



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Respuesta del cultivo hidropónico de rosa a diferentes Kc y láminas fraccionadas de fertirriego

Otoniel Alexander Ortiz Urrea

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Bogotá, Colombia

Respuesta del cultivo hidropónico de rosa a diferentes Kc y láminas fraccionadas de fertirriego

Otoniel Alexander Ortiz Rodríguez

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magíster en Ciencias Agrarias

Director (a):

MSc. Roberto Villalobos Rebolledos

Línea de Investigación:

Suelos y aguas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2021

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

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

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

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

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



Otoniel Alexander Ortiz Urrea

09/04/2021

Fecha

Agradecimientos

A la empresa Melody Flowers S.A.S por permitir el desarrollo de este proyecto, en especial al Ingeniero Luis Felipe Cely Montañez y a la señora Marleny Farias.

A la empresa Kamur S.A.S por su asesoría en la construcción del sistema de riego para este proyecto.

Al ingeniero Miguel Romo y la empresa Fertirriego S.A.S por su asesoramiento durante el diseño y montaje del experimento.

Al profesor Roberto Villalobos por sus consejos, su acompañamiento permanente como guía y amigo, y todas las enseñanzas a nivel académico y personal que me llevo transmitidas de su parte.

A Paola, a mi familia y profesores FCA.

Resumen

Respuesta del cultivo hidropónico de rosa a diferentes K_c y láminas fraccionadas de fertirriego

La *Rosa* sp. es la especie más sembrada dentro de los cultivos ornamentales en Colombia. Uno de los principales retos de la floricultura es aumentar su productividad disminuyendo su impacto ambiental. El objetivo de este trabajo fue identificar la lámina de fertirriego que ofreciera los mejores indicadores de sostenibilidad y producción en el cultivo de *Rosa* sp. en condición hidropónica. Las plantas de rosa utilizadas en el presente trabajo llevan nueve años sembradas en el sitio donde se realizaron las mediciones. El sustrato utilizado estuvo compuesto principalmente por una mezcla de cascarilla de arroz cruda, cascarilla de arroz quemada y compost. Se evaluaron cuatro coeficientes de cultivo (K_c) para las plantas de rosa adultas (0,7; 0,9; 1,1; 1,3) y tres fraccionamientos de lámina calculada con 5, 6 y 7 pulsos por día. Los tratamientos en donde se utilizó un $K_c = 0,7$ presentaron menores valores de pH y mayores valores de CE en la solución de sustrato, efecto atribuido a la acumulación de sales en el sustrato, consecuencia de varios años de la aplicación de fertilizantes inorgánicos en la producción de flores de corte en condición hidropónica. Se evaluaron variables de crecimiento y rendimiento de las plantas, como la longitud de los tallos. Esta variable presentó condiciones negativas con respecto a los otros tratamientos, en $K_c=0.7$, en los cuales los valores de longitud de tallo fueron significativamente menores, evidenciando una relación directa entre los valores bajos de pH, los valores elevados de CE y la disminución del rendimiento de flores de rosa exportables.

Palabras clave: Cultivo hidropónico, cultivo sin suelo de rosa, uso eficiente del agua, fertirriego, coeficiente de cultivo rosa.

Abstract

Response of the hydroponic cultivation of rose to different Kc and partitioned fertirrigation depths

Rosa sp. is the most widely planted species within the ornamental crops in Colombia. One of the main challenges of floriculture is to increase its productivity by reducing its environmental impact. The objective was to identify the fertigation depths that offered the best sustainability and production indicators in the cultivation of *Rosa* sp. in hydroponic condition. The rose plants used in this work have been planted for nine years at the site where the measurements were made. The substrate used was mainly composed of a mixture of raw rice husk, burned rice husk and compost. Four cultivation coefficients (Kc) were evaluated for the adult rose plants (0.7, 0.9, 1.1, 1.3) and three partitioned fertirrigation depths calculated with 5, 6 and 7 pulses per day. The treatments where a Kc = 0.7 was used presented lower pH values and higher EC values in the substrate solution, an effect attributed to the accumulation of salts in the substrate, a consequence of several years of the application of inorganic fertilizers in production of cut flowers in hydroponic condition. Plant growth and yield variables were evaluated, such as the length of the stems. This variable presented negative conditions with respect to the other treatments, at Kc = 0.7, in which the stem length values were significantly lower, evidencing a direct relationship between the low pH values, the high CE values and the decrease of the yield of exportable rose flowers.

Keywords: Soilless culture, hydroponic rose cultivation, efficient use of water, fertigation, rose cultivation coefficient.

Contenido

	Pág.
Resumen	7
Lista de figuras.....	12
Lista de tablas	14
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	17
1. Introducción	18
2. Objetivos.....	22
2.1 Objetivo general	22
2.2 Objetivos específicos	22
3. Materiales y métodos	23
3.1 Materiales	23
3.2 Métodos	26
4. Resultados y discusión	31
4.1 CE..... ¡Error! Marcador no definido.	36
4.2 pH	36
4.3 Contenido de humedad volumétrico	38
4.4 Porcentaje de drenaje	41
4.5 Longitud de tallo y diámetro de tallo	43
4.6 Longitud y diámetro de botón	47
4.7 Rendimiento	51
5. Conclusiones.....	54
6. Bibliografía	56

Lista de figuras

	Pág.
FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LOS LATERALES DE GOTEO EN UNA CAMA DE ROSA SP.	25
FIGURA 2. DIMENSIONES DE UNA CAMA Y UN CUADRO DE LA CAMA (UNIDAD MUESTREAL). A. LONGITUD DE LA CAMA DE ROSA (32,5M), B. ANCHO DE UNA CAMA (0,9M), C. ANCHO DEL CONTENEDOR DE LA CAMA (0,35M), D. LONGITUD DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL (6.5M). E. ÁREA DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL (5.85 M ²).	27
FIGURA 3. LADO IZQUIERDO ESQUEMA DE INSERCIÓN DE LA VARILLA DEL TDR EN EL SUSTRATO. LADO DERECHO ILUSTRACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN.	29
FIGURA 4. INTERACCIÓN DE LAS VARIABLES PH Y CE	33
FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE CE EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO. CE MEDIDA EN DS/M. 5A. FACTOR KC VS TIEMPO, 5B. FACTOR KC VS FACTOR PULSOS, 5C. EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.	35
FIGURA 6. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE PH EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO. 6A. FACTOR KC VS TIEMPO 6B. FACTOR KC VS FACTOR PULSOS, 6C. EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.	38
FIGURA 7. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE CONTENIDO DE HUMEDAD VOLUMÉTRICO EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO. 7A. FACTOR KC VS TIEMPO, 7B. EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.	40
FIGURA 8. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE PORCENTAJE DE DRENAJE EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO. LA MEDICIÓN EXPRESA EL % DE AGUA APLICADA MEDIANTE FERTIRRIEGO. 8A. FACTOR KC VS TIEMPO, 8B. EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.	43
FIGURA 9. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE LONGITUD DE TALLO EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO. MEDICIONES EXPRESADAS EN CM. 9A. FACTOR KC VS TIEMPO, 9B. EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.	47
FIGURA 10. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE LONGITUD DE BOTÓN EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO. MEDICIONES EXPRESADAS EN CM. 10A. FACTOR KC VS TIEMPO, 10B. FACTOR KC VS FACTOR PULSOS, 10C. EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.	50
FIGURA 11. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE DIÁMETRO DE BOTÓN EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO. MEDICIONES EXPRESADAS EN CM. 11A. EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.	50
FIGURA 12. COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE RENDIMIENTO (#TALLOS/CAMA) EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL DESARROLLO DEL ENSAYO. 10A. FACTOR KC VS TIEMPO, 10B. FACTOR KC VS FACTOR PULSOS, 10C. EFECTO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.	53

Lista de tablas

Pág.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA SOLUCIÓN DE FERTIRRIEGO ENTREGADA EN LOS GOTEROS UTILIZADA EN EL ENSAYO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUSTRATO A UTILIZAR EN EL PRESENTE ENSAYO. INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL ÁREA TÉCNICA DE LA EMPRESA GR CHÍA SAS.	24
TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DEL PRESENTE ENSAYO. *T10 REPRESENTA EL PROTOCOLO DE MANEJO QUE SE UTILIZA NORMALMENTE EN LA FINCA.	27
TABLA 4. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE CE. UNIDAD: DS/M () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).....	31
TABLA 5. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE PH. () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).	36
TABLA 6. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE CONTENIDO DE HUMEDAD DE VOLUMÉTRICO. VALORES EXPRESADOS EN % DE HUMEDAD VOLUMÉTRICO. () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).	38
TABLA 7. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE PORCENTAJE DE DRENAJE. VALORES EXPRESADOS EN % DE AGUA DRENADA DEL TOTAL DE LÁMINA DE RIEGO APLICADA. () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).....	41
TABLA 8. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE LONGITUD DE TALLO. VALORES EXPRESADOS EN CM. () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).	43
TABLA 9. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE DIÁMETRO DE TALLO. VALORES EXPRESADOS EN CM. () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).	44
TABLA 10. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE LONGITUD DE BOTÓN. VALORES EXPRESADOS EN CM. () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).	47
TABLA 11. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE LONGITUD DE BOTÓN. VALORES EXPRESADOS EN CM. () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).	48

TABLA 12. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO. VALORES EXPRESADOS EN PRODUCCIÓN DE TALLOS/CAMA. () INDICA EL LUGAR OCUPADO POR EL GENOTIPO. MEDIAS CON LA MISMA LETRA EN SENTIDO VERTICAL SON ESTADÍSTICAMENTE IGUALES CON $P \leq 0,05$ (TUKEY).51

Lista de Símbolos y abreviaturas

VR: Volumen de riego (litros/cama)

ETo: Evapotranspiración (mm)

Kc: Coeficiente cultivo (adimensional) que es función del estado fenológico y las condiciones del cultivo.

AC: Área de la cama (m²)

FL: Fracción de lavado

E: Eficiencia del sistema

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m ²	$\iint dx dy$
V	Volumen	L	
CE	Conductividad eléctrica	dS/m	
L	Longitud	m	
VR	Volumen de riego	L/cama	
ETo	Evapotranspiración	Mm	
Kc	Coeficiente de cultivo	Adimensional	
FL	Fracción de lavado	%	
T	Temperatura	°C	

1. Introducción

Desde los años noventa en la agricultura colombiana, especialmente en la floricultura se ha observado una fuerte tendencia hacia la implementación de cultivos sin suelo. Esta dinámica se presenta como consecuencia del aumento de los problemas sanitarios derivados de la alta incidencia de organismos fitopatógenos en el suelo y la búsqueda de mayores productividades (Esmeral et al., 2011). Este crecimiento no se detiene a pesar de la alta inversión derivada de la infraestructura que esta técnica demanda (Quintero et al., 2011). El tener la posibilidad de reciclar el agua de drenaje, disminuyendo la descarga de fertilizantes al ambiente, representa uno de los mayores retos de los sistemas de cultivo sin suelo (Beltrano, 2015; Beltrano y Giménez, 2015).

Las plantas de rosa en condición de cultivo hidropónico o sin suelo comparado con plantas de la misma especie cultivadas directamente en suelo, presentan rendimientos de tallos cosechados hasta de un 20% mayores. Este efecto fue evidenciado por Beltrano y J. Giménez (2015), quienes encontraron que los rendimientos en los cultivos sin suelo mostraron que pueden llegar a duplicar los de un cultivo en suelo. La hidroponía es una alternativa viable en lugares donde las propiedades físicas y químicas del suelo, como la estructura y la disponibilidad de los nutrientes, limitan la productividad de los cultivos de flores de corte (Cuervo et al., 2013).

Con el fin de aumentar la productividad, los cultivos de flores de corte de la Sabana de Bogotá están migrando a las siembras sobre sustrato o hidropónicas (Esmeral et al., 2011), a pesar de las implicaciones de esta metodología sobre el consumo de agua. Según información de fincas productoras de rosa de la sabana occidente de Bogotá, el consumo de agua de los cultivos sin suelo de flor de corte puede ser hasta 40% mayor, comparado con los cultivos sembrados directamente en el suelo. Lo anterior se evidencia en la cantidad promedio de drenaje de una cama hidropónica de rosa. en la Sabana de Bogotá que puede llegar a ser hasta de un 30% del volumen de agua aplicado a diario (Cuervo et al., 2013). Lo anterior, representa un riesgo ambiental, puesto que para poder reutilizar el agua de drenaje de las camas hidropónicas se tiene que implementar un tratamiento de alto costo, regularmente con equipos de ósmosis inversa. Si esta agua de drenaje es

reutilizada sin previo tratamiento, a largo plazo las acumulaciones de cloro y sodio en el sustrato aumentan el riesgo de convertirse en un problema para la sostenibilidad del cultivo (Lykas et al., 2006; Massa et al., 2008). Estas aguas de drenaje normalmente son evacuadas de los cultivos, convirtiéndose en una salida del sistema productivo, y por ende en una práctica de impacto ambiental negativo. En el caso de que los drenajes no sean recirculados dentro del sistema productivo, pueden contaminar los recursos hídricos superficiales y subsuperficiales (Ucar et al., 2017).

La falta de información acerca de metodologías para fertirrigar cultivos de flores de corte sin suelo, en el caso específico de la Sabana de Bogotá, desencadena una serie de problemas. Como en su mayoría este volumen de agua es una solución fertilizada, a mayor cantidad de lámina de riego aplicada, los costos de fertilizantes y energía son más altos, además de generar un mayor volumen de drenaje. Por tanto, la ineficiencia de estas metodologías de aplicación de láminas de fertirriego, no solo genera un impacto ambiental, también produce un impacto económico al traducirse en un aumento en los costos de producción del sistema productivo. Por otra parte, si las aguas de drenaje son utilizadas sin un respectivo tratamiento, en sistemas de recirculación dentro del cultivo, puede generarse detrimento de las variables de producción del cultivo por la acumulación de elementos como el sodio en el sustrato y la planta (Massa et al., 2008).

En la mayoría de los cultivos sin suelo en Colombia aún no se cuenta con herramientas que permitan implementar sistemas de recirculación completamente cerrados (Lykas et al., 2006). Esta situación es relevante en regiones como la cuenca Alta y media del río Bogotá, en dónde el agua para riego tiene condiciones físico químicas negativas para la mayor parte de cultivos, como lo puede ser el alto contenido de metales pesados (Miranda et al., 2008). Según información suministrada por los floricultores de la empresa GR chíá, los sistemas productivos de flor de corte en la Sabana de Bogotá se orientan a garantizar la cantidad de agua suficiente para el óptimo desarrollo de la planta, dejando de lado la implementación de estrategias que permitan hacer una aplicación eficiente de la lámina de riego. La aplicación eficiente del agua de riego debe tener como objetivo el disminuir las pérdidas de agua y fertilizantes (Zhang et al., 2017). Por estas razones, es pertinente generar estrategias que permitan manejar el agua para riego de una manera más eficiente,

disminuyendo a su vez la producción de aguas de drenaje que tienen potencial de convertirse en residuos del proceso productivo.

