



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA**



**Respuesta de la stevia (*Stevia rebaudiana*(Bertoni) Bertoni a  
condiciones de mal drenaje interno**

Tesista: Marcy Pirela

Tutor: Roberto Villafañe

Maracay, Junio 2016.



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA**



**Respuesta de la stevia (*Stevia rebaudiana*(Bertoni) Bertoni) a  
condiciones de mal drenaje interno**

Tesista: Marcy Pirela

Tutor: Roberto Villafañe

Trabajo presentado como parte de los requisitos para optar al título  
de Ingeniero Agrónomo mención Zootecnia que otorga la  
Universidad Central de Venezuela

Maracay, Junio 2016.

## **Dedicatoria**

Con mucho amor y cariño quiero dedicar esta tesis a mis más grandes amigos; Mi padre Marcos Antonio Pirela Uzcategui y Mi Madre Francis Margarita Aguilar Jiménez, quienes me han apoyado en todo momento de mi carrera y mi vida, dándome la motivación, los valores y consejos necesarios para poder seguir adelante, Sin ellos sé que no hubiese podido estar donde estoy ahora. Ustedes son y serán siempre mi norte, mi ejemplo a seguir, tanto en lo personal como en lo profesional, son seres súper emprendedores dignos de mi admiración. Sé que por mi dejaron en segundo y tercer plano muchos de sus sueños y metas pero aun así me enseñaron que nunca es tardes para lograrlos. No tengo mejor forma hasta ahora de poderles demostrarles lo importante que son para mí, pero quiero que sepan que este logro no es sólo mío, sino de ustedes también. Estas pequeñas líneas no abarcan ni demuestran todo el amor que siento por ustedes y sé que no es suficiente pero si es algo por lo que espero poder hacerlos sentir orgullosos.

Simplymente mi vida entera se las dedico a ustedes.

Padres los amo enormemente.

## **Agradecimiento**

Ante todo le doy las gracias a la Universidad Central de Venezuela, la cual fue mi casa de estudio, lugar donde tuve la oportunidad de adquirir muchos de mis conocimientos y presto los espacios para poder desarrollar mi proyecto de grado.

Agradezco a todos aquellos profesores que en gran parte de mi carrera fueron partícipes de mi formación académica, en especial al Profesor Roberto Villafañe, quien fue mi tutor en este proyecto, gracias por toda su ayuda, apoyo y por darme la oportunidad de recurrir a usted en cuanto a su capacidad y conocimientos científicos, así como también le doy las gracias por haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme a lo largo de la realización de mi tesis.

De igual forma quiero agradecer a gran parte de mi familia, en especial a mis padres, por darme las herramientas necesarias para poder seguir adelante, tanto en lo económico como en la parte moral, gracias viejos por todas las noches que mientras yo estudiaba ustedes se quedaron a mi lado dándome ánimos y haciéndome compañía. Agradezco a mi hermana Francis Josefina Díaz Aguilar, por ser parte de mi inspiración y motivación en el momento de comenzar mis estudios universitarios, gracias por ser esa hermana ejemplar que a pesar de nuestras diferencias siempre me hiciste sentir de que estabas ahí, que podía contar contigo en cualquier instante, y que hoy en día sigues estando en todos esos momentos malos, buenos, grandes o pequeños de mi vida que son tan importantes para mí. Gracias a mi hermana Mayor, Marglay Yindy Pirela Reaño y a mi sobrina mayor Nolbyn Luciana Rivero Pirela, quienes de una manera u otra han permanecido a mi lado durante este periodo, Así como también agradezco a mi sobrino Brandon Isaac Rivero Pirela, quien compartió muchos días durante la realización de mi tesis, sirviendo de ayuda en la parte de la recolección de la información de campo, en numerosas oportunidades me brindaste esa compañía incondicional, siendo solidario, comprensivo y cariñoso en nuestras largas horas de trabajo.

