estrés hídrico moderado, presentaron valores similares a las plantas bien regadas.

El  $k_c$  0,9 ( $273,2 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) con mayor cantidad de agua, obtuvo valores superiores en comparación con el 0,3 ( $228,8 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) que es el de menor volumen de agua, al mismo tiempo, obtuvo un comportamiento negativo en comparación con el  $k_c$  0,7. En particular este tratamiento fue el de mayor aportación de agua y el suelo se mantuvo saturado, quizás esta saturación por exceso de agua, produjo que las raíces se vean afectada por anoxia. Así, por ejemplo, en el cultivo de ‘Citrange Carrizo’ sometido a estrés hídrico, la  $g_s$  disminuyo de manera progresiva a lo largo del ensayo, alcanzando valores inferiores a  $60 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a los nueve días de haber empezado el ensayo, cabe destacar, que en plantas en las que no se inhibió la síntesis de ABA redujeron rápidamente su  $g_s$  (Gamir, 2012). Por otra parte, en limón mexicano el secado parcial de las raíces de los árboles, no tuvo efecto en la conductancia estomática de las hojas, estos resultados sugieren, que los estomas, se mantuvieron en el mismo grado de apertura en los diferentes tratamientos (Contreras, 2015).

En la figura 2A, muestra la evaluación (2), en la que no hubo diferencias estadísticas significativas, debido a la influencia de las precipitaciones. Los valores de  $g_s$  fueron más bajos (los rangos oscilaron de  $180,6$  a  $188,1 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) en comparación con los valores mostrados del  $k_c$  0,3 durante la evaluación (1), el cual fue el tratamiento con menor lámina de agua. Esta reducción de la  $g_s$  puede atribuirse, a que en días anteriores a la evaluación no hubo precipitaciones, y en el momento de la evaluación los árboles estaban en déficit hídrico, lo cual ocasionó que exista reducción de la  $g_s$ . La  $g_s$  constituye un parámetro integrador del estado de hidratación de la planta en condiciones de estrés hídrico, por reflejar entre otros aspectos, el estado hídrico del xilema, como también, el contenido de ABA y otros factores que afectan la apertura estomática (Flexas *et al.*, 2004).

En el cultivo de ‘Citrange Carrizo’ la  $g_s$  en plantas bien regadas, tuvo una media de  $172,6 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , mientras que en plantas encharcadas el valor de  $g_s$  se redujo en un 80% en comparación con las plantas control (Gamir, 2012). En la figura 2B, se muestra, las precipitaciones en días antes de la evaluación (2), donde el mes de Marzo, presento siete días antes de la evaluación de conductancia estomática, 22,2 mm de precipitación. Por otro lado, en el mes de abril, solo hubo 3,9 mm de precipitación, por ello la cantidad de agua ocasiono una reducción de la conductancia estomática durante la evaluación (2).



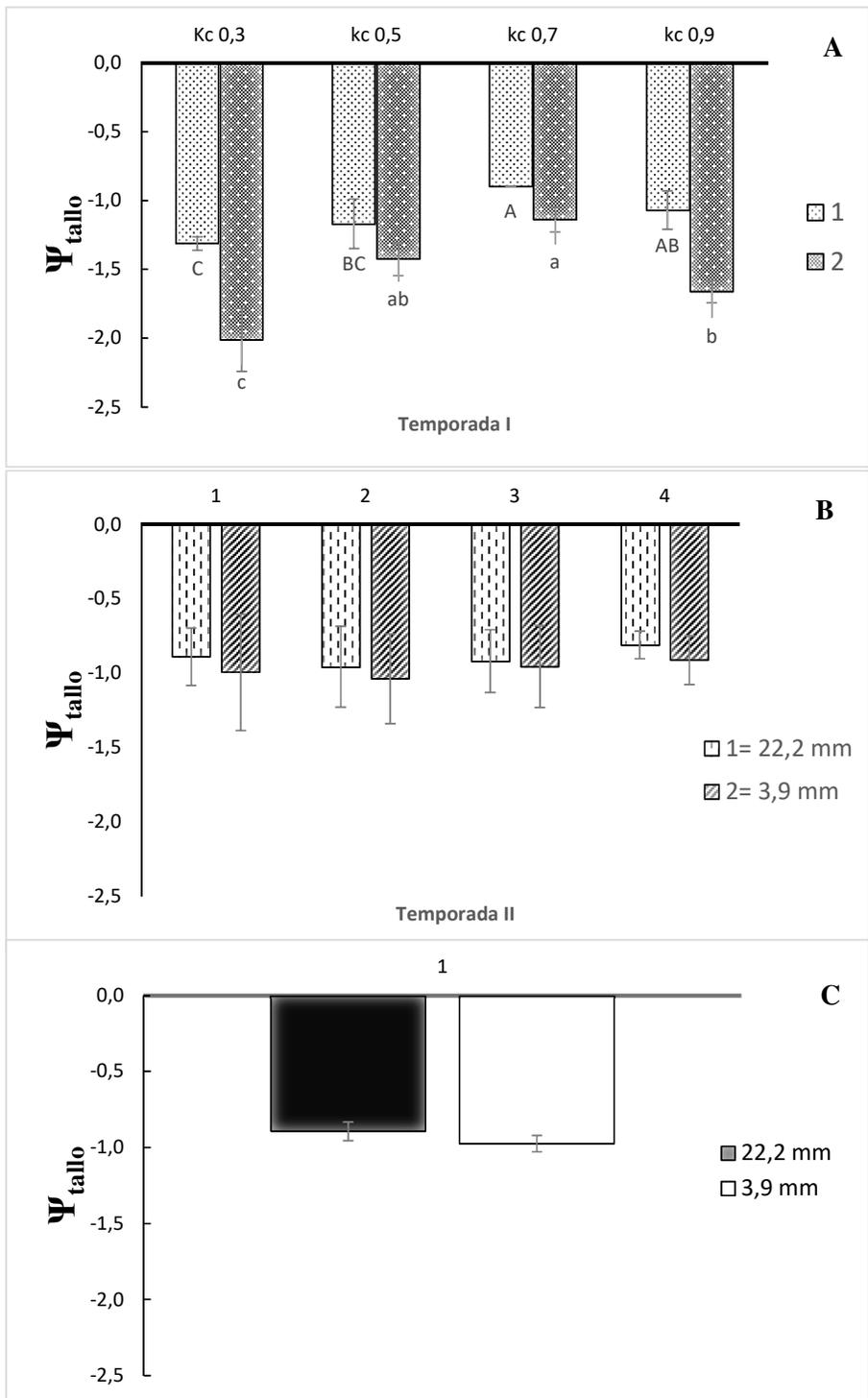
**Figura 2.** Efecto de la conductancia estomática (A) durante dos temporadas: la evaluación (1) representa la época seca con aplicación de los coeficientes de cultivo ( $k_c$ ). La evaluación (2), representa los valores obtenidos durante época de lluvia. (B) Comportamiento de la precipitación en los meses de la evaluación (2). Las barras verticales (A) indican la desviación estándar de la media.