Los cálculos para tomar una decisión con respecto del volumen a regar en el cultivo de rosa, se basan principalmente en las condiciones climáticas. Sin embargo, se hacen necesarios estudios que complementen esta información, para tomar decisiones de riego más exactas. Existen deficiencias en la información respecto al volumen de los pulsos, las frecuencias, los horarios, los coeficientes de cultivo de las diferentes variedades y las CE de la lámina de fertirriego, que permitan desarrollar herramientas para tomar la decisión de cuánto y cuándo regar (Arévalo et al., 2014).

En cuanto a los sustratos para cultivos sin suelo empleados en Colombia, se destaca la cascarilla de arroz, debido a su viabilidad económica frente a otros sustratos como la fibra de coco (Quintero, 2015). La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria arrocera, y como características posee un pH neutro y una elevada CE (Quintero et al., 2011). Por otra parte, físicamente es un sustrato liviano, con alta porosidad y baja capacidad de retención de humedad, propiedades que cambian al pasar por un proceso de quemado, en donde la capacidad de retención de humedad aumenta (García et al., 2001; Sinha et al., 2017).

En Colombia las técnicas empleadas en los sistemas sin suelo de producción agrícola, tal como es el caso de las flores de corte, no son lo suficientemente eficientes para potenciar el aprovechamiento de los recursos de producción (Cuervo et al., 2013).

Adicionalmente, a mayores láminas de riego aplicadas la demanda del recurso hídrico va a ser mayor. Si el agua para riego es aplicada en solución con fertilizantes, los costos de producción se van a incrementar (Zhang et al., 2017), haciendo a futuro inviable este tipo de técnica para cultivos agrícolas en Colombia. En este sentido, es necesario generar estrategias que disminuyan la cantidad de agua utilizada sin tener consecuencias negativas sobre las variables de producción, ya que como se ha observado en otros cultivos como el maíz, sistemas eficientes de riego por goteo en combinación con técnicas de conservación de la humedad del suelo o sustrato son muy viables desde el punto de

vista económico. Por lo tanto, la investigación debe girar en torno a hacer estos sistemas ambiental y económicamente sostenibles (Shamshery et al., 2017).

Es importante conocer cuál es el nivel de humedad del sustrato adecuado para que el cultivo alcance su mayor potencial productivo (Starman et al., 2014). Así como analizar hasta donde puede soportar el cultivo sin disminuir su rendimiento y calidad en escenarios negativos, como en escasez del recurso hídrico (Starman et al., 2012). Diversos estudios han logrado demostrar que algunos cultivos como el algodón logran soportar un valor umbral máximo de CE de $7,7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Wiegand, 2016), manteniendo su productividad a valores de drenaje inferiores al 10%, a partir de técnicas de aplicación de láminas de riego a muy bajos volúmenes como es el caso del denominado 'Drenaje seco', esta técnica consiste en aplicar unas láminas de riego pequeñas, en las cuales el bulbo húmedo no alcance mayor profundidad (Konukcu et al., 2006).

En el caso de los cultivos de rosa, en un trabajo realizado por Genhua et al (2013), se observó que al aplicar láminas de riego con conductividad de $3,1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se evidenció una disminución en la masa seca de los tallos. Por otra parte, la respuesta de las plantas de rosa a la alta concentración de sales en el agua de riego depende en gran medida del patrón sobre el que está injertada la variedad, así como las características fisicoquímicas del suelo y del sustrato, a su vez la producción de algunas variedades de rosa injertadas sobre el patrón Natal briar expresaron buenas características productivas al ser regadas con agua con CE en un rango entre $2,5 - 3,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Valquiria et al., 2016). Por su parte, Cai et al (2012) describen que el cultivo de rosa puede desarrollarse en CE inferiores a $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, sin embargo, existen variedades de rosa de jardín que pueden desarrollarse de manera adecuada a CE de $3,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Es importante resaltar, que en estos trabajos no existió un control sobre las variables método y cantidad de agua aplicada, variables trascendentes en el comportamiento de la planta en condiciones de alta concentración de sales disueltas en el agua de riego.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Identificar el tratamiento de aplicación de lámina de fertirriego que ofrezca mejores indicadores de ahorro de agua y producción de *Rosa* sp. en condición de cultivo sin suelo.

2.2 Objetivos específicos

- a. Evaluar el efecto del uso de diferentes coeficientes de cultivo en el cálculo de la lámina de fertirriego a aplicar a diario, sobre el rendimiento y la calidad del cultivo hidropónico de *Rosa* sp.
- b. Evaluar el efecto de diferentes frecuencias de fertirriego sobre la respuesta productiva del cultivo hidropónico de *Rosa* sp.
- c. Evaluar el impacto de los tratamientos de lámina de fertirriego sobre la reducción del volumen de drenaje de las camas.
- d. Evaluar el efecto de los tratamientos de lámina de fertirriego sobre la CE del drenaje y de la solución del sustrato.

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

3.1.1 Material vegetal

Plantas de *Rosa* sp. cv. Freedom injertadas sobre el patrón cv. Natal briar en producción continua. Las plantas fueron sometidas a la técnica de agobio en su primera etapa productiva, y estaban compuestas por cuatro o cinco tallos principales en su mayoría. El cultivo comercial de rosa se desarrolló bajo condiciones semicontroladas de hidroponía (cultivo sin suelo) de un cultivo comercial bajo invernadero. Es importante mencionar, que al inicio del ensayo las plantas tenían nueve años después de siembra.

3.1.2 Solución de fertirriego:

Se empleó una solución estándar de fertirriego estándar y constante, equilibrada en Nitrógeno y Potasio 1:1. La cual era aplicada seis días a la semana, el día siete se aplicó agua sin fertilizantes. Las fuentes utilizadas para la solución eran en su totalidad de origen mineral. En la tabla 1 se detallan las características de la solución de fertirriego empleada.

Las concentraciones de la solución de fertirriego para cada uno de los nutrientes fue la siguiente (valores en mg.L^{-1}): N: 180, K: 180, P: 32, Mg: 60, Ca: 140, Fe: 2,8, Mn: 3, Zn: 2,5, Cu: 1, Mo: 0,1.

El pH de esta solución fue de 6 y la CE de 1,65 dS/m.

3.1.3 Sustrato

El sustrato utilizado en este ensayo estuvo compuesto de la siguiente manera: 55% de cascarilla de arroz cruda, 25% de cascarilla de arroz reutilizada, 10% de compost y el restante 10% cascarilla de arroz quemada. Las características del sustrato empleado son descritas en la tabla 2. La siembra fue realizada sobre un sustrato fabricado por la compañía, característico por su bajo coste y alta especificidad para el cultivo de rosa.

Característica	
Porosidad Total %	40,88
Densidad aparente en seco ($\text{g}\cdot\text{cm}^3\text{-}^{-1}$)	0,09
Densidad aparente en húmedo ($\text{g}\cdot\text{cm}^3\text{-}^{-1}$)	0,13
Contenido de humedad inicial (%V)	4,8
Capacidad de retención de agua (%V)	9,96
Capacidad de aireación (%V)	30,92
Agua fácilmente disponible (%V)	0,06
Agua de reserva (%V)	0
Agua difícilmente disponible (%V)	9,9
Material sólido (%V)	59,12
Agua disponible total (%V)	0,06
Umbral de riego (%V)	10,6

Tabla 1. Características físicas del sustrato a utilizar en el presente ensayo. Información suministrada por el área técnica de la empresa GR Chía SAS.

3.1.4 Sistema de cultivo y de riego

Las camas de cultivo fueron camas elevadas a 0,4 m del suelo, de dimensiones 32,5 m de largo, y 0,9 m de ancho, con dos contenedores plásticos de sustrato por cama de dimensiones: Alto: 0,3 m, ancho: 0,35 m (Figura 1). Las plantas se sembraron a una distancia de 15 cm en la hilera y 40 cm entre contenedores, para una densidad de 170 camas * ha⁻¹ y 70.000 plantas*ha⁻¹.

El tipo de emisor utilizado en el riego por goteo fue autocompensado y antidrenante Netafim® modelo UniRam™. Manguera de polietileno de diámetro 16 mm, con emisores ubicados cada 0,2 m. La presión de trabajo en la última línea de cada válvula de riego se calibró semanalmente a una medida de dos Bares, midiendo la presión con un manómetro en el sitio más distante del sector de riego. Se utilizaron emisores con caudal de descarga 1 L*h⁻¹, con una distribución de cuatro laterales por cama, cuyos caudales al momento de aforar variaron entre 0,94 y 1,15 Litros/hora.

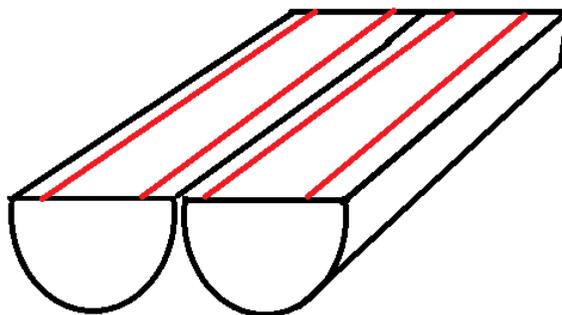


Figura 1. Distribución de los laterales de goteo en una cama de *Rosa* sp.

3.2 Métodos

El experimento se realizó en el municipio de El Rosal (Cundinamarca) ubicado a 2540 msnm, a lo largo de 28 semanas, tomando mediciones durante dos ciclos de producción de la planta. El presente ensayo se llevó a cabo en condiciones semicontroladas de invernadero, con un sistema de cultivo de camas hidropónicas contenidas como se ilustra en la figura 1. El sistema de riego utilizado para el proceso de fertirrigación fue un sistema de riego por goteo con emisores autocompensados, que garantizan mayor uniformidad del riego en las camas hidropónicas.

Se trabajo sobre un cultivo sin suelo comercial de rosa, en donde se evaluaron diferentes tratamientos de K_c y número de láminas fraccionadas de fertirriego sobre los parámetros de respuesta productiva del cultivo (rendimiento y calidad). Los tratamientos se describen en la tabla 2, y es preciso resaltar que en el sistema de producción donde se estableció el ensayo, normalmente la lámina de fertirriego se fracciona en cinco pulsos, todos de igual volumen (50 litros cada uno).

3.2.1. Tratamientos

Se definieron diez tratamientos que se describen en la tabla 2. El ensayo fue planteado a partir de dos factores o variable independientes que son:

Factor 1: K_c (Coeficiente de cultivo) representa la constante específica de cada cultivo, mediante la cual es posible calcular la Evapotranspiración real. Este factor presenta tres niveles: 0,7, 0,9 y 1,1.

Factor 2: #pulsos/día. Luego de calcular el volumen a aplicar de agua a diario, esta lámina es dividida en fracciones. Este factor presenta anidamiento en el factor K_c (Coeficiente de cultivo) y presenta tres niveles 5, 6 y 7.

Testigo finca: En el presente ensayo se plantea un tratamiento T10 que representa la metodología de riego que normalmente se le aplica en el sistema productivo donde se desarrolló el presente ensayo. Con un $K_c = 1,3$ fraccionado en cinco pulsos durante el día.

Tratamiento	Factor Kc	Factor # pulsos/día
T1	0,7	5
T2	0,7	6
T3	0,7	7
T4	0,9	5
T5	0,9	6
T6	0,9	7
T7	1,1	5
T8	1,1	6
T9	1,1	7
T10*	1,3	5

Tabla 2. Descripción de los tratamientos del presente ensayo. *T10 representa el protocolo de manejo que se utiliza normalmente en la finca.

La unidad experimental correspondió a un cuadro (definido como la quinta parte de una cama de cultivo) de rosa. La unidad de cultivo denominada cama tenía las siguientes dimensiones: Largo 32,5 m, Ancho 0,9 m, ancho de contenedor 0,35 m, área de la unidad experimental 5,85 m², como se describe en la figura 2.

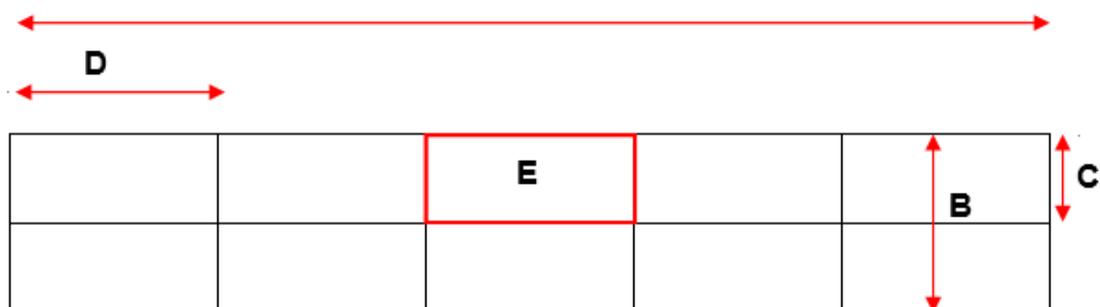


Figura 2. Dimensiones de una cama y un cuadro de la cama (Unidad muestral). **A.** Longitud de la cama de rosa (32,5m), **B.** Ancho de una cama (0,9m), **C.** Ancho del contenedor de la cama (0,35m), **D.** Longitud de la unidad experimental (6,5m). **E.** Área de la unidad experimental (5,85 m²).

3.2.2 Medición de variables climáticas

Los datos de las variables meteorológicas tales como radiación solar, temperatura, punto de rocío, humedad relativa y velocidad del viento fueron tomados diariamente de una estación meteorológica ubicada en el interior del invernadero a 1,8 m del suelo. Con estos datos se calculó la evapotranspiración de referencia (Raes, 2012) (ET_o) a partir de la ecuación de Penman – Monteith (FAO, 2000).

3.2.2.1 Fórmula para el cálculo de volumen de riego diario

Para calcular el volumen de solución de fertirriego o agua a aplicar a diario en cada tratamiento del ensayo, se utilizó la siguiente fórmula:

$$VR = ET_o * Kc * AC (m^2) * FL * 100 / E$$

en donde,

VR: Volumen de riego (litros/cama)

ET_o: Evapotranspiración (mm)

Kc: Coeficiente cultivo (adimensional) que es función del estado fenológico y las condiciones del cultivo.