A parte quisiera darle las gracias a mis amigos y hermanos de carrera, mi gran COMBO 1, Alfredo González, Amílcar Castro, William Brandt, Héctor Ochoa, Hernando Silva, Rene Solórzano, José Alba (Pepe Zamora), Mariagracia Zabarse, Carmen Ruiz, Ana Patricia Carpio (Tita), David Roo, José Alberto Tovar y Adriana Pérez, quienes estuvieron a lo largo de esta gran etapa de mi vida; gracias por brindar esa compañía y soporte durante las largas horas de estudio, siempre apoyándonos unos a los otros, ya que mucho quisimos en algún momento abandonar la carrera por diversos motivos, pero debido a los reclamos y críticas constructivas, todos seguimos adelante pudiendo así lograr nuestras metas. Gracias a mis locos, Asdrúbal Márquez, Alcides Jaspe, John Canelo, Michael Fares parte también de este COMBO, por el esfuerzo que me brindaron principalmente los primeros días de preparación y recolección de datos de mi proyecto. Gracias a todo el Combo no sólo por su apoyo sino por todas las vivencias que pasamos juntos. Después de diez años de amistad aún seguimos unidos.

Finalmente quiero agradecer enormemente a una persona muy especial, quien se sacrificó y dejó a un lado muchas cosas de su vida para que yo pudiera realizar y culminar esta etapa de mi vida. Gracias por ser ese amigo, compañero y apoyo incondicional que es tan importante en estos momentos de la vida, siempre estarás en mi corazón y puedes contar conmigo de igual manera en que yo conté contigo, ahora más que nunca que esperamos a una semillita que nos llenara de más alegría en nuestras vidas. Gracias Alfredo Enrique González Hernández, por estar siempre a mi lado. Te amo.

Gracias a todas aquellas personas, amigos, familiares y seres queridos que están, y otros que ya no están conmigo por diversas circunstancias de la vida, los cuales de manera directa e indirecta formaron parte de este proyecto, espero poder seguir contando con ustedes durante toda mi vida. Sinceramente Gracias.

## Resumen

Se estudió el comportamiento de las plantas de stevia en cinco condiciones de humedad del suelo manejadas con tratamientos de humedad controlados con niveles freáticos (nivel freático a 10, 20, 30 y 40 cm y ausencia de nivel freático o drenaje libre), con seis repeticiones por tratamiento en un diseño completamente aleatorizado. Las columnas de suelo donde se evaluaron dichos tratamientos tenían una altura efectiva de 50 cm y 15 cm de diámetro. El ensayo se condujo a cielo abierto en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la universidad Central de Venezuela.

Las columnas se prepararon con una mezcla de suelo y arena cuyas proporciones en volumen suelto fue de 2 a 1. Después del trasplante las columnas se regaron con igual volumen dos veces por semana durante ocho semanas y se realizaron dos cortes de uniformidad a las plantas a las cuatro y ocho semanas. A la semana del segundo corte se iniciaron los tratamientos, regando así cada dos o tres días, aplicando en cada momento agua con fertilizante hasta que la columna comenzaba a drenar. El agua de drenaje se colectaba medía.

Durante el ensayo se realizaron mediciones como temperatura y potencial mátrico en el suelo; altura y ancho del follaje en las plantas; color de las hojas, y contenido relativo de clorofila. Al final del ensayo se cosecharon las plantas y se desmontaron las columnas. En la planta se determinó biomasa aérea, diámetro del tallo, y longitud y peso fresco de raíces. Finalmente, con los datos de agua aplicada y agua drenada se calculó el agua neta aportada a cada columna y con este valor y el peso seco de hojas se terminó la eficiencia de uso del agua.

Los resultados de este ensayo indican que ninguna de las variables evaluadas respondió a los tratamientos pero si reflejaron tendencias que permiten sugerir que los tratamientos extremos (nivel freático elevado y ausencia de nivel freático) inciden en el desarrollo y profundidad de exploración de las raíces y en el rendimiento en hojas secas por planta.