### 7.2.2. Potencial hídrico xilemático ( $\Psi_{\text{tallo}}$ )

El potencial hídrico de la planta expresa, la tensión con la que se retiene el agua dentro la planta, mientras más tensión haya en la planta, la medida del estrés es mayor. El  $\Psi_{\text{tallo}}$  en la Figura 3A, donde existió diferencias estadísticas significativas en la temporada I, tanto en la evaluación (1) y evaluación (2) ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos, siendo para las dos evaluaciones el  $k_c$  0,7 el tratamiento con el mejor comportamiento.

En la Figura 3A, evaluación (1), se aprecia que, los valores del  $\Psi_{\text{tallo}}$  en el  $k_c$  0,3 (-1,3 MPa) fue el valor más negativo durante esta evaluación, seguido por el  $k_c$  0,5 (-1,2 MPa), existiendo una diferencia de -0,1 MPa entre estos tratamientos. El  $\Psi_{\text{tallo}}$  es sensible al déficit hídrico y la carencia de agua, ocasiona reducción del potencial hídrico. Por ejemplo, Cánovas (2012) reportó en pomelo, que el  $\Psi_{\text{tallo}}$ , en plantas bien regadas no existen diferencias en el comportamiento de los tratamientos, excepto cuando se limitó fuertemente el riego, y sus valores estuvieron por encima -1,0 MPa. Igualmente, Koshita y Toshio (2004) manifiestan que en mandarina 'Satsuma', los potenciales hídricos de árboles con estrés severo fueron más negativos en contraste con árboles con estrés moderado, además, la tasa de caída foliar en árboles severamente estresados fue mayor.

La evaluación (1) fue al mes de haber inducido los tratamientos, encontrándose los valores más positivos, en los tratamientos con mayor cantidad de agua, destacando el  $k_c$  0,7 (- 0,9 MPa) como el mejor tratamiento. El  $k_c$  0,7 fue el mejor tratamiento tanto en  $\Psi_{\text{tallo}}$  y  $g_s$ , apreciándose que la humedad en el suelo fue la óptima, estos parámetros indican que este tratamiento es el mejor por los valores mostrados. En el caso de Cánovas (2012), menciona en el cultivo de pomelo, el  $\Psi_{\text{tallo}}$  cuando se dio 50%  $ET_c$ , para las aplicaciones de riego, los valores de los árboles descendieron hasta -1,4 MPa. Cuando las condiciones de humedad en el suelo son óptimas, el potencial hídrico de los cítricos no descendiente drásticamente, teniendo en cuenta que, Pérez *et al.* (2009) reportaron valores de  $\Psi_{\text{tallo}}$  en naranja 'Lane late' con buen riego cercanos a -1 MPa. El  $k_c$  0,9 (-1,1 MPa) con mayor cantidad de agua, no se encuentra alejado del mejor tratamiento. Considerando que este descenso puede atribuirse, a que las raíces se encontraban en condiciones de anegamientos lo cual perturbo los potenciales de los árboles. Por otro lado, en mandarina 'Fortune', el  $\Psi_{\text{foliar}}$  de las plantas control (bien regadas), se mantuvo alrededor de -1,0 MPa durante los primeros 37 días del ensayo, cinco días después, estos valores bajaron alrededor de -1,5 MPa (Dell' Amico *et al.*, 2010).