AC: Área de la cama (m²)

FL: Fracción de lavado

E: Eficiencia del sistema

3.2.3 Medición de CE, pH y drenaje:

Los valores de CE (CE) y pH fueron medidos a diario con un equipo multiparámetro de referencia Hanna 911300®. Se tomaron mediciones diarias en cinco sitios aleatorios a lo largo de la cama de cultivo de rosas; los valores de estas cinco mediciones fueron promediados para obtener un valor diario para cada cama del ensayo. Estas mediciones de CE y pH fueron tomadas de la solución de drenaje de las camas en donde se realizó el ensayo, la cual fue recogida a diario en un recipiente de plástico (ubicado debajo del contenedor). Una vez medido cada día el volumen de la solución, se colocó de nuevo el recipiente en su lugar para tomar el nuevo dato 24 h después.

3.2.4 Humedad del sustrato

Para medir el contenido volumétrico de humedad del sustrato se utilizó un sensor de humedad FieldScout® modelo TDR 350 Soil Moisture Meter Inc. Estas mediciones se tomaron en cinco sitios diferentes de cada cama de ensayo con una frecuencia de dos veces por semana. Se utilizaron varillas de 20 cm para realizar la medición. El sitio de inserción del TDR fue entre las mangueras del contenedor, equidistante a cada una de ellas e insertándolo a un ángulo de 60°, con respecto a la cara superior del contenedor.



Figura 3. Lado izquierdo del esquema de inserción de la varilla del medidor de humedad TDR 350 Soil Moisture Meter Inc en el sustrato. Lado derecho ilustración del equipo de medición.

3.2.5 Mediciones de dimensiones de tallo y botón floral

Las mediciones de largo de tallo, diámetro de tallo, largo de botón y diámetro de botón se realizaron mensualmente. La variable largo de tallo comprendió la medición del tallo una vez cosechado, desde la base del tallo hasta el ápice del botón. La medición del diámetro del tallo se tomó 25 cm por encima de la base del tallo. Para medir la variable diámetro de botón se tomó la región del tercio inferior del botón floral.

3.2.6 Rendimiento

La variable rendimiento se midió a partir de la producción de tallos de cada cama de cultivo. Los conteos de tallos producidos fueron realizados a diario, para así lograr consolidar un dato acumulado por periodos de 30 días. Los cortes de cosecha fueron realizados por la misma persona durante todo el desarrollo del cultivo.

3.2.7 Modelo estadístico

El modelo planteado fue un diseño anidado con medidas repetidas en arreglo completamente al azar balanceado, con tres repeticiones. Donde el factor Número de pulsos de fertirriego presenta anidamiento en el factor Kc (Coeficiente de cultivo)

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde μ es la media general, α_i es el efecto del factor Kc, $\beta_{j(i)}$ es el efecto del factor pulsos anidado en el factor Kc y ε_{ijk} es el componente de error residual.

Medidas repetidas es una técnica univariada, su equivalente multivariado es el análisis de perfiles. Si bien el tiempo se considera en el análisis estadístico, no se incluye explícitamente como un factor del modelo, ya que el tiempo no es un factor aleatorizable, dado que fue definido por los investigadores. Se realizó un ANAVA univariado o MANOVA según la existencia de correlación entre variables. Después del ajuste del modelo se realizó la validación de supuestos, en las variables de CE y pH del sustrato, para los cuales no se cumplió con los criterios de normalidad ni homocedasticidad, sin embargo, debido a la robustez del ANAVA, no se consideró necesario la transformación los datos. Para probar las diferencias entre las medias de los tratamientos, y las interacciones de los factores, se realizó una Prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95%.

4. Resultados y discusión

4.1 CE

		<i>Días después del inicio del ensayo</i>						
<i>Kc</i>		1	31	61	92	122	153	184
<i>0,7</i>		1,66 a	1,656 a	1,644 a	1,644 a	1,634 a	1,627 a	1,911 a
<i>0,9</i>		1,669 a	1,64 a	1,651 a	1,654 a	1,644 a	1,646 a	1,692 b
<i>1,1</i>		1,639 a	1,646 a	1,641 a	1,65 a	1,631 a	1,644 a	1,666 b
<i>1,3</i>		1,688 a	1,637 a	1,629 a	1,668 a	1,631 a	1,638 a	1,644 b
		<i>Kc</i>						
<i>Pulsos</i>		0,7	0,9	1,1	1,3			
5		1,69 a	1,656 a	1,645 a	1,647			
6		1,684 a	1,659 a	1,644 a	-			
7		1,672 a	1,655 a	1,647 a	-			

Tabla 3. Comparación de medias para la variable CE. Unidad: dS/m () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

Se encontraron diferencias significativas ($\text{Pr}(> F) = 3,2 \times 10^{-5}$) entre los niveles del factor Kc sobre la CE. Asimismo, también existieron diferencias significativas dentro de sujetos ($\text{Pr}(> F) = 2 \times 10^{-16}$), es decir, el efecto de los niveles del factor Kc difirió a lo largo del tiempo

en las unidades observacionales para la respuesta CE. Para esta variable no se presentó una interacción significativa entre los factores K_c y pulsos.

Las mediciones de la variable CE fueron agrupadas en periodos mensuales. Para los meses de agosto, octubre y diciembre de 2018 no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Por el contrario, en el último mes de toma de datos se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para esta variable (Tabla 4). Se observó que para las unidades muestrales para las cuales se utilizó el $K_c=0,7$ se presentaron valores significativamente más altos con respecto a los otros tratamientos (Figura 5). La acumulación de sales es uno de los problemas más frecuentes en los sustratos en donde se usa un sistema de fertirriego con láminas de lavado deficitarias (Guzmán y Díaz, 2004), es importante resaltar que con el pasar de los años el sustrato va acumulando sales de los fertilizantes usados en periodos anteriores, además de acumular material orgánico producto de la renovación de raíces, fenómeno que ocurre constantemente en la planta (Cai *et al*, 2012). Este fenómeno genera un residuo que va formando parte del sustrato en el sustrato; esta acumulación de sales y material orgánico, hacen que el sustrato tenga propiedades fisicoquímicas diferentes a las que se presentan antes de la siembra, facilitando así la acumulación de sales.

Se encontró que en los tratamientos en donde se utilizó un $K_c = 0,7$ (T1, T2 y T3), el efecto de la acumulación de sales sobre la variable CE fue evidente (tabla 4); esta tendencia sólo se presentó en estos tratamientos con láminas de riego promedio de 150 L/día, en el muestreo de los 184 días después del inicio del ensayo. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre las distintas frecuencias de riego aplicadas.

El volumen de la lámina de fertirriego juega un papel crucial en la respuesta de la acumulación de sales, provenientes de las diferentes fuentes de fertilizantes usadas en el sistema de fertirriego (Agung y Yuliando, 2015). Al aplicar láminas pequeñas el bulbo húmedo generado por el gotero cambia su forma habitual por una forma geométrica ovalada de menor profundidad en el sustrato, y genera acumulación de iones en su contorno, dentro de los que se destaca por estar en mayor proporción el sodio (Na^+) (Palomares y Romero, 2015). Jasso *et al* (2001) observaron que la distribución de iones en el bulbo húmedo del suelo como producto del fertirriego difieren conforme a la física de los iones, encontraron que el Sodio se concentró en los límites del bulbo húmedo, mientras que el calcio y el magnesio por su baja movilidad se concentraron cerca al emisor. Esta

movilidad de los iones depende directamente del vehículo que los moviliza, a menor cantidad de agua hay menor movimiento de los iones en el sustrato y por ende mayor acumulación, lo que conlleva un aumento en la CE (Hussain, Iqbal, Aziem, Mahato, & Negi, 2014). Cabe resaltar, que este aumento en la CE se presentó durante el periodo de mayor evapotranspiración del ensayo, razón por la cual es posible asumir que el aumento de la CE para las áreas regadas con $K_c = 0,7$ es una consecuencia de la menor cantidad de agua aplicada al sustrato, que fue una situación recurrente para los tratamientos T1, T2 y T3 durante el periodo en el que se llevó a cabo el presente ensayo.

En cuanto a la dinámica de la interacción de las variables CE y pH, se pudo observar un patrón marcado (Figura 4), en donde la mayor parte de valores oscilan en un rango adecuado por el volumen, sin embargo, en algunos datos puntuales al aumentar la CE tiende a disminuir los niveles de pH.

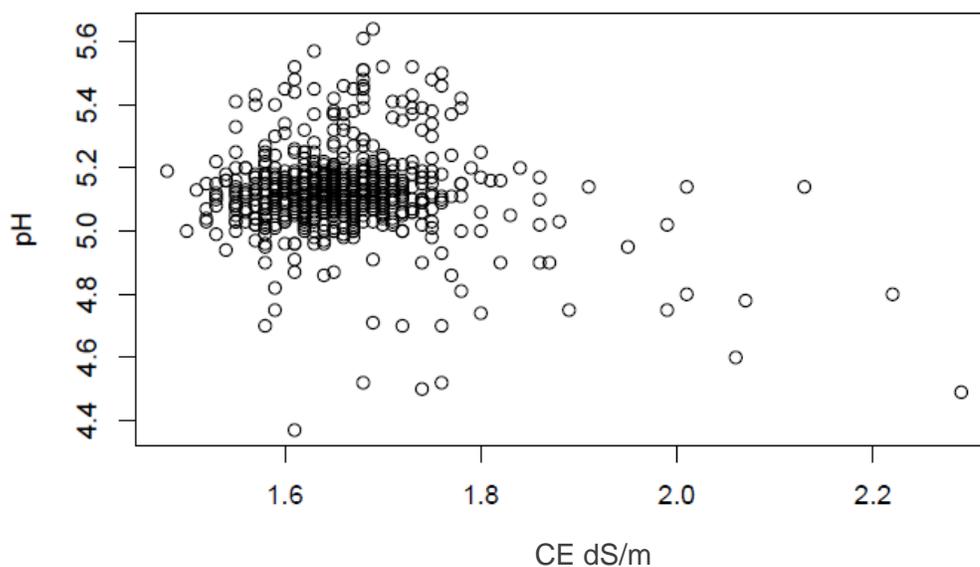
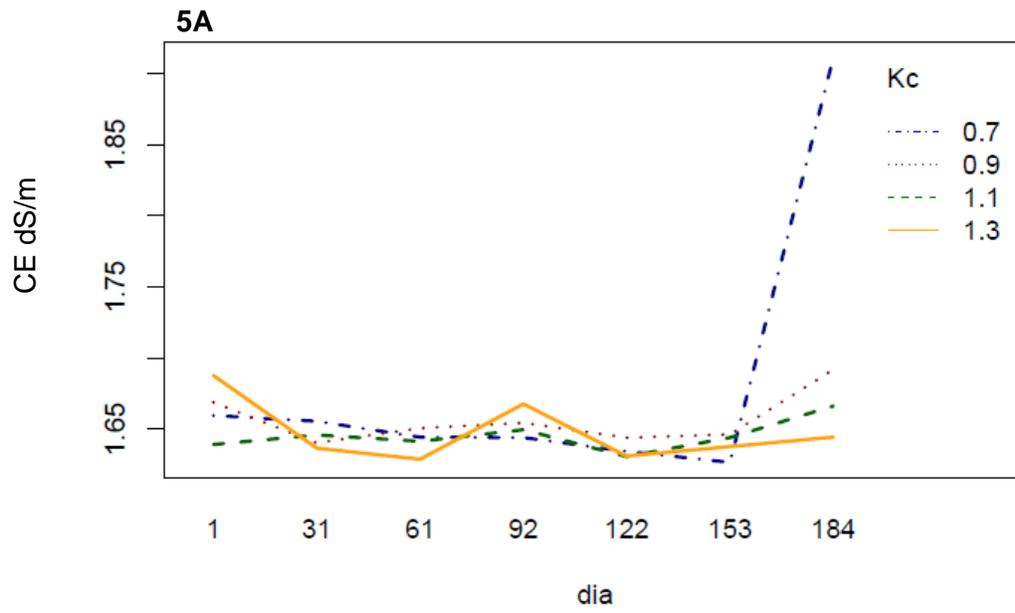


Figura 4. Interacción de las variables pH y CE



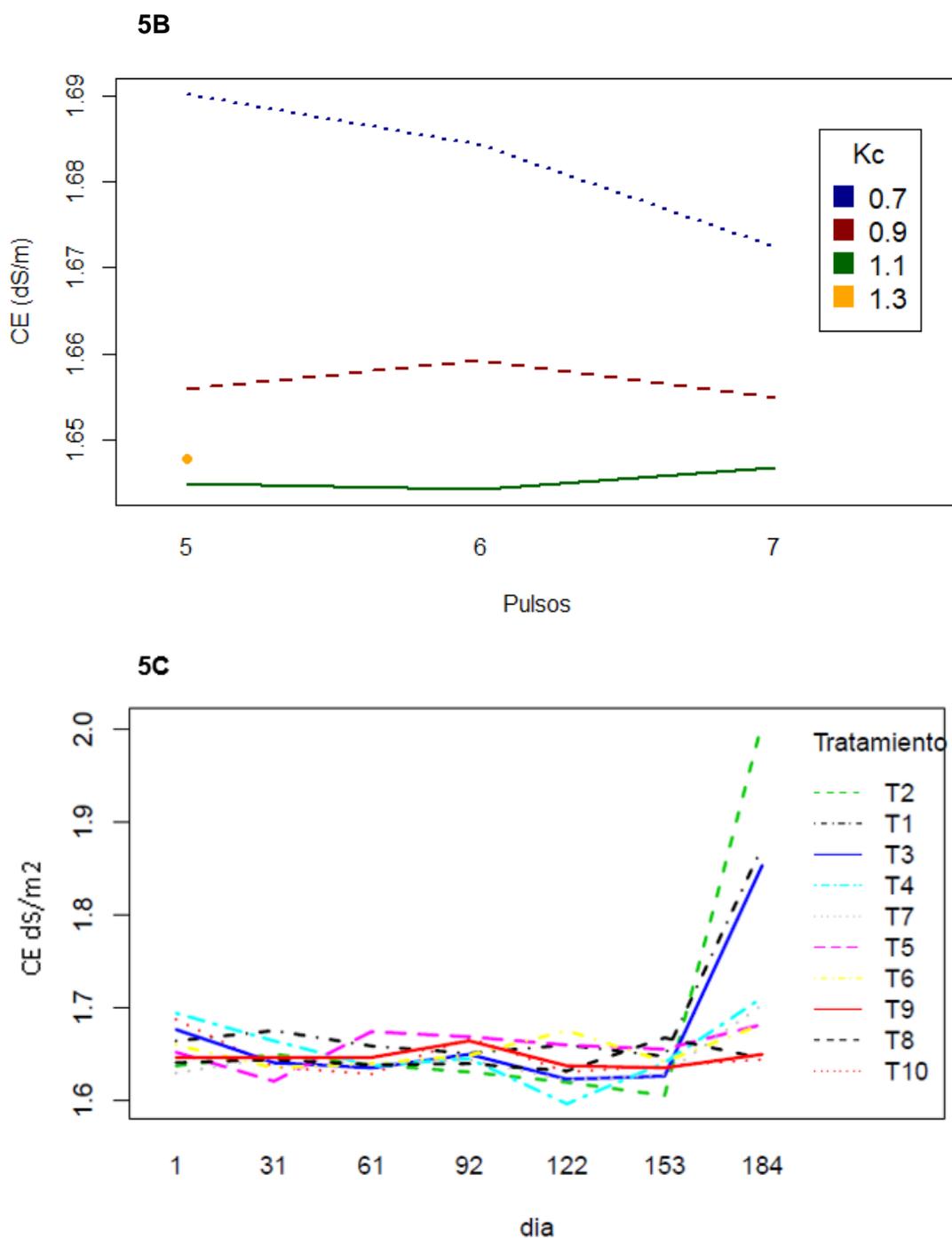


Figura 5. Comportamiento de la variable CE en cada uno de los tratamientos durante el tiempo de desarrollo del ensayo. CE medida en dS/m. **A.** Factor Kc vs tiempo, **B.** Factor Kc vs Factor pulsos, **C** Efecto de los diferentes tratamientos.