**Palabras clave:** nivel freático, franja capilar, humedad del suelo.

# Índice General

	Página
Carátula	i
Página de título	ii
Aprobación del trabajo por el Jurado	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Resumen	vi
Contenido	vii
Índice de Cuadros	ix
Índice de Figuras	x
Introducción	1
Objetivos	2
<i>General</i>	2
<i>Específicos</i>	2
Revisión de Literatura	3
<i>Aspectos botánicos de la planta</i>	3
<i>Generalidades del cultivo</i>	3
<i>Nivel freático y producción agrícola</i>	4
<i>Tolerancia de la stevia al exceso de agua</i>	5
Materiales y Métodos	6
<i>Tratamientos de niveles freáticos y diseño experimental</i>	6
<i>Propagación de las plantas</i>	7
<i>Preparación de las columnas de suelo y trasplante</i>	7
<i>Humedecimiento y asentamiento de las columnas de suelo</i>	8
<i>Riego y manejo de los niveles freáticos</i>	9
<i>Fertilización</i>	9
<i>Humedad de la franja capilar</i>	9

## **Introducción**

La presencia de un manto freático en el perfil de suelo favorece en ciertos casos el desarrollo de las plantas pero en otros puede resultar un problema para el crecimiento de las mismas. Los beneficios o perjuicios que cause dependerán de su localización y dinámica así como de la profundidad radical de la especie vegetal considerada y su sensibilidad a los excesos de agua. Las freatofitas se mantienen siempre verdes en las zonas semiáridas gracias a la existencia de un manto freático que puede ser alcanzado por las raíces profundas de estas plantas. En los llanos venezolanos el ganado resuelve en parte sus necesidades alimenticias al final del período seco, gracias a la presencia de pastos naturales que toleran condiciones de inundación permanente en las zonas de bajíos. Cultivos como el arroz y algunos pastos de corte y pastoreo pueden crecer satisfactoriamente en suelos inundados. La planta de stevia se ha reportado en algunos casos como no tolerante a los excesos de agua, pero en su sitio de origen, ella crece a orillas de corrientes de agua o en el borde de pantanos. Estudios recientes comprueban que la planta se desarrolla mejor en suelos con alto contenido de humedad. Esta es la razón por la que se decidió estudiar el comportamiento de la planta en cinco condiciones de humedad del suelo, manejadas con niveles freáticos controlados.

## Objetivos

### *General:*

Estudiar el comportamiento de la planta de stevia en cinco condiciones de humedad del suelo manejadas con niveles freáticos controlados.

### *Específicos:*

1. Analizar la influencia de la profundidad del nivel freático en el color de las hojas.
2. Analizar la influencia de la profundidad del nivel freático en el contenido relativo de clorofila en las hojas.
3. Analizar la influencia de la profundidad del nivel freático en la altura y proyección del follaje de la planta.
4. Analizar la influencia de la profundidad del nivel freático en la producción de biomasa aérea.
5. Analizar la influencia de la profundidad del nivel freático en el diámetro del tallo.
6. Determinar la influencia de la profundidad del nivel freático en el desarrollo de las raíces.
7. Analizar la influencia de la profundidad del nivel freático en el consumo de agua por la planta.

## Revisión de Literatura

### *Aspectos botánicos de la planta*

La stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] es una especie perenne de la familia *Asteraceae* que crece como arbusto silvestre en la selva paraguaya-brasilera, a orillas de riachuelos o en el borde de pantanos. El tallo es algo pubescente y leñoso en la parte inferior. La raíz es pivotante filiforme y no profundiza, distribuyéndose en los primeros 20 cm de suelo. Las hojas son sésiles, elongadas-lanceoladas o espatuladas, con la cara adaxial algo glandular y pubescente, el borde dentado desde la parte media hasta el extremo; presentan disposición opuesta en sus estados juveniles y disposición alterna cuando las plantas llegan a su madurez fisiológica, previa a la floración. Las flores son hermafroditas, pequeñas y blanquecinas, dispuestas en capítulos pequeños terminales o axilares, agrupados en panículas corimbosas. La planta tiene dicogamia tipo protandria por lo que la polinización es entomófila (Brücher, 1986; Madan *et al.*, 2010).