**Figura 3.** Potencial del tallo ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) medido al medio día; **(A)** con los coeficientes de cultivo ( $k_c$ ), en dos fechas de evaluación, (1) y (2); **(B)** en la época de lluvia, en dos fechas de evaluación (1) y (2); **(C)** promedio por fecha de evaluación durante la época de lluvia. Las barras verticales indican la desviación estándar de la media y letras diferentes mayúsculas y minúscula, indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ), por cada fecha de evaluación.

En la figura 3A, evaluación (2), los valores se incrementaron con respecto a la evaluación (1), donde el  $k_c$  0,3 (-2 MPa) fue el potencial más bajo (negativo), además se aprecia que, en los dos meses de inducción de los tratamientos, en particular el  $k_c$  0,3, descendió con -0,7 MPa entre la segunda y primera medición. Una de las razones por la que pudo deberse este comportamiento, es que el estrés hídrico se acentúa por varios factores, entre ellos la duración del mismo. El  $k_c$  0,7 (-1,1 MPa) fue el valor más positivo en esta evaluación, en el que se muestra que existió una diferencia -0,2 MPa entre la segunda y primera medición, siendo el tratamiento con valores de  $\Psi_{\text{tallo}}$  óptimos durante el ensayo.

En la figura 3B, evaluación (1), donde no existió diferencias estadísticas significativas durante las dos evaluaciones ( $P < 0.05$ ), debido a la incidencia de las lluvias, que homogeneizaron el efecto entre los tratamientos. Sin embargo, durante la evaluación (1) los valores de  $\Psi_{\text{tallo}}$  están dentro de un rango de -0,8 a -1 MPa, probablemente porque existió una acumulación de 22,2 mm de lluvia en los siete días antes a la medición, por otra parte, en la evaluación (2), los valores  $\Psi_{\text{tallo}}$  se vuelve ligeramente más negativo que los anteriores, debido a que hubo una acumulación de 3,9 mm de lluvia en los siete días antes a la medición, y los valores oscilaron en rango de -0,9 a -1 MPa. En cuanto a la intensidad del déficit, se ha comprobado que el cultivo de mandarina 'Fortune', los valores del potencial hídrico de tallo a mediodía ( $\Psi_t$ ) en torno a -2 MPa durante el período crítico de la fase II, no ocasionó reducciones significativas en la producción, durante los dos primeros años de experimentación (Pagán, 2012).

Por último en la figura 3C, donde no hubo diferencias estadísticas significativas, se muestran el promedio de la primera y segunda fecha de evaluación perteneciente a la figura 3B, donde se aprecia que el mes donde existió mayor precipitación, los potenciales tienden a ser más positivos; mientras que, el mes donde hubo menor precipitación los valores fueron ligeramente más negativos, cabe recalcar, que los valores encontrados no fueron superiores a -1,1 MPa. Como respuesta al estrés hídrico, se detiene el desarrollo de la planta, así también, se aprecia reducción del potencial hídrico, de la conductancia estomática, lo que trae consigo una menor asimilación de  $\text{CO}_2$  (Pérez-Pérez *et al.*, 2009).

## VIII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten emitir las siguientes conclusiones:

Las concentraciones de AIA, ABA y Prolina no presentaron diferencias estadísticas significativas, esto se atribuye porque la frecuencia del riego fue corta para expresar los tratamientos.

El tratamiento  $k_c$  0,3 con menor lámina de riego, presentó los valores de potenciales más negativos, de igual manera, presentó los valores de conductancia estomática más bajos. Durante los meses de estudio, específicamente la temporada I de suministro de riego al cultivo, el potencial del tallo con lectura al medio día, presentaron comportamiento similar entre los  $k_c$  0.7 y el  $k_c$  0.9.

La interacción de los coeficientes de cultivos con los parámetros hídrico, determina que, durante la temporada de riego el  $k_c$  0,7 es el mejor tratamiento para establecer en el campo, siendo los árboles de mejor comportamiento con respecto a los parámetros hídrico.

Los valores de  $\Psi_{\text{tallo}}$  y  $g_s$  mantienen una relación proporcional, es decir que, a medida que los valores del  $\Psi_{\text{tallo}}$  son más positivo, los valores de  $g_s$  aumentan, mientras que, cuando los valores de potencial hídrico son más negativos, los valores de conductancia estomática se reducen.

## **IX. RECOMENDACIONES**

Atendiendo los resultados obtenidos en la presente investigación e incógnitas encontradas en el desarrollo de la misma se recomienda:

Como no se encontró diferencias estadísticas significativas, en los niveles de AIA, ABA y Prolina, se recomienda ampliar la frecuencia de riego, como también evaluar por un periodo más largo.