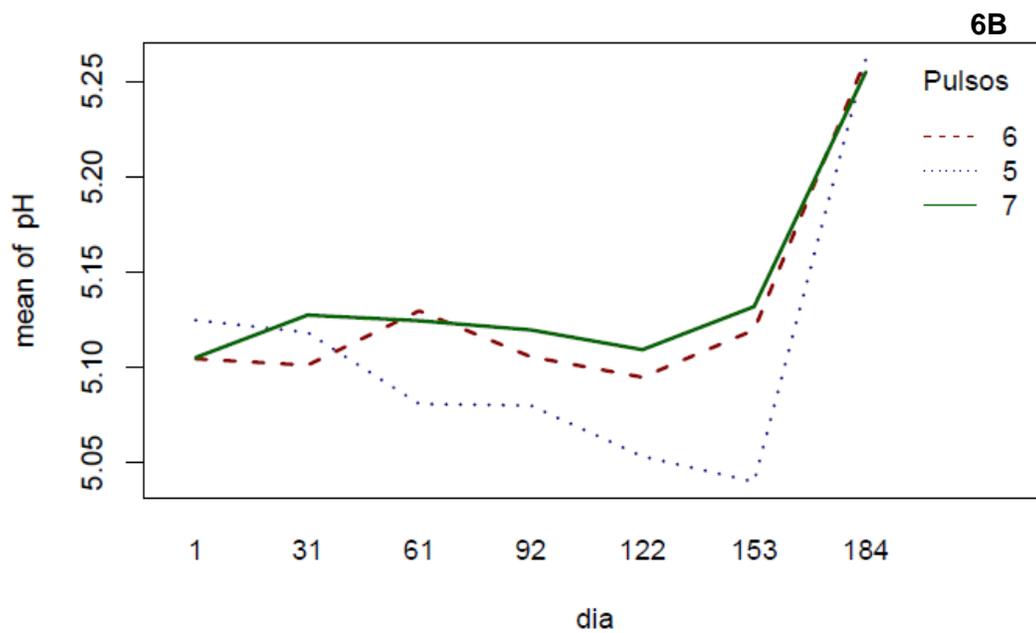
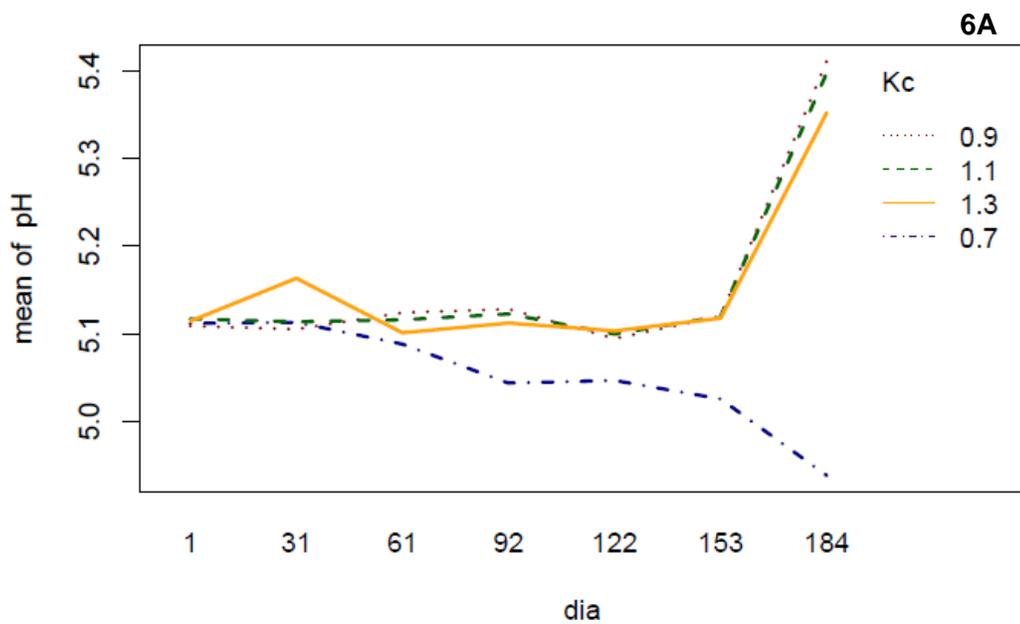
4.2 pH

		<i>Días después del inicio del ensayo</i>						
<i>Kc</i>		1	31	61	92	122	153	184
0,7		5,112 a	5,113 a	5,088 a	5,044 b	5,047 a	5,026 b	4,938 b
0,9		5,109 a	5,105 a	5,124 a	5,128 a	5,094 a	5,12 a	5,411 a
1,1		5,117 a	5,114 a	5,116 a	5,123 a	5,1 a	5,12 a	5,398 a
1,3		5,114 a	5,163 a	5,101 a	5,112 ab	5,103 a	5,118 ab	5,352 a
		<i>Kc</i>						
<i>Pulsos</i>		0,7	0,9	1,1	1,3			
5		4,972 b	5,166 a	5,143 a	5,152			
6		5,077 a	5,149 a	5,167 a	-			
7		5,108 a	5,154 a	5,155 a	-			

Tabla 4. Comparación de medias para la variable pH. () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

En cuanto al pH se presentó un efecto significativo de los diferentes niveles del Kc ($Pr(>F) = 2 \times 10^{-16}$), asimismo, se encontró una interacción significativa entre el Kc y los pulsos ($Pr(>F) = 1,6 \times 10^{-11}$). En cuanto al análisis de varianza dentro de sujetos, hubo un efecto significativo del día ($Pr(>F) = 2 \times 10^{-16}$), y una interacción significativa de la relación Kc:día, así como de Kc:día: pulsos. La variable pH tuvo un comportamiento similar a la variable CE. Se encontró que en los tres primeros periodos de muestreo no se evidencian diferencias significativas. Sin embargo, en el mes a partir del día 9 d2e muestreo los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron valores significativamente inferiores para la variable pH (Tabla 5), así mismo el valor para el tratamiento T3 significativamente superior al valor de T1 y T2 (Figura 6). Este resultado puede atribuirse al efecto de la acumulación de sales, consecuencia de un déficit hídrico (Ko y Kowalczyk, 2009). La mayor parte de los fertilizantes usados en este ensayo son de reacción ácida (nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, urea, urea fosfato, fosfato monopotásico y quelatos), en su mayoría de reacción ácida (Navarro y Navarro, 2014). Cabe resaltar que las fuentes empleadas son las mismas que se han utilizado durante los últimos cinco años en el sistema productivo en donde se realizó el montaje del experimento. Al ser un sustrato usado durante nueve años consecutivos, con fertilización diaria, presentó una acumulación significativa de sales. Esta acumulación de sales puede evidenciarse y tener un efecto

sobre el valor del pH del sustrato, teniendo una respuesta de mayor velocidad cuando se expone a un déficit hídrico, que limita el lavado sales del sustrato (Adema y Henzen, 1989).



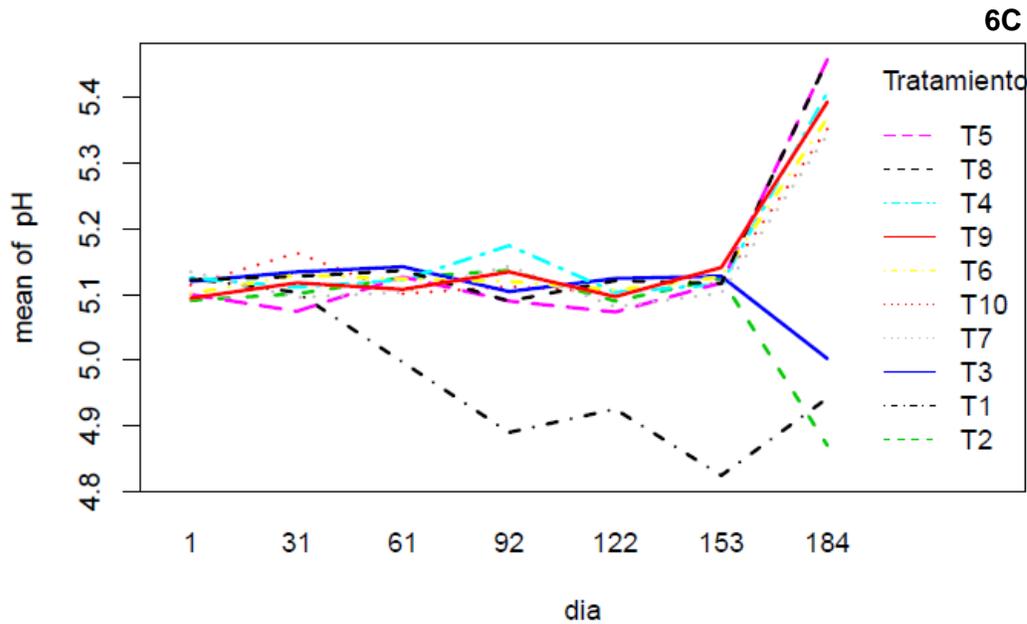


Figura 6. Comportamiento de la variable pH en cada uno de los tratamientos durante el tiempo de desarrollo del ensayo. **A.** Factor Kc vs tiempo **B.** Factor Kc vs Factor pulsos, **C.** Efecto de los diferentes tratamientos.

4.3 Contenido de humedad volumétrico

		<i>Días después del inicio del ensayo</i>						
<i>Kc</i>		1	31	61	92	122	153	184
0,7		39,719 b	38,514 b	38,936 b	38,781 c	39,107 b	38,331 c	38,614 b
0,9		39,527 b	38,915 b	39,08 b	38,549 c	39,429 b	38,747 c	39,408 b
1,1		40,792 b	39,457 b	39,546 b	40,144 b	39,477 b	39,762 b	39,499 b
1,3		45,469 a	45,029 a	45,292 a	45,174 a	45,234 a	45,078 a	45,194 a
		<i>Kc</i>						
<i>Pulsos</i>		0,7	0,9	1,1	1,3			
5		32,636 b	33,366 b	35,544 b	45,21			
6		39 a	42,017 a	41,99 a	-			
7		39,937 a	41,898 a	41,899 a	-			

Tabla 5. Comparación de medias para la variable contenido de humedad de volumétrico. Valores expresados en % de humedad volumétrico. () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

Respecto al contenido de humedad volumétrico, se presentó un efecto significativo de los niveles del K_c ($Pr(>F) = 2 \times 10^{-16}$), y una interacción K_c :pulsos significativa ($Pr(>F) = 2 \times 10^{-16}$). En relación con el análisis entre sujetos solo se presentó un efecto significativo en la fuente de variación día ($8,8 \times 10^{-5}$), no existió una interacción significativa para día: K_c y día: K_c :pulsos. De esta manera, pudieron observarse las mediciones de mayor valor de contenido de humedad volumétrico en los tratamientos en donde mayor volumen de agua se aplicó ($K_c=1,1$ y $1,3$) (Tabla 6). De igual manera, a menor número de pulsos se encontraron menores valores para las mediciones del contenido de humedad volumétrica. A su vez, durante todos los meses del ensayo en el testigo finca (T10), se tomaron mediciones de con el TDR con valores significativamente superiores respecto a los otros tratamientos, evidenciando así el alto contenido de agua en el sustrato para este tratamiento (Figura 7). Lo anterior como consecuencia, de que al existir mayor tiempo entre los riegos y debido a las características físicas del sustrato, la cantidad de agua disponible va a tener mayores rangos que cuando los riegos se presentan con menor frecuencia durante el día. Teniendo en cuenta que las mediciones fueron tomadas luego del mayor lapso sin regar las plantas, que es durante la mañana antes de aplicar el primer pulso. Cabe resaltar, que no fue posible medir el contenido de humedad volumétrico a distintas profundidades en el sustrato, ya que el modelo empleado entregaba un resultado cuya medición es el promedio del contenido de humedad volumétrico en el perfil que

demarcaban las 8" de pulgadas (20,32 cm) de las varillas.