### *Generalidades del cultivo*

Los indios guaraníes han utilizado la stevia desde tiempos precolombinos, endulzando sus comidas y bebidas; la llamaron “ka’a-hée”, que significa “hierba dulce”. Es una de las 154 especies del género *Stevia* y la única con propiedades endulzantes gracias a los glucósidos denominados esteviósidos y rebaudiósidos. Puede florecer entre los 54 y 110 días después del trasplante, dependiendo de la sensibilidad del cultivar a la duración del día. La cosecha debe realizarse justo antes de la floración, cuando el contenido de glucósidos en las hojas es máximo. Se cortan los tallos dejando al menos dos entrenudos con hojas en cada uno para favorecer la recuperación de la planta y el adecuado rendimiento en el siguiente corte. La propagación suele ser por esquejes dado el bajo porcentaje de germinación de las semillas (Brücher, 1986; Madan *et al.*, 2010; Herrera *et al.*, 2012).

Entre los principales países productores de stevia están China, Japón, Corea, Taiwán, Tailandia, Indonesia, Laos y Filipinas. Ellos aportan el 95% de la producción mundial. En América es cultivada mayormente en Paraguay, Brasil, Argentina, Colombia y Perú (Herrera *et al.*, 2012).

Los reportes de peso de hojas secas por planta están entre casi 9 y más de 50 gramos, variando según el manejo, la densidad de plantas, la variedad y las condiciones agroclimáticas (Lavini *et al.*, 2008; Herrera *et al.*, 2012; Fronza y Folegatti, 2013; García, 2015; Starzec, 2015).

### ***Nivel freático y producción agrícola***

La superficie de suelos afectados por mal drenaje en Venezuela alcanza los 18,2 millones de hectáreas. El problema ocurre en zonas planas y bajas sujetas a inundación por desbordamiento de los ríos o en suelos con nivel freático alto (Comerma, 2009). Los efectos del nivel freático sobre la humedad del suelo y la evaporación directa desde la superficie de él han sido poco considerados en la agricultura mundial (Chen y Hu, 2004).

Paradójicamente, la existencia de un nivel freático en el perfil de suelo puede ser un factor beneficioso para la producción agrícola o un problema. La franja capilar que se forma sobre el nivel freático puede contribuir al desarrollo del cultivo cuando éste puede extraer agua de ella (Borin, 1990; Ayars *et al.*, 1999 y Madramootoo *et al.*, 2001), lo cual es factible cuando una parte del sistema radical se encuentra dentro de dicha franja. Pero si esta condición es permanente, puede restringir la respiración de las raíces, ya que el espesor de suelo localizado dentro de la franja capilar se encuentra entre capacidad de campo y casi saturación (Wind, 1955; Oosterbaan, 1994; Zambrano *et al.*, 2003). Si el agua freática es salina, el perjuicio puede ser aun peor (Ben-Hur *et al.*, 2001).

Un nivel freático elevado, además de causar déficit de oxígeno en la atmósfera del suelo, puede afectar la toma de nutrimentos. Eden *et al.* (1951) observaron en un estudio con pasto que los síntomas de deficiencia de nitrógeno en la planta aumentaron cuando el nivel freático se aproximó a la superficie del suelo. Harris *et al.* (1962) reportaron igual experiencia en un suelo orgánico para otros cultivos. Además mostraron que disminuyó la

tasa de mineralización al reducirse la actividad microbiológica con el déficit de oxígeno y la menor temperatura del suelo.

### ***Tolerancia de la stevia al exceso de agua***

La stevia se ha reportado como una planta sensible a los déficit de agua y adaptada a condiciones de alta humedad del suelo (González *et al.*, 2002; Lavini *et al.*, 2008; García, 2015; Starzec, 2015) pero poco se conoce sobre su comportamiento en condiciones de niveles de humedad altos por periodos prolongados. En este sentido García (2015), en un estudio de dinámica de humedad en un suelo cultivado con stevia y sometido a