Así mismo, se sugiere evaluar por más meses el potencial hídrico del tallo de la planta, como también si es posible realizar una medición por semana, así mismo para el parámetro de conductancia estomática. Comparar los datos con posteriores investigaciones, especialmente, potencial hídrico y conductancia estomática, comparando datos de época seca y de lluvia, como también, realizar ajuste de metodología para tener más precisión en la medición, ya que, estos parámetros son muy susceptible a las variaciones del ambiente.

Atendiendo las incógnitas encontradas durante el desarrollo de la investigación y no abordadas aún se recomienda que, en futuras investigaciones se evalué los coeficientes de cultivo utilizados, especialmente con precisión los  $k_c$  0,5 y  $k_c$  0,7 con el fin de encontrar la lámina óptima, para satisfacer las necesidades hídricas.

## X. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ackerly, D., Knight, C., Weiss, S., Barton, K., Starmer, K. (2002). Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia*, 130(3), 449-457.
- Agustí, M. (2003). *Citricultura* (2 ed.). Madrid, España: Mundi - Prensa. 422 p.
- Agustí, M. (2004). *Fruticultura*. Madrid. España: Mundi - Prensa. 493 p.
- Agustí, M. (2010). *Fruticultura*. (2 ed.). Madrid, España: Mundi - Prensa. 507 p.
- Álvarez, S., Navarro, A., Bañón, S., y Sánchez, M. J. (2009). Regulated deficit irrigation in potted *Dianthus* plants: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 579-585.
- Amorós, M. (1999). *Producción de Agrios* (2 ed.). Madrid, España: Mundi - Prensa.
- Apelbaum, A., y Yang, S. (1981). Biosynthesis of stress ethylene induced by water deficit. *Plant Physiology*, 68(3), 594-596.
- Ashraf, M. (2012). Waterlogging stress in plants: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 7(13), 1976-1981.
- Azcón-Bieto, J y Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Madrid, España: McGRAW- HILL. 614 p.
- Beléndez, A., Francés, J., Ortuño, M., Gallego, S., Márquez, A., Beléndez Vázquez, T. y Arribas Garde, E. (2013). El frasco de Mariotte: vaciado de un depósito a velocidad constante.
- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D., y Castel, J. (2011). Response of Clementina de Nules citrus trees to summer deficit irrigation. Yield components and fruit composition. *Agricultural water management*, 98(6), 1027-1032.
- Bray, E. (1997). Plant responses to water deficit. *Trends in plant science*, 2(2), 48-54.
- Cánovas Ros, E. (2012). Influencia del riego deficitario controlado y agua regenerada en árboles jóvenes de pomelo. Tesis de Fin de Master. Universidad Politécnica de Cartagena, ES. 56p.
- Cañadas, L. (1983). El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Banco Centra de Ecuador. 210p.
- Cañizares, A., Sanabria, M. E., Rodríguez, D., y Perozo, Y. (2003). Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 3(1), 59-64.

- Caiza, J. (1992). Estudio de fuentes y dosis de nitrógeno para el cultivo de limón criollo (*Citrus aurantifolia* L.) Chiristm Swingle de Manabí. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Manabí. EC. 89 p.
- Cardozo, M., y Quiriban, A. (2018). Las proteínas en la tolerancia al estrés hídrico en plantas. *Semiárida*, 24(1).
- Contreras, B. (2015). Efecto del secado parcial de la raíz del Limón Mexicano (*Citrus Aurantifolia*) en la tasa de fotosíntesis y la eficiencia del uso del agua. Tesis de Ingeniero Agrónomo en Irrigación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, MX. 58 p.
- Chávez, L., Álvarez, A., y Ramírez, R. (2012). Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 47-56.
- Davenport, T. (1990). Citrus flowering. In: Hort. Rev. Vol. 12. p. 349-408.
- Davies, F., y Albrigo . L.G. (1999). Cítricos. Editorial ACRIBIA, s. A Zaragoza (españa). 283 pp
- Dell'Amico, J. M., Domingo, R., Pérez, A., García, M., Peñalver, M., Villanueva, F., y Puerto, P. (2010). Relaciones hídricas y contenido iónico en plantas de mandarina CV Fortune durante un ciclo de sequía y recuperación en la etapa de rápido crecimiento del fruto. *Cultivos Tropicales*, 31(4), 00-00.
- De Ollas, C., Mengual, V. A., Zandalinas, S. I., y Cadenas, A. G. (2012). El ácido jasmónico señala la respuesta de los cítricos a la sequía. *Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos*, (410), 105-109.
- De Souza Prado, A. K., Caruso Machado, E., Medina, C. L., Fávero sao Pedro Machado, D., y Mazzafera, P. (2007). Florescimento e frutificação em laranjeiras' Valência' com diferentes cargas de frutos e submetidas ou não à irrigação. *Bragantia*, 66(2), 174-182.
- Díaz, P., Borsani, O., y Monza, J. (1999). Acumulación de prolina en plantas en respuesta al estrés osmótico. *Agrociencia*, 3(1), 1-10.
- Erice, G., Irigoyen, J. J., Pérez, P., Martínez-Carrasco, R., y Sánchez-Díaz, M. (2006). Effect of elevated CO<sub>2</sub>, temperature and drought on photosynthesis of nodulated alfalfa during a cutting regrowth cycle. *Physiologia Plantarum*, 126(3), 458-468
- Erice, G., Aranjuelo, I., Irigoyen, J. J., y Sánchez-Díaz, M. (2007). Effect of elevated CO<sub>2</sub>, temperature and limited water supply on antioxidant status during regrowth of nodulated alfalfa. *Physiologia Plantarum*, 130(1), 33-45.