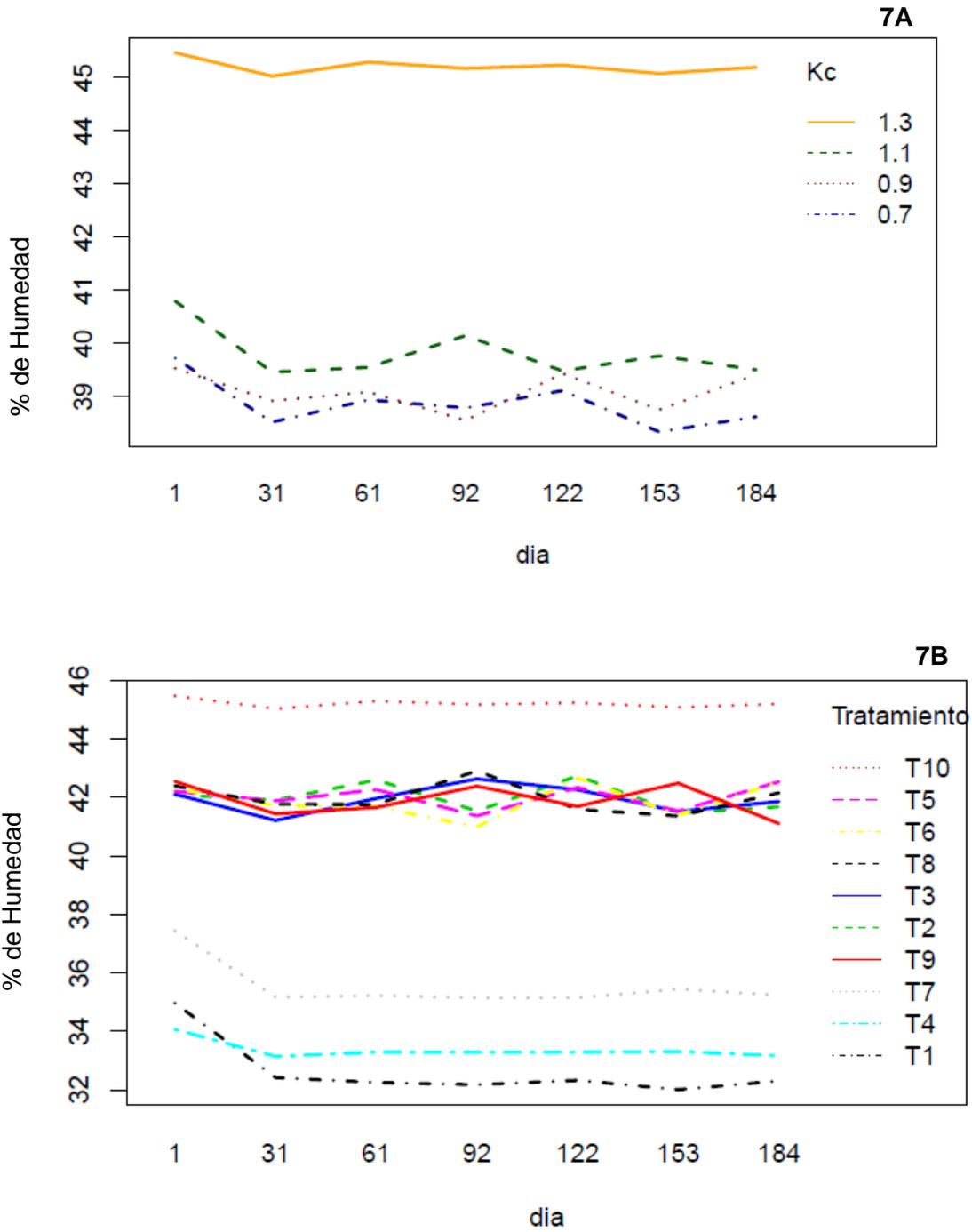


Figura 7. Comportamiento de la variable Contenido de Humedad Volumétrico en cada uno de los tratamientos durante el tiempo de desarrollo del ensayo. **A.** Factor Kc vs tiempo, **B.** Efecto de los diferentes tratamientos.

4.4 Porcentaje de drenaje

		<i>Días después del inicio del ensayo</i>						
<i>Kc</i>		1	31	61	92	122	153	184
0,7		26,831 b	24,331 b	20,644 d	19,688 d	19,47 d	17,79 d	17,757 d
0,9		28,219 a	23,715 c	22,083 c	21,94 c	21,972 c	21,946 c	21,92 c
1,1		28,309 a	23,772 c	23,179 b	23,272 b	23,236 b	23,189 b	23,237 b
1,3		28,008 a	28,727 a	33,27 a	33,268 a	33,058 a	32,947 a	33,437 a
		<i>Kc</i>						
<i>Pulsos</i>		0,7	0,9	1,1	1,3			
5		21,48 a	24,469 a	24,686 a	31,816			
6		21,011 a	22,291 b	24,09 a	-			
7		20,3 a	22,581 b	23,307 b	-			

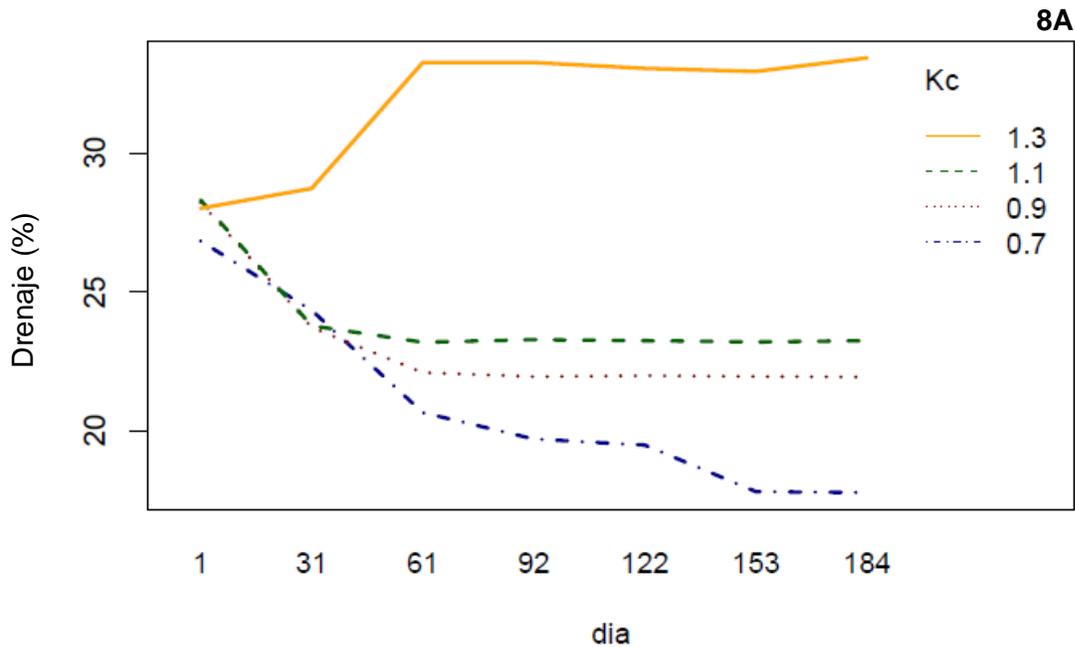
Tabla 6. Comparación de medias para la variable porcentaje de drenaje. Valores expresados en porcentaje de agua drenada del total de lámina de riego aplicada. () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido en la columna son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

Para el porcentaje de drenaje también se evidenció un efecto significativo de los diferentes niveles de K_c ($\text{Pr}(> F) = 2 \times 10^{-16}$). También existió una interacción significativa entre K_c y pulsos ($\text{Pr}(> F) = 2 \times 10^{-16}$). Igualmente, para el análisis de varianza entre sujetos todas las fuentes de variación tuvieron un efecto significativo para el porcentaje de drenaje.

La variable porcentaje de drenaje presentó diferencias significativas desde los primeros meses del presente ensayo (Tabla 7). Se encontró que los valores del porcentaje de drenaje para el tratamiento con coeficiente de riego igual a 1,3 (T10), fueron superiores a los de los otros tratamientos. En los meses de octubre a febrero, las diferencias del porcentaje de drenaje entre los tratamientos fueron mayores (Figura 8). Se encontraron diferencias significativas entre los diferentes niveles del factor coeficiente de cultivo (K_c). Según Fascella (2010), el porcentaje de drenaje en un sistema de fertirriego debe estar en el rango del 10 al 20%, cuando este valor supera este rango, se deben recalculan los pulsos de riego. Sin embargo, exceptuando los tratamientos con coeficiente de cultivo (K_c) de 0,7, los demás tratamientos presentaron valores superiores al 20% de volumen drenado. Es importante resaltar que existieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos con diferencias superiores al 10% del drenaje entre el tratamiento testigo finca

($K_c = 1,3$) y los tratamientos en donde se utilizó $K_c = 0,7$. En la tabla 7 se puede evidenciar como para los tratamientos de nivel de factor $K_c = 0,9$ y $1,1$, la interacción con el número de pulsos presentó resultados contundentes. Observando, que los tratamientos con nivel de factor número de pulsos=5, presentaron mayores porcentajes de drenaje que los tratamientos de seis y siete pulsos.

Esta variable puede evidenciar el impacto ambiental de las diferentes metodologías de riego empleadas, puesto que el agua drenada representa un residuo que contiene fertilizantes con potencial contaminante, además de un gasto innecesario del recurso dentro del sistema de producción. Lograr disminuir el porcentaje de drenaje sin presentar afecciones a la producción representa un importante avance para el desarrollo de metodologías de fertirrigación en cultivos sin suelo de la Sabana de Bogotá.



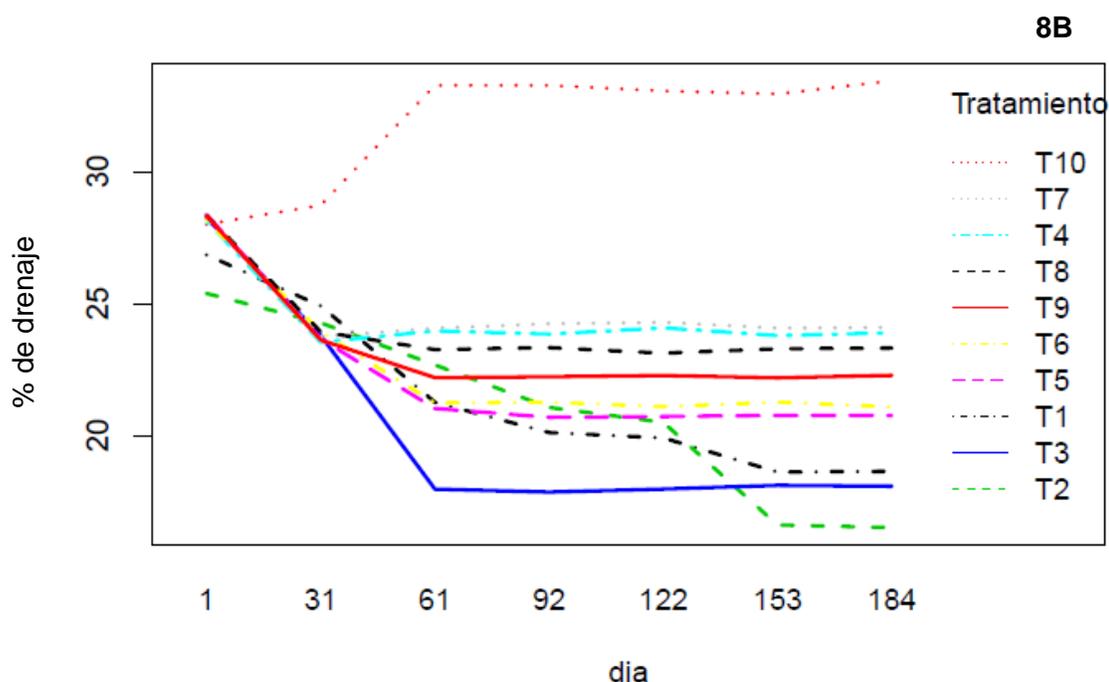


Figura 8. Comportamiento de la variable Porcentaje de drenaje en cada uno de los tratamientos durante el tiempo de desarrollo del ensayo. La medición expresa el % de agua aplicada mediante fertirriego. **A.** Factor Kc vs tiempo, **B.** Efecto de los diferentes tratamientos.

4.5 Longitud de tallo y diámetro de tallo

		<i>Días después del inicio del ensayo</i>						
<i>Kc</i>		1	31	61	92	122	153	184
<i>0,7</i>		57,275 a	55,209 b	49,941 c	48,902 d	48,763 c	47,194 d	48,497 c
<i>0,9</i>		57,516 a	57,129 a	55,589 b	54,6 c	54,567 b	54,396 c	54,689 b
<i>1,1</i>		56,812 a	56,096 ab	56,748 a	56,481 b	56,546 a	56,685 b	56,907 a
<i>1,3</i>		56,892 a	57,781 a	57,433 a	57,411 a	57,372 a	57,761 a	57,522 a
		<i>Kc</i>						
<i>Pulsos</i>		0,7	0,9	1,1	1,3			
5		49,212 b	53,119 c	56,711 a	57,453			
6		50,981 ab	55,882 b	56,714 a	-			
7		52,285 a	57,493 a	56,407 a	-			

Tabla 7. Comparación de medias para la variable longitud de tallo. Valores expresados en cm. () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

		Días después del Inicio del ensayo						
Kc		1	31	61	92	122	153	184
0,7		0,974 a	0,939 b	0,851 c	0,834 c	0,831 c	0,806 d	0,833 c
0,9		0,978 a	0,97 a	0,947 b	0,93 b	0,929 b	0,929 c	0,93 b
1,1		0,965 a	0,954 ab	0,968 a	0,962 a	0,964 a	0,967 b	0,967 a
1,3		0,969 a	0,982 a	0,98 a	0,977 a	0,979 a	0,984 a	0,977 a
		Kc						
	Pulsos	0,7	0,9	1,1	1,3			
	5	0,842 b	0,905 c	0,966 a	0,978			
	6	0,869 ab	0,951 b	0,965 a	-			
	7	0,89 a	0,978 a	0,96 a	-			

Tabla 8. Comparación de medias para la variable diámetro de tallo. Valores expresados en cm. () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

Para la longitud del tallo, se encontró un efecto significativo del factor Kc sobre la variable longitud del tallo ($\text{Pr}(> F) = 2 \times 10^{-16}$), pero también existió una interacción significativa entre los factores Kc y pulsos. Para el análisis entre sujetos hubo un efecto significativo del factor día ($\text{Pr}(> F) = 2 \times 10^{-16}$), y similarmente para la interacción Kc:día ($\text{Pr}(> F) = 2 \times 10^{-16}$) y Kc:día:pulsos ($\text{Pr}(> F) = 0,013$). A pesar de que, en trabajos previos, se observó que plantas de variedades injertadas sobre patrón Natal Briar presentaron mayor tolerancia a sales en comparación con plantas cuyo patrón era otro (Valquiria *et al.*, 2016), para el Kc en términos generales, se pueden observar diferencias desde los 30 días de inicio de los tratamientos, observando una disminución en el largo de los tallos para los tratamientos cuyo Kc era 0,7 y 0,9. Este efecto puede atribuirse a que el estrés hídrico causado en las plantas tratadas con estos tratamientos tuvo un efecto sobre los tallos que iniciaban producción al inicio del ensayo. Por otra parte, los tratamientos con Kc= 1,1 mantuvieron su valor de longitud del tallo a lo largo del ensayo, resaltando que no existieron diferencias significativas a los 0, 1, 62, 122 y 184 días del ensayo, al ser comparado con el tratamiento testigo finca (Kc=1,3). Por su parte, el nivel Kc=0,7 tuvo un comportamiento constante en cuanto a la disminución de la calidad, reflejado en la variable largo del tallo, llegando a valores significativamente inferiores que en los otros niveles del factor (Tabla 8).