- Erice, G., Louahlia, S., Irigoyen, J. J., Sanchez-Diaz, M., y Avice, J. (2010). Biomass partitioning, morphology and water status of four alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. *Journal of plant physiology*, 167(2), 114-120.
- Escalona, G. L., Wagner, M., Marín, C., Rangel, L. R., Medina, G., y Espinoza, M. (2011). Evaluación del estrés hídrico en el cv Valencia injertado sobre “Cleopatra”, “Volkameriana” Y “Carrizo”. *Venesuelos*, 7(1 y 2), 38-44.
- Escaso, F., Martínez, J., y Planello, M<sup>a</sup>. (2010). *Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal*. Madrid- España. Pearson Educación S.A. 251 p.
- Espinoza, A. (2004). Evaluación del control biológico natural de las principales plagas del cultivo de limón sutil y su dinámica población en el valle Rio Portoviejo. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica de Manabí, EC. 90 p.
- FAO. (2006). Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. estudio FAO riego y Drenaje no. 56 roma.
- FAOSTAT. (2014). Producción Mundial de Cítricos. Recuperado el 26 de Julio de 2017, a partir de: « <http://www.fao.org/faostat/en/#home>»
- FAOSTAT. (2014). Producción Mundial de Limones y Limas. Recuperado el 2 de Agosto de 2017, a partir de: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>>
- Flexas, J., Bota, J., Cifre, J., Escalona, J., Galmés, J., Gulías, J., Lefi, E., Martínez, S., Morena, M., Ribas, M., Riera, M., Sampol, B., y Medrano, H. (2004). Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Ann. Appl. Biol.* 144: 273-283.
- Galván-Luna, J. J., Briones-Encinia, F., Rivera-Ortiz, P., Valdes-Aguilar, L. A., Soto-Hernández, M., Rodríguez-Alcázar, J., y Salazar-Salazar, O. (2009). Amarre, rendimiento y calidad del fruto en naranja con aplicación de un complejo hormonal. *Agricultura técnica en México*, 35(3), 339-345.
- Gamir, J. (2012). Conductancia hidráulica en patrones de Cítricos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, ES. 184p.
- García-Luís, A., Kanduser, M., Santamarina, P., y Guardiola, J. L. (1992). Low temperature influence on flowering in Citrus. The separation of inductive and bud dormancy releasing effects. *Physiologia Plantarum*, 86(4), 648-652.

- García-Sánchez, F., Carvajal, M., Porras, I., Botía, P., y Martínez, V. (2003). Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of 'Fino 49' lemon. *European Journal of Agronomy*, 19(3), 427-437.
- García-Sánchez, F., Syvertsen, J. P., Gimeno, V., Botía, P., y Pérez-Pérez, J. G. (2007). Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. *Physiologia Plantarum*, 130(4), 532-542.
- González-Altozano, P., y Castel, J. R. (2003). Riego deficitario controlado en 'Clementina de Nules'. I. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. *Span J Agric Res*, 1(2), 81-92.
- Goldschmidt, E. E. (2013). The evolution of fruit tree productivity: a review. *Economic botany*, 67(1), 51-62.
- Goldschmidt, E. E., y Koch, K. E. (1996). Citrus. Photoassimilate distribution in plants and crops. New York: Marcel Dekker Inc, 797-823.
- Guerra, D. D., Grajales, L. C., y Rojas, L. R. (2015). Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia Tanaka* (Rutaceae). *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 87-93.
- Hsiao, T. (1973). Plant responses to water stress. *Annual review of plant physiology*, 24(1), 519-570.
- Iglesias, D. J., Cercós, M., Colmenero-Flores, J. M., Naranjo, M. A., Ríos, G., Carrera, E., y Talon, M. (2007). Physiology of citrus fruiting. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 333-362.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias EEP (INIAP). (2014). Guía Técnica sobre el manejo de los cítricos en el litoral ecuatoriano (2 ed.). Manual técnico. N°101. 1-71 p.
- Jerez, M. (1987). La prolina y su relación con el estrés hídrico. *Revista cultivos Tropicales*. Cuba, 22, 15-30.
- Koshita, Y., Takahara, T., Ogata, T., y Goto, A. (1999). Involvement of endogenous plant hormones (IAA, ABA, GAs) in leaves and flower bud formation of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Scientia Horticulturae*, 79(3-4), 185-194.
- Koshita, Y., y Takahara, T. (2004). Effect of water stress on flower-bud formation and plant hormone content of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Scientia Horticulturae*, 99(3), 301-307.

- Lagranja, S. (2016). Inhibición de la inducción floral en los cítricos. Factores hormonales relacionados con la presencia del fruto. Trabajo de Fin de Master. Universidad Politécnica de Valencia, Es. 71p.
- Lascano, C., y Spain, J. (1988). Establecimiento y renovación de pasturas. Memoria, VI reunión del comité de asesores de la RIEPT (Red internacional de evaluación de pastos tropicales) Veracruz, México.
- López-Ordaz, A., Trejo-López, C., Peña-Valdivia, C. B., Ramírez-Ayala, C., Tijerina-Chavez, L., y Carrillo-Salazar, J. A. (2008). Secado parcial de la raíz de jitomate: efectos en la fisiología de la planta y calidad de fruto. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 297-302.
- Martínez-Alcántara, B., Jover, S., Quiñones, A., Forner-Giner, M., Rodríguez-Gamir, J., Legaz, F., y Iglesias, D. (2012). Flooding affects uptake and distribution of carbon and nitrogen in citrus seedlings. *Journal of plant physiology*, 169(12), 1150-1157.
- Mansfield, T. A., y Atkinson, C. J. (1990). Stomatal behaviour in water stressed plants. *Plant biology (USA)*.
- Manzi Fraga, M. (2011). Respuesta metabólica y reproductiva de dos variedades de cítricos bajo estrés hídrico. Tesis Master. Universidad de la Republica, UR. 85p.
- Mateus-Cagua, D., y Orduz-Rodríguez, J. (2015). Mandarina Dancy: una nueva alternativa para la citricultura del piedemonte llanero de Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 105-112.
- Mahouachi, J., Gómez-Cadenas, A., Primo-Millo, E., y Talon, M. (2005). Antagonistic changes between abscisic acid and gibberellins in citrus fruits subjected to a series of different water conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24(3), 179-187.
- Maya Ambía, C. J. (2017). Cítricos mexicanos en el mercado japonés: experiencias y oportunidades para Sinaloa. *México y la Cuenca del Pacífico*, 6(16), 107-142.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., y Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (43).
- Mentaberry, A. (2007). Tolerancia a estreses abióticos. Curso de Agrobiotecnología. Departamento de Fisiología. Fac. Cs. Exactas y Naturales. UBA. Argentina.
- Mesejo, C., Martínez-Fuentes, A., Juan, M., Almela, V., y Agustí, M. (2003). Vascular tissues development of citrus fruit peduncle is promoted by synthetic auxins. *Plant growth regulation*, 39(2), 131-135.

- Meyer, W. S., y Reicosky, D. C. (1985). Enclosing leaves for water potential measurement and its effect on interpreting soil-induced water stress. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35(1-4), 187-192.
- Maya Ambía, C. J. (2015). Cítricos mexicanos en el mercado japonés: experiencias y oportunidades para Sinaloa. *México y la Cuenca del Pacífico*, 6(16), 107-142.
- Micheloud, N. (2013). Comportamiento fenológico-reproductivo de variedades de cítricos en la zona centro de la provincia de Santa Fe. Tesis Master en Cultivos Intensivos. Universidad Nacional del Litoral, AR. 141 p.
- Montagud, M. (2015). Control hormonal de la brotación en los cítricos: dominancia del fruto. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Es. 53p.
- Montoliu, A. (2010). Respuesta fisiológica de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótica. Aspectos comunes y específicos. Tesis Doctoral de Ingeniería Agronómica. Universitat Jaume I: Escola superior de Tecnologia i Ciències Experimentals. 213 p.
- Morales, C. G., Pino, M. T., y Del Pozo, A. (2013). Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Scientia horticulturae*, 162, 234-241.
- Moreno, L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179.
- Moreno, F. (2003). Efecto de la cobertura vegetal viva y de desecho sobre la presencia de malezas en el cultivo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*). Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad Técnica Manabí, EC. 97p.
- Moreno, F. y Patricia, L. (2009). Plant responses to water deficit stress. A review. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191.
- Muentes, A. (2010). El tiempo de permanencia del fruto en el árbol y su relación con la floración en los cítricos. Tesis Doctoral. Universidad Politecnica de Valencia. 139p.
- Navarro, J. M., Pérez-Pérez, J. G., Romero, P., Botía, P. (2010). Analysis of the changes in quality in mandarin fruit, produced by deficit irrigation treatments. *Food Chemistry*, 119(4), 1591-1596.
- Nilsen, E., y Orcutt, D. (1996). Physiology of plants under stress. Abiotic factors. *Physiology of plants under stress. Abiotic factors.*