Para el factor número de pulsos/día se observaron resultados contundentes, en cuanto a mayor cantidad de pulsos diarios se observó un mayor valor para la variable longitud de tallo. Es un resultado que se mantiene en interacción con todos los niveles del factor Kc,

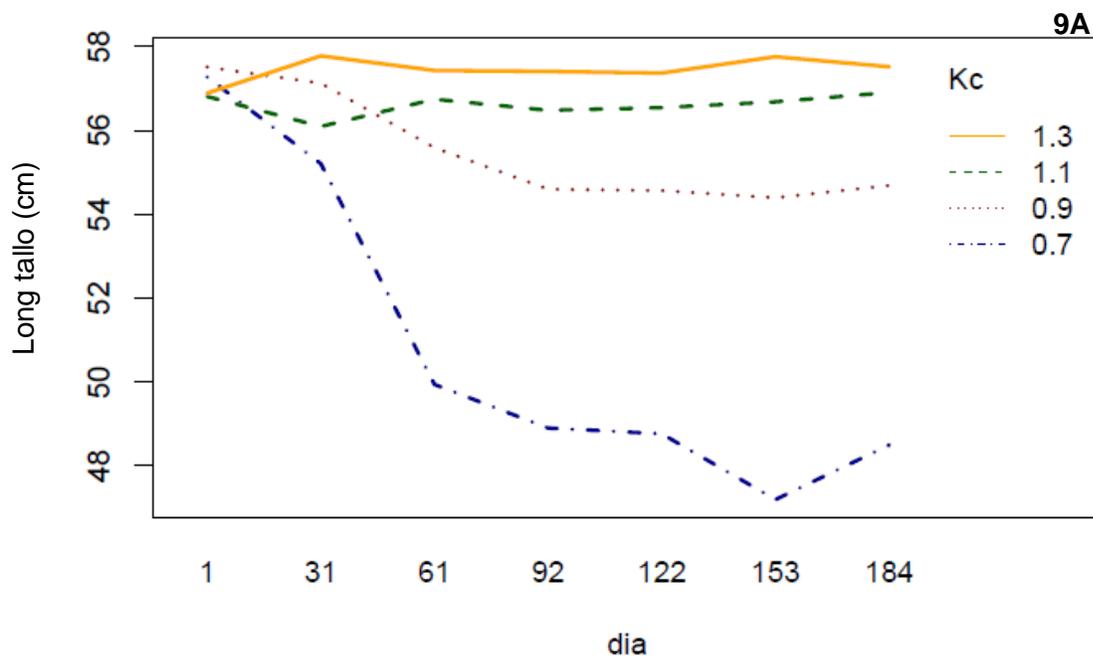
es decir que el dividir el riego en más pulsos, tiene una consecuencia directa sobre mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de la planta, disminuyendo los efectos derivados del estrés de tipo osmótico en la planta.

La variable longitud de tallo presentó sus mayores diferencias entre los tratamientos en la segunda mitad del ensayo. Se encontró que a partir del día 30 de muestreo se evidencian diferencias significativas (Figura 9). Sin embargo, a partir del día 60 los tratamientos T1, T2 y T3 ($K_c=0,7$) presentaron valores significativamente inferiores para esta variable. En orden ascendente en cuanto a la magnitud de esta variable, se encontró una relación directa entre la cantidad de agua aplicada y la longitud de los tallos, encontrando que los tratamientos en donde se utilizó $K_c=0,9$, presentaron una menor longitud de tallo que los tratamientos de $K_c=1,1$ y $1,3$. Esta respuesta afecta una de las variables de calidad de la planta más importantes, debido a que en el mercado internacional la aceptación del producto y su calificación por precio, están directamente relacionadas con la longitud de su tallo, encontrando mercados como el ruso en donde la longitud mínima exigida para comprar el producto es de 65 cm. .

La respuesta negativa sobre la longitud del tallo en los tratamientos T1, T2 y T3, puede ser consecuencia de las bajas láminas de fertirriego que se expresaron en CE superiores y valores de pH bajos en estos tratamientos, este efecto es similar al observado por investigaciones de diversos autores, en las cuales a mayor concentración de sales en el agua de riego disminuye la cantidad de materia seca de tallos y raíces (Genhua *et al.*, 2013 y Genhua y Rodríguez, 2008). A pesar de que las plantas de rosa están clasificadas en un nivel de tolerancia a sales medio (Zamudio *et al.*, 2011), al ser plantas de nueve años después de siembra, su capacidad de generación de raíces es menor, por tanto, cualquier factor que afecte esta condición puede generar perjuicios a su rendimiento. Por otra parte, se ha observado que niveles de pH bajos generan consecuencias sobre la disponibilidad y dinámica de los iones en el sustrato. Para que la dinámica de los iones conserve su equilibrio es recomendable tener valores de pH de la solución del sustrato en un rango entre 5 y 6, y de CE inferiores a $1,8 \text{ dSm}^{-1}$ según metodología de Extracto de Saturación del Sustrato (Torres *et al.*, 2017). Cabe resaltar que el tratamiento T6, en donde el K_c utilizado fue de 0,9 no presenta diferencias con T7, T8 y T9 ($K_c=1,1$). Este resultado representa una ventana de ahorro en un escenario de uso eficiente del agua, al emplear una metodología de riego con $K_c=0,9$, dividiendo la lámina calculada en una aplicación de

7 pulsos/día (Tabla 9). Esta respuesta puede atribuirse al efecto de mantener el sustrato con unos niveles de humedad constantes, disminuyendo las consecuencias del estrés por déficit hídrico en las plantas de rosa. Este tratamiento (T6) representa un ahorro de agua del 18,5% con respecto a los tratamientos T7, T8 y T9, puesto que el promedio del volumen diario aplicado por cama fue de 186 L en T6, y 228 L en T7, T8 y T9.

En cuanto a la variable diámetro de tallo (Tabla 9) se encontraron diferencias significativas desde el día 31 de muestreo, evidenciando que al igual en la variable largo de tallo, en los tratamientos de $K_c=1,1$ y $1,3$ se presentaron los valores de mayor magnitud. Es de resaltar que de los tratamientos de K_c 0,9, el T6 (7 pulsos) no presentó diferencias significativas respecto el testigo finca (T10).



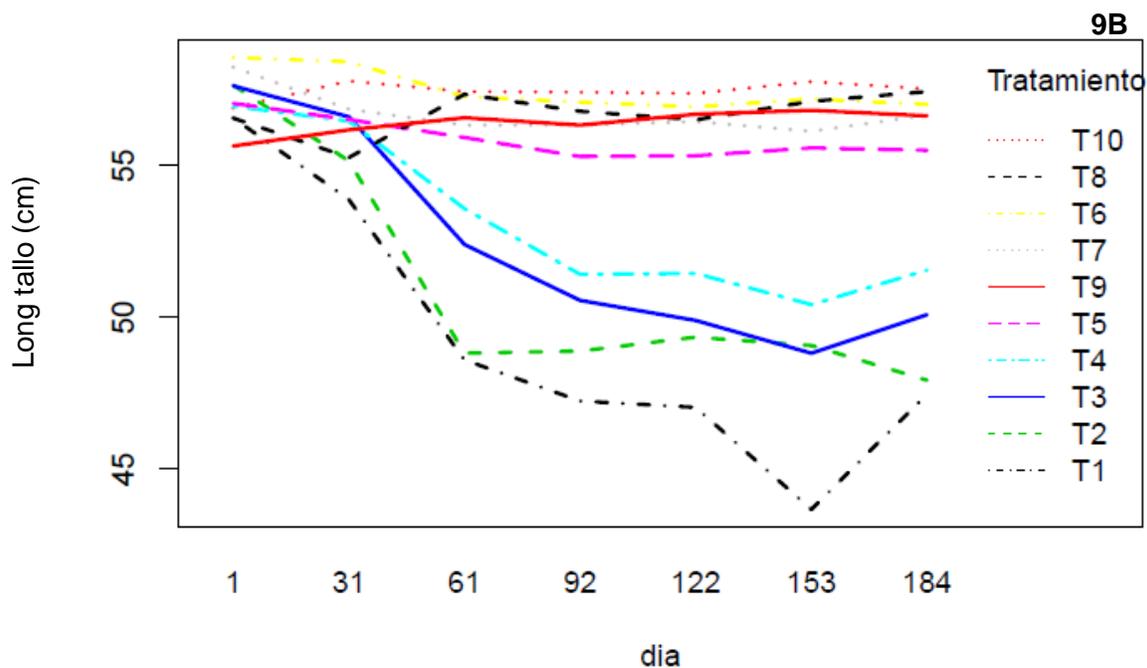


Figura 9. Comportamiento de la variable longitud de tallo en cada uno de los tratamientos durante el tiempo de desarrollo del ensayo. Mediciones expresadas en cm. **A.** Factor Kc vs tiempo, **B.** Efecto de los diferentes tratamientos.

4.6 Longitud y diámetro de botón

		<i>Días después del inicio del ensayo</i>						
<i>Kc</i>		1	31	61	92	122	153	184
0,7		6,245 a	6,212 a	6,26 a	6,411 a	6,171 a	6,15 b	6,499 a
0,9		6,239 a	6,252 a	6,411 a	6,158 a	6,295 a	6,29 ab	6,136 a
1,1		6,306 a	6,277 a	6,327 a	6,414 a	6,31 a	6,527 a	6,27 a
1,3		6,438 a	6,21 a	6,101 a	6,179 a	6,027 a	6,514 ab	6,267 a
		<i>Kc</i>						
<i>Pulsos</i>		0,7	0,9	1,1	1,3			
5		6,223 a	6,221 a	6,3 a	6,248			
6		6,274 a	6,257 a	6,317 a	-			
7		6,338 a	6,285 a	6,425 a	-			

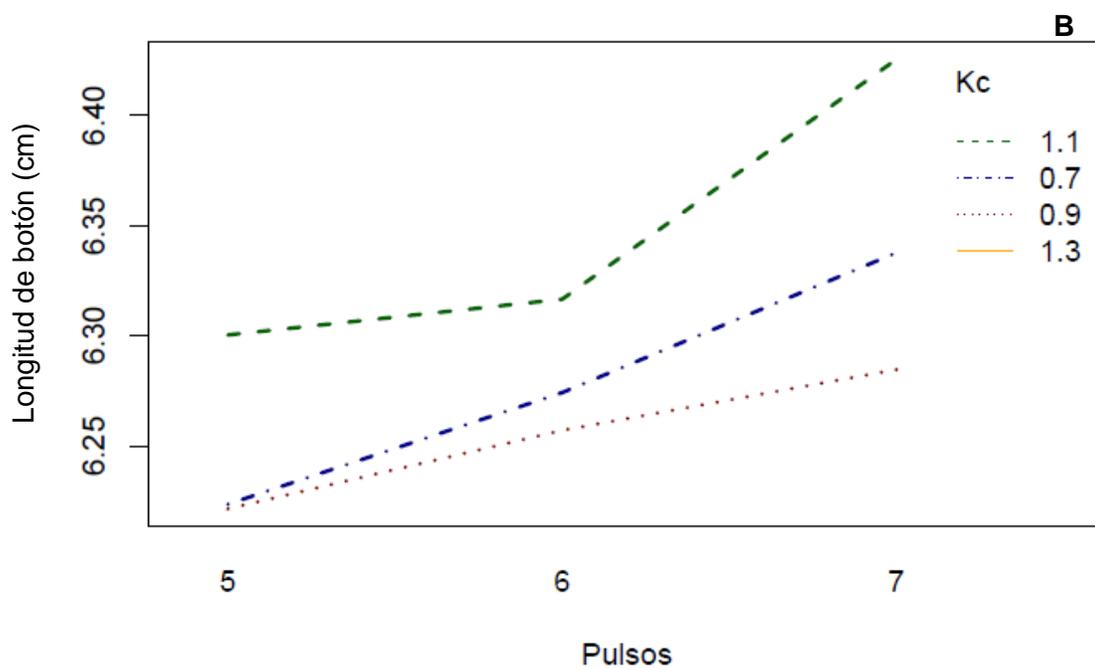
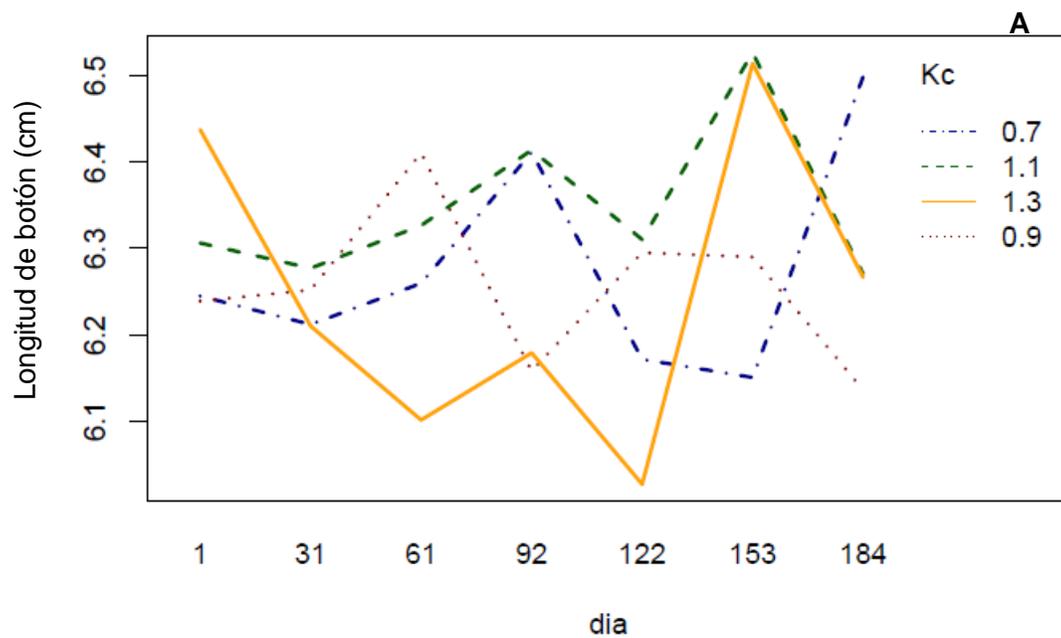
Tabla 9. Comparación de medias para la variable longitud de botón. Valores expresados en cm. () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

		<i>Días después del inicio del ensayo</i>						
Kc		1	31	61	92	122	153	184
0,7		6,245 a	6,212 a	6,26 a	6,411 a	6,171 a	6,15 b	6,499 a
0,9		6,239 a	6,252 a	6,411 a	6,158 a	6,295 a	6,29 ab	6,136 a
1,1		6,306 a	6,277 a	6,327 a	6,414 a	6,31 a	6,527 a	6,27 a
1,3		6,438 a	6,21 a	6,101 a	6,179 a	6,027 a	6,514 ab	6,267 a
		Kc						
Pulsos		0,7	0,9	1,1	1,3			
5		6,223 a	6,221 a	6,3 a	6,248			
6		6,274 a	6,257 a	6,317 a	-			
7		6,338 a	6,285 a	6,425 a	-			

Tabla 10. Comparación de medias para la variable longitud de botón. Valores expresados en cm. () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

En la longitud del botón no se tuvo un efecto significativo del factor Kc, ni tampoco de la interacción Kc:pulsos . Y para el análisis entre sujetos no existió un efecto del tiempo, ni de las interacciones día:Kc y día:Kc:pulso.