- Nolte, K. D., Hanson, A. D., y Gage, D. A. (1997). Proline accumulation and methylation to proline betaine in citrus: implications for genetic engineering of stress resistance. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122(1), 8-13.
- Ordúz Rodríguez, J. (2012). La ecofisiología de los cítricos en el trópico: el caso del piedemonte llanero de Colombia. Consultado el 17 de mayo de 2018. Disponible en: [«http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/562»](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/562)
- Orduz-Rodríguez, J., y 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).
- Orduz-Rodríguez, J., y Garzón, D. L. (2012). Alternancia de la producción y comportamiento fenológico de la naranja 'Valencia' (Citrus sinensis [L.] Osbeck) en el trópico bajo húmedo de Colombia. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2).
- Orduz, J. y Mateus, D. (2012). Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia. *Cítricos: cultivo, postcosecha e industrialización*. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista. Serie Lasallista Investigación y Ciencia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Corporación Universitaria Lasallista, 49-88.
- Ortuño, M. F., Alarcón, J. J., Nicolás, E., y Torrecillas, A. (2004). Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. *Plant Science*, 167(2), 275-280.
- Quiñones, A., Martínez-Alcántara, B., y Legaz, F. (2007). Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. *Agriculture, ecosystems & environment*, 122(3), 399-409.
- Pagán Rubio, E. (2012). Uso de indicadores del estado hídrico de la planta para la optimización del riego en cultivos leñosos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, ES. 212p.
- Panchana, W. (2015). Estudio de factibilidad financiera para la implementación de un centro de acopio de limón en la comuna Sinchal, Cantón Santa Elena. Tesis de Ingeniero en Administración de Empresas Agropecuarias y Agronegocios. Universidad Estatal Península de Santa Elena, EC. 103 p.

- Pérez, E. L. (2011). Estudio sobre la variabilidad de niveles de prolina en plantas situadas en los saladares del Paraje Natural Municipal Clot de Galvany, en las Partidas rurales de El Altet y los Balsares, en el término municipal de Elche de la comarca del Bajo Vinalopo de la provincia de Alicante. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. ES. 92p.
- Pérez-Pérez, J. G., Syvertsen, J. P., Botía, P., y García-Sánchez, F. (2007). Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized Carrizo citrange seedlings during drought stress and recovery. *Annals of Botany*, 100(2), 335-345.
- Pérez-Pérez, J. G., Robles, J. M., y 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.
- Pérez-Pérez, J. G., García, J., Robles, J. M., y Botía, P. (2010). Economic analysis of navel orange cv. 'Lane late' grown on two different drought-tolerant rootstocks under deficit irrigation in South-eastern Spain. *Agricultural water management*, 97(1), 157-164.
- Pilatti, R., Micheloud, N., garcía, M., y Gariglio, N. (2009). Efecto del estrés hídrico sobre la inducción floral en cítricos cultivados en la zona centro de Santa Fe (Argentina). In Libro de Resúmenes del XXXII Congreso Argentino de Horticultura (Vol. 28, No. 67, p. 111).
- Pimentel, C., Bernacchi, C., y Long, S. (2007). Limitations to photosynthesis at different temperatures in the leaves of Citrus limon. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(2), 141-147.
- Pino, C., Soria, C., Espinel, R. (2009). Estudio de prefactibilidad para la producción de limón Tahití en la península de Santa Elena. Consultado 11 de mayo de 2017. Disponible en: <<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/471>>
- Poerwanto, R., y Inoue, H. (1990). Effects of air and soil temperatures on flower development and morphology of satsuma mandarin. *Journal of Horticultural Science*, 65(6), 739-745.
- Rebolledo Roa, A. (2012). Fisiología de la floración y fructificación en los cítricos. Corporación Universitaria Lasallista.
- Recalde, M. (2003). Los cítricos y sus derivados: Determinantes de su competitividad. *Actualidad Económica*. 54: 9-22.

- Reichstein, M., Tenhunen, J., Rouspard, O., Ourcival, J., Rambal, S., Miglietta, F., y Valentini, R. (2002). Severe drought effects on ecosystem CO<sup>2</sup> and H<sub>2</sub>O fluxes at three Mediterranean evergreen sites: revision of current hypotheses? *Global Change Biology*, 8(10), 999-1017.
- Ribeiro, R. V., Machado, E. C., y Brunini, O. (2006). Ocorrência de condições ambientais para a indução do florescimento de laranjeiras no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(2), 247-253.
- Rincón, D., y Hoyos, V. (2013). Determinación del contenido de prolina en plantas de frijól como respuesta al estrés por la aplicación de oxifluorfen. *Researchgate*, 25(2), 1-24.
- Rodríguez-Pérez, L. (2006). Physiological implications of osmoregulation in plants. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 28-37.
- Save, R., Biel, C., Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M. C., y Torrecillas, A. (1995). Some physiological and morphological characteristics of citrus plants for drought resistance. *Plant Science*, 110(2), 167-172.
- Scholander, P. F., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A., y Hammel, H. T. (1965). Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148(3668), 339-346.
- Shackel, K. (2003). The pressure chamber (The bomb). California, USA, University of California, Recuperado 6 de junio de 2018, a partir de:  
<[http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/pressure\\_chamber/](http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/pressure_chamber/)>
- Shalom, L., Samuels, S., Zur, N., Shlizerman, L., Doron-Faigenboim, A., Blumwald, E., y Sadka, A. (2014). Fruit load induces changes in global gene expression and in abscisic acid (ABA) and indole acetic acid (IAA) homeostasis in citrus buds. *Journal of experimental botany*, 65(12), 3029-3044.
- Southwick, S. M., y Davenport, T. L. (1986). Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant physiology*, 81(1), 26-29.
- SINAGAP. (2016). Reporte dinámico ESPAC. Recuperado 18 de junio de 2017, a partir de:  
<<http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/reportes-dinamicos-espac>>
- SINAGAP. (2017). Reporte dinámico ESPAC. Recuperado 8 de junio de 2018, a partir de:  
<<http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/reportes-dinamicos-espac>>
- Talón, M. 2001. *Revista Comunitat Valencia Agraria* No. 15.
- Tambussi, E. (2004). Fotosíntesis, Fotorrespiración, Productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudios. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.