Para la variable longitud de botón se presentó un comportamiento dinámico (Figura 11) de los valores presentados por los diferentes tratamientos durante el tiempo. La interacción entre los factores Kc y número de pulsos tiene una tendencia marcada, a mayor número de pulsos y mayor Kc se encontró una respuesta mayor en cuanto al valor de esta variable, sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para esta variable. Esta variable afecta directamente la calidad de las flores a exportar, sin embargo, en ninguno de los tratamientos se obtuvo un valor que estuviera fuera de los estándares del producto a exportar. En cuanto a la variable diámetro de botón no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.



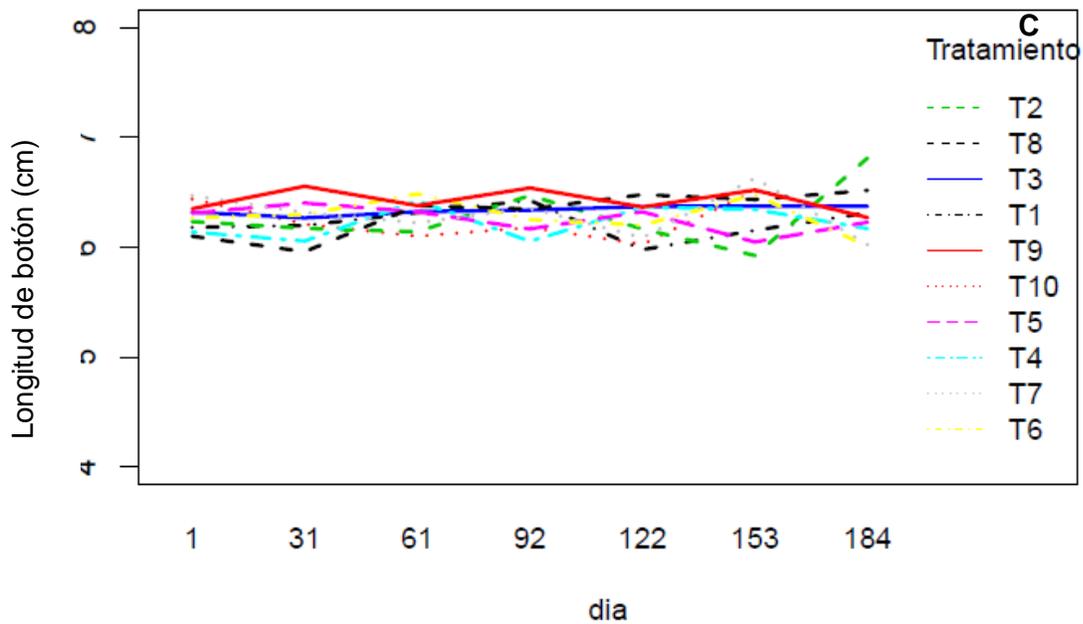


Figura 10. Comportamiento de la variable longitud de botón en plantas de rosa var. Freedom sometidas a diferentes coeficientes de cultivo y láminas de riego fraccionadas .. **A.** Factor Kc vs tiempo, **B.** Factor Kc vs Factor pulsos, **C.** Efecto de los diferentes tratamientos.

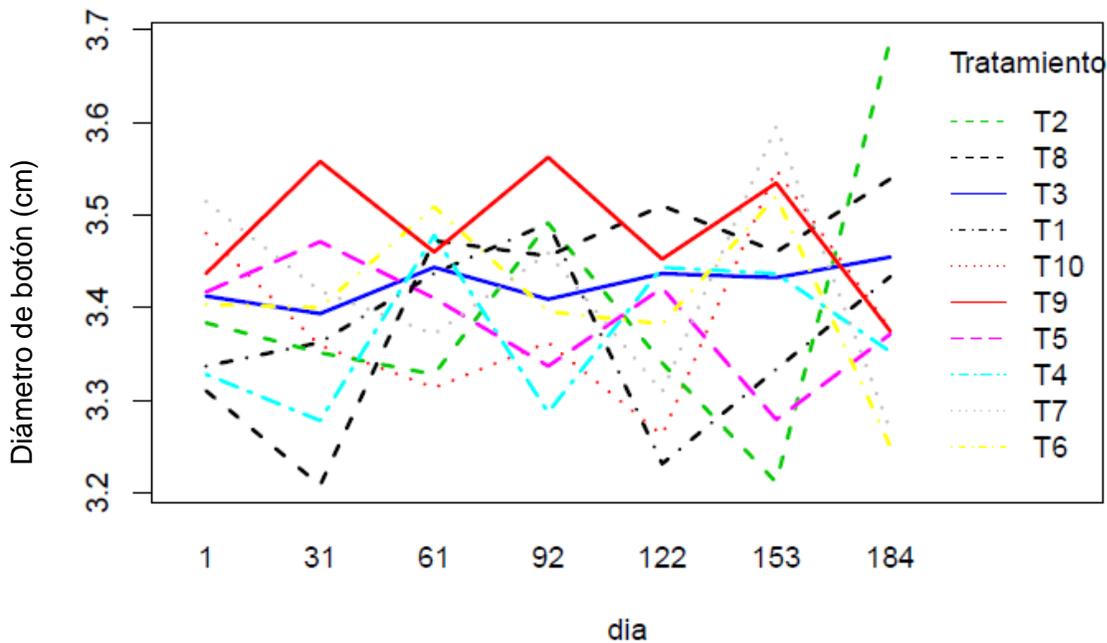


Figura 11. Comportamiento de la variable diámetro de botón en cada uno de los tratamientos durante el tiempo de desarrollo del ensayo.. **A.** Efecto de los diferentes tratamientos.

4.7 Rendimiento

		<i>Días después del inicio del ensayo</i>					
<i>Kc</i>		1	30	90	120	150	180
0,7		611,143 a	618,143 a	597,714 a	370,143 a	920,429 a	777,429 b
0,9		616,455 a	620,364 a	600,273 a	375,909 a	920,091 a	805,182 ab
1,1		610,444 a	619,889 a	594,222 a	373,111 a	920,111 a	817,111 a
1,3		612,333 a	620,667 a	600,333 a	378,333 a	926,667 a	816 ab
		<i>Kc</i>					
<i>Pulsos</i>		0,7	0,9	1,1	1,3		
5		646,778 a	659,167 a	656,222 a	659,055		
6		652,889 a	654,792 a	654,167 a			
7		645,167 a	654,778 a	657,056 a			

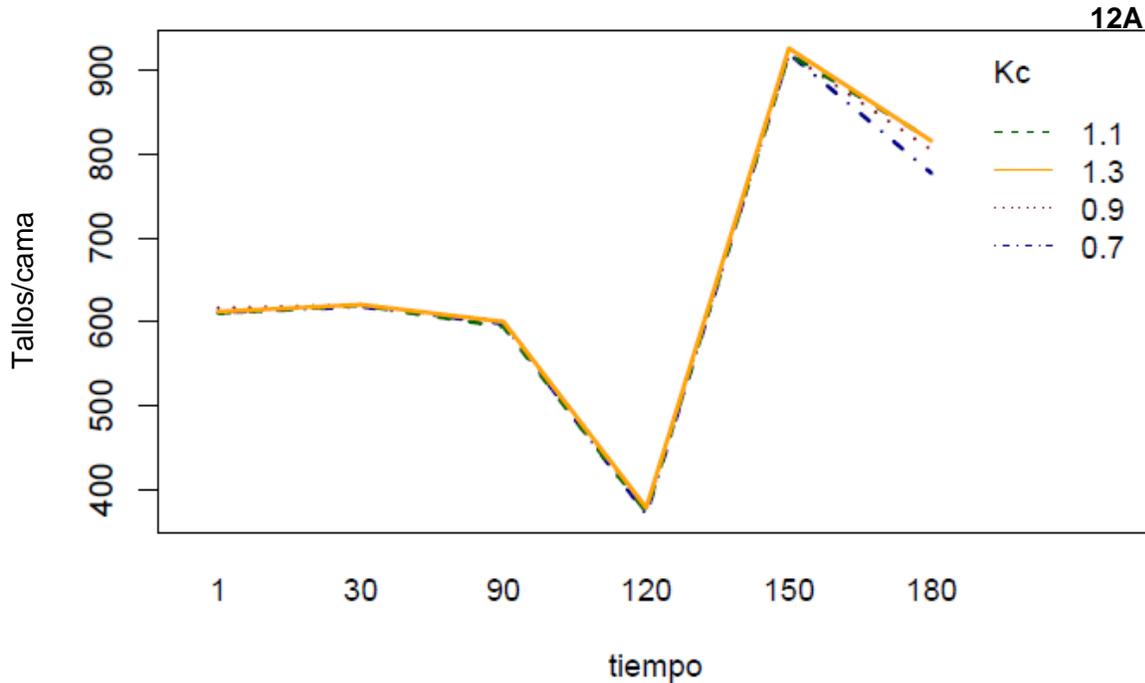
Tabla 11. Comparación de medias para la variable rendimiento. Valores expresados en producción de tallos/cama. () Indica el lugar ocupado por el genotipo. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales con $P \leq 0,05$ (Tukey).

Para la variable rendimiento se presentó un efecto significativo de los niveles del factor Kc ($\text{Pr}(> F) = 0,0054$), y no se presentó interacción Kc:pulsos. Respecto al análisis entre sujetos hubo un efecto significativo del factor día ($\text{Pr}(> F) = 4 \times 10^{-7}$) y no se presentó ninguna interacción significativa.

Se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos después de los 160 días de inicio del ensayo (Tabla 12). Teniendo en cuenta que el ciclo de cultivo de la rosa puede estar en promedio en 72 días, el comportamiento del primer periodo del ensayo tiene relación con los resultados expuestos por Arévalo *et al.* (2013), en donde al exponer las plantas a distintos tratamientos de volúmenes de riego no hubo un efecto significativo sobre el rendimiento de las plantas de rosa. Sin embargo, en el segundo ciclo de cultivo si existieron diferencias significativas en la variable rendimiento, de tal manera que en los tratamientos en donde se empleó $Kc=0,7$, disminuyeron su productividad hasta en 39 tallos/cama en un mes comparados con los otros tratamientos (Comparación T1 vs T10, día 180). Según lo descrito por Samartzidis *et al.* (2005), al estar el cultivo de rosa bajo diferentes condiciones hídricas, se presentaron diferencias en el rendimiento del cultivo, al igual que en algunas variables de calidad como la longitud de los tallos. El rendimiento del cultivo puede disminuir como consecuencia del estrés hídrico que afecta el número de

brotos viables, en la medida en que este tipo de estrés puede afectar el desarrollo vegetativo de las plantas (Garzón *et al.*, 2013).

Cabe resaltar, que a pesar de no observar diferencias significativas en el número de tallos producidos en cada cama en los tratamientos en donde se emplearon $K_c= 0,9, 1,1$ y $1,3$, (Figura 12) en la variable longitud del tallo si se presentaron diferencias. Es decir, que el rendimiento de tallos exportables se vio afectado por los tratamientos de riego en estos tratamientos. Debido a que la exportación de los tallos de rosa depende de su diámetro y longitud. El efecto de la baja disponibilidad de agua en el sustrato para las plantas de rosa es muy similar al causado por el estrés por alta salinidad, puesto que en los dos casos se ve afectada la cantidad de agua que la planta pueda absorber. El estrés osmótico generado ocasiona una acumulación de iones en las células de la planta, y esta a su vez genera un desequilibrio de solutos que afectan directamente el crecimiento de las plantas (Valquiria *et al.*, 2016).



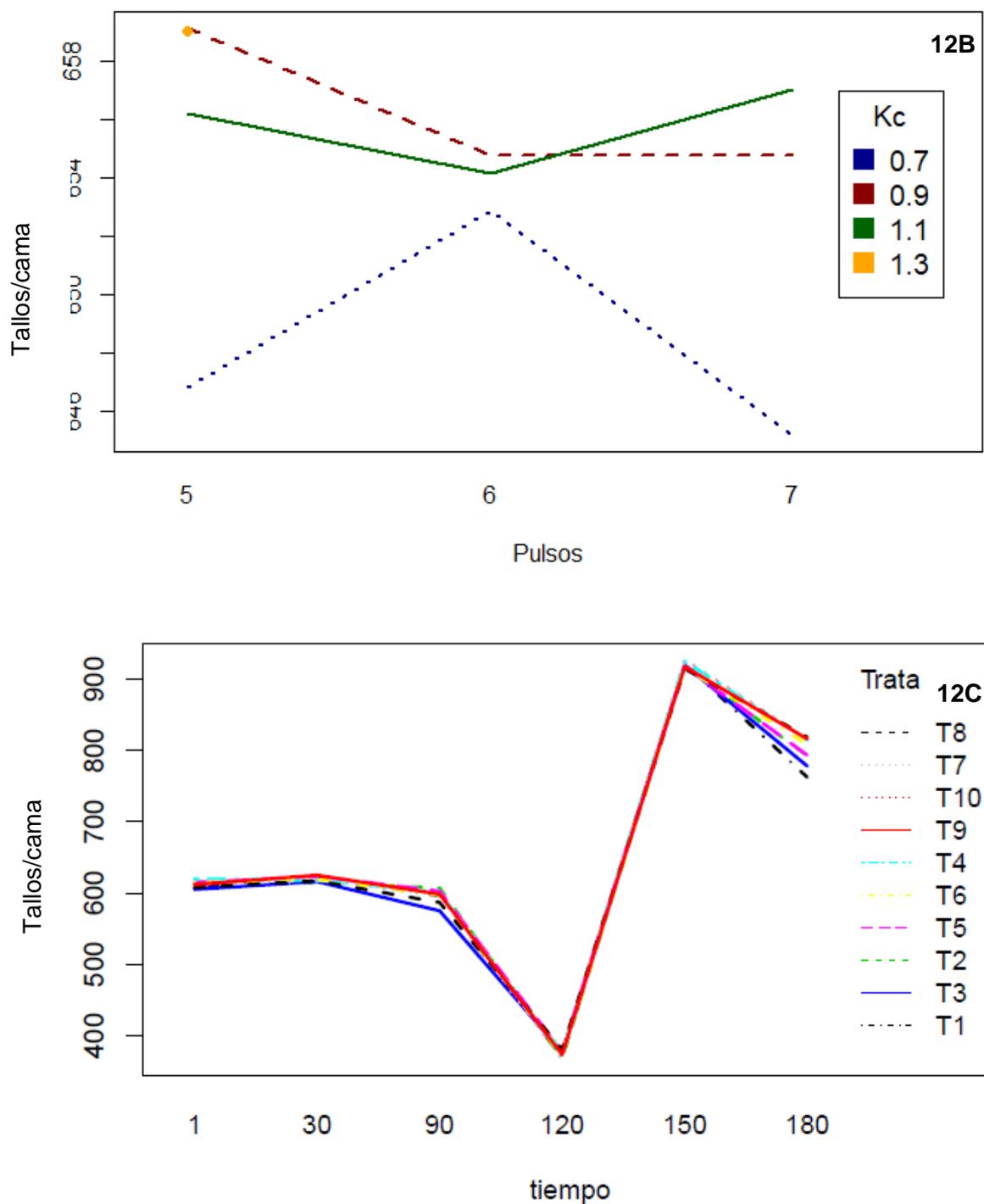


Figura 12. Comportamiento de la variable rendimiento (#tallos/cama) en cada uno de los tratamientos durante el tiempo de desarrollo del ensayo. **A.** Factor Kc vs tiempo, **B.** Factor Kc vs Factor pulsos, **C.** Efecto de los diferentes tratamientos.