- Taiz, L y Zeiger, E. (2006). Fisiología Vegetal. Valencia; España. 2<sup>do</sup>. California, Estado Unidos. 580p.
- Terradas, J. 2001. Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. Ed. Omega, Barcelona.
- Tolentino, A. (2015). Uso de un complejo hormonal y micronutrientes en dos momentos de la floración en naranja" Valencia". Tesis de Ingeniero agrónomo Administrador Economista. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", MX. 82 p.
- Tudela, D., y Primo-Millo, E. (1992). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid transported from roots to shoots promotes leaf abscission in Cleopatra mandarin (*Citrus reshni* Hort. ex Tan.) seedlings rehydrated after water stress. *Plant Physiology*, 100(1), 131-137.
- Turner, N. C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and soil*, 58(1-3), 339-366.
- Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J., Corcuera, L., Gil-Pelegrín, E. (2004). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Vélez, J., Intrigliolo, D., Castel Sánchez, J. (2011). Programación de riego en cítricos en base a sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 65-73.
- Vélez, J., Álvarez-Herrera, J., y Alvarado-Sanabria, O. (2012). El estrés hídrico en cítricos (*Citrus spp.*): Una revisión. *Orinoquia*, 16(2).
- Wagner, M., Laborem, G., Medina, G., y Rangel, L. (1998). Efecto del patrón y la frecuencia de riego sobre el nivel foliar de prolina en el naranjo 'Valencia'. *Bioagro*, 10(3), 76-79.
- Yang, S. F., y Hoffman, N. E. (1984). Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual review of plant physiology*, 35(1), 155-189.

## XI. ANEXOS

### Anexo 1. Establecimiento del ensayo



### Anexo 2. Método del frasco Mariotte



### Anexo 3. Aplicación de los tratamientos de riego



### Anexo 4. Lectura de Conductancia Estomática



Anexo 5. Lectura del potencial hídrico del tallo al medio día



**Anexo 6.** Prueba de contraste de hipótesis del potencial hídrico del tallo en la temporada de riego evaluación (1).

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Potencial

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,469 <sup>a</sup>	6	,078	8,212	,003
Intersección	20,476	1	20,476	2152,182	,000
Tratamiento	,387	3	,129	13,555	,001
Bloques	,082	3	,027	2,869	,096
Error	,086	9	,010		
Total	21,030	16			
Total corregida	,554	15			

a. R cuadrado = ,846 (R cuadrado corregida = ,743)

**Anexo 7.** Prueba de separación de medias con la prueba de Tukey (P <0.05) del Potencial hídrico del tallo en la temporada de riego evaluación (1).

Potencial Hídrico del Tallo						
	Tratamiento	N	Subconjunto			
			1	2	3	
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	1	4	-1,3250			
	2	4	-1,2000	-1,2000		
	4	4		-1,1000	-1,1000	
	3	4			-,9000	
	Sig.			,328	,502	,070

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,010.  
 a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000  
 b. Alfa = ,05.

**Anexo 8.** Prueba de contraste de hipótesis potencial hídrico del tallo en la temporada de riego evaluación (2).

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Potencial

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,774 <sup>a</sup>	6	,296	17,096	,000
Intersección	40,641	1	40,641	2350,301	,000
Tratamiento	1,662	3	,554	32,036	,000
Bloques	,112	3	,037	2,157	,163
Error	,156	9	,017		
Total	42,570	16			
Total corregida	1,929	15			

a. R cuadrado = ,919 (R cuadrado corregida = ,866)

**Anexo 9.** Prueba de separación de medias con la prueba de Tukey (P <0.05) del Potencial hídrico del tallo en la temporada de riego evaluación (2).

Potencial Hídrico del Tallo						
	Tratamiento	N	Subconjunto			
			1	2	3	4
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	1	4	-2,0500			
	4	4		-1,7000		
	2	4		-1,4500	-1,4500	
	3	4			-1,1750	
	Sig.		1,000	,096	,064	

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.  
 Basadas en las medias observadas.  
 El término de error es la media cuadrática(Error) = ,017.  
 a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000  
 b. Alfa = ,05.