5. Conclusiones

El efecto del uso de coeficientes de cultivo $K_c=0,7$ en el cálculo de la lámina de fertirriego aplicada a diario fue negativo sobre el rendimiento y la calidad del cultivo hidropónico de rosa. Lo anterior como consecuencia de que, en los tratamientos con K_c de 0,7, se afectó negativamente la calidad de la flor (Dimensiones del tallo y del botón) con respecto a los otros tratamientos. Para la variable evaluada longitud de tallo se presentaron valores menores respecto a los otros tratamientos. Por otra parte, los volúmenes de fertirriego calculados a partir de $K_c = 0,7$ generaron un efecto negativo sobre las características del sustrato, al bajar el pH y subir los valores para la CE.

Es importante destacar que, al usar una metodología de mayor frecuencia de riego, como es el caso del tratamiento T6 se mantuvo la respuesta productiva de las plantas de rosa, a pesar de aplicar un menor volumen total de agua. Al dividir una lámina diaria de riego de menor volumen ($K_c = 0,9$) en siete pulsos. El ahorro de agua y fertilizantes representó una cifra de 18,5% con respecto a los tratamientos de $K_c = 1,1$ (T7, T8 y T9) y de 25,6% con respecto al tratamiento testigo finca (T10). Es decir, que el presente ensayo evidencia como a partir de un manejo eficiente de la aplicación del fertirriego en los cultivos de rosa cv Freedom, puede disminuirse los costos de producción, al disminuir el consumo de agua, energía y fertilizantes. De igual manera, se contribuye a disminuir el impacto ambiental negativo que generan los residuos de los cultivos sin suelo.

El uso de sistemas de fertirrigación eficientes es clave cuando se quieren optimizar el uso de aguas de baja calidad, el presente trabajo brinda información para construir herramientas para el manejo de estos sistemas en el cultivo sin suelo de rosa, de manera que con la implementación de metodologías de riego como la presentada en el tratamiento T6 se pueda disminuir la cantidad de agua y fertilizantes usados en el sistema de producción sin tener afectación sobre la respuesta productiva del cultivo.

Con el objetivo de buscar un escenario que genere la mayor sostenibilidad de la actividad de producción de rosas en sustrato compuesto principalmente por cascarilla de arroz, es necesario abordar más estudios acerca del efecto de la alta frecuencia del fertirriego, para hacer más precisa la toma de decisiones de riego.

6. Bibliografía

- Adema, D. M. M., & Henzen, L. (1989). A comparison of plant toxicities of some industrial chemicals in soil culture and soilless culture. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 18(2), 219–229. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0147-6513\(89\)90083-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0147-6513(89)90083-3)
- Arévalo, J. J., Vélez S., J. E., & Intrigliolo, D. (2014). Determination of an efficient irrigation schedule for the cultivation of rose cv. Freedom under greenhouse conditions in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(1), 95–102. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.40160>
- Beltrano, J., & Giménez, D. (2015). Cultivo en hidroponía. *Universidad Nacional de La Plata*, 1(978-950-34-1258–9), 180. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Bian, C., Ma, C., Liu, X., Gao, C., Liu, Q., Yan, Z., & Li, Q. (2016). Responses of winter wheat yield and water use efficiency to irrigation frequency and planting pattern. *PLoS ONE*, 11(5), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154673>
- Cai, X., Starman, T., Niu, G., & Hall, C. (2014). The Effect of Substrate Moisture Content on Growth and Physiological Responses of Two Landscape Roses (*Rosa hybrida* L.). *HortScience*, 49(6), 741–745. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=tr> **HYPERLINK** "<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=102473480&lang=es&site=ehost-live>"
- Cai, X., Starman, T., Niu, G., & Hall, C. (2012). Response of six garden roses (*Rosa x hybrida* L.) to salt stress. *Scientia Horticulturae* 168(2), 27–32.
- Cai, X., Starman, T., Niu, G., Hall, C., & Lombardini, L. (2012). Response of Selected Garden Roses to Drought Stress. *HortScience*, 47(8), 1050–1055. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true>
- Cuervo B., W. J., Flórez R., V. J., & González M., C. A. (2013). Aspects to consider for optimizing a substrate culture system with drainage recycling. *Agronomía Colombiana*;

- Vol. 30, Num. 3 (2012); 379-387 Agronomía Colombiana; Vol. 30, Num. 3 (2012); 379-387 2357-3732 0120-9965, 30(3), 379–387. Retrieved from <http://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/29029>*
- Esmeral, Yulaima Rosa, González, Carlos Alberto, Florez, V. J. (2011). Charlotte en condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. *Sustratos, Manejo Del Clima, Automatización Y Control En Sistemas de Cultivo Sin Suelo*, 1 (December), 109–126.
- Fascella, G. (2010). Growing Substrates Alternative to Peat for Ornamental Plants. *Soilless culture*. 56-64.
- Fuentes, F., & Massol-Deyá, A. (2002). Parámetros físico-químicos: temperatura. In *Manual de Laboratorios Ecología de Microorganismos*. <https://doi.org/1806>
- Garzón, D., Velez-Sánchez, J., & Orduz J. (2013). Efecto del déficit hídrico en el crecimiento y desarrollo de frutos de naranja Valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) en el piedemonte del Meta, Colombia. *Acta Agronómica*. 62 (2) 2013, 136-147
- Genhua, N., Starman, T., & Byrne, D. (2013). Responses of Growth and Mineral Nutrition of Garden Roses to Saline Water Irrigation. *Hortscience*. 48(6), 756–761.
- Genhua, N., & Rodríguez D. (2013). Responses of Growth and Ion Uptake of Four Rose Rootstocks to Chloride- or Sulfate-dominated Salinity. *Journal of American Society Horticultural. SCI*. 133(5):663–669
- Guzmán, M., & Diaz, R. (2004). Características de los fertilizantes para su uso en la fertirrigación. in *ferti-riego: tecnologías y programación en agroplasticultura* (pp. 191–202).
- Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., & Negi, A. K. (2014). A Review On The Science Of Growing Crops Without Soil (Soilless Culture) – A Novel Alternative For Growing Crops, 833–842.
- Katsoulas, N., Kittas, C., Dimokas, G., & Lykas, C. (2006). Effect of Irrigation Frequency on Rose Flower Production and Quality. *Biosystems Engineering*, 93(2), 237–244. Retrieved from <http://10.0.3.248/j.biosystemseng.2005.11.006>

- Ko, J. D. Y. S., & Kowalczyk, W. (2009). the influence of ph of nutrient solution on yield and nutritional status of tomato plants grown in soilless culture system, *70*, 59–69. <https://doi.org/10.2478/v10032-009-0006-y>
- Konukcu, F., Gowing, J. W., & Rose, D. A. (2006). Dry drainage: A sustainable solution to waterlogging and salinity problems in irrigation areas? *Agricultural Water Management*, *83*(1–2), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.09.003>
- López, T., Duarte, C., González, F., & Cid, G. (2008). Actualización de propiedades físicas e hidrodinámicas para un sustrato en condiciones de organopónico. *Quantification of Physical and Hydraulic Properties for a Substrate in Conditions of Organic Agriculture.*, *17*(3), 1–5. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true>
- Mariela Rodriguez, S., & Flórez, V. J. (2012). Changes in EC, pH and in the concentrations of nitrate, ammonium, sodium and chlorine in the drainage solution of a crop of roses on substrates with drainage recycling. *Agronomía Colombiana*, *30*(2), 266–273. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/1677579086?accountid=4384>
HYPERLINK
["http://search.proquest.com/docview/1677579086?accountid=43849%5Cnhttp://www.yidu.edu.cn/educhina/educhina.do?artifact=&svalue=Agronomía+Colombiana&stype=2&s=on%5Cnhttp://pqdt.calis.edu.cn/SearchResults.aspx?pm=0&q=%5Cnhttp://159.226.100.141/Reader/union_r"](http://search.proquest.com/docview/1677579086?accountid=43849%5Cnhttp://www.yidu.edu.cn/educhina/educhina.do?artifact=&svalue=Agronomía+Colombiana&stype=2&s=on%5Cnhttp://pqdt.calis.edu.cn/SearchResults.aspx?pm=0&q=%5Cnhttp://159.226.100.141/Reader/union_r)
- Martines, E. (2008). Cálculo de la Temperatura de Punto de Rocío a Diferentes Valores de Presión. *Simposio de Metrología*, *22 al 24 d*, 1–5.
- Massa, D., Incrocci, L., Maggini, R., Carmassi, G., Campiotti, C. A., & Pardossi, A. (2010). Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, *97*(7), 971–980. Retrieved from <http://10.0.3.248/j.agwat.2010.01.029>
- Massa, D., Mattson, N. S., & Lieth, H. (2008). An empirical model to simulate sodium absorption in roses growing in a hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, *118*(3), 228–235. Retrieved from <http://10.0.3.248/j.sci> **HYPERLINK**
["http://10.0.3.248/j.scienta.2008.05.036"](http://10.0.3.248/j.scienta.2008.05.036) **HYPERLINK**
["http://10.0.3.248/j.scienta.2008.05.036"](http://10.0.3.248/j.scienta.2008.05.036) **HYPERLINK**
["http://10.0.3.248/j.scienta.2008.05.036"](http://10.0.3.248/j.scienta.2008.05.036) **HYPERLINK**

- Miranda, D., Carranza, C., Andrés Rojas, C., Martín Jerez, C., Fischer, G., & Zurita, J. (2008). Acumulación de metales pesados en suelo y planta de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2. <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i2.1186>
- Miranda, D., Carranza, C., & Fischer, G. (2008). *Calidad del agua de riego en la sabana de Bogotá*. Unibiblos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Bogotá.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2014). Fertilizantes química y acción. Editorial Mundi-Prensa. Tercera Edición. 54-55.
- P, A. P., & Yuliando, H. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: a Review. *Italian Oral Surgery*, 3, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>
- Raes, D. (2012). The ETo Calculator Table of Contents. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations Land and Water Division*. 3 (2), 1–38.
- Reyes, A., Rodríguez, A., Zermeño, D., & Jasso, M. (2012). Evaluación de un modelo para estimar la temperatura y humedad relativa en el interior de invernadero con ventilación natural. *Rev. Chapingo Ser.Hortic vol.18 no.1 Versión Impresa ISSN 1027-152X*, 1(1), 125–140. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.18.009>
- Romero-palomares, J., & Romero, E. (2015). Distribución de cationes en el bulbo húmedo del fertirriego en el cultivo de pimentón (*Capsicum annum* L .) con cintas de goteo. *Revista Electrónica Conocimiento Libre y Licenciamiento (CLIC)*, 9, 120–131.
- Samartzidis C., Awada T., Maloupa E., Radoglou K., & Constantinidou H. (2005). Rose productivity and physiological responses to different substrates for soil-less culture. *Scientia Horticulturae*. 106(2). 203-212.
- Shamshery, P., Wang, R.-Q., Tran, D., & Winter V, A. G. (2017). Modeling the future of irrigation: A parametric description of pressure compensating drip irrigation emitter performance. *PLoS ONE*, 12(4), 1–24. Retrieved from <http://10.0.5.91/journal.pone.0175241>

- Sinha, I., Buttar, G. S., & Brar, A. S. (2017). Drip irrigation and fertigation improve economics, water and energy productivity of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Indian Punjab. *Agricultural Water Management*, 185, 58–64. Retrieved from <http://10.0.3.248/j.agwat.2017.02.008>
- Valquiria, M., Mendoza, M., Paiva, R., & Correa, D. (2016). Salinity in rose production. *Ornamental agricultural*. 22(2), 228-234. <https://doi.org/10.14295/oh.v22i2.904>
- Wiegand, C. L. (2016). La salinidad del suelo y su efecto en el rendimiento de los cultivos estudiados con imágenes de satélite en tres distritos de riego La salinidad del suelo y su efecto en el rendimiento de los cultivos estudiados con imágenes de satélite en tres distritos de riego, (June 2003).
- Zamudio-González, B., Mendoza-Nicolás, E., Alcántar-González, G., Etchevers-Barra, J. D., & Vázquez-Alarcón, A.. (2011). Pérdidas de nitratos y salinización del suelo por riego por goteo con nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 239-248. Recuperado en 07 de noviembre de 2019, de [htHYPERLINK "http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300239&lng=es&tlng=es" HYPERLINK "http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextHYPERLINK "http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300239&lng=es&tlng=es"&HYPERLINK "http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300239&lng=es&tlng=es"pid=S0187-57792011000300239](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300239&lng=es&tlng=es)
- Zhang, G., Liu, C., Xiao, C., Xie, R., Ming, B., Hou, P., & Li, S. (2017). Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of China. *Field Crops Research*, 211, 137–146. Retrieved from <http://10.0.3.248/j.fcr.2017.05.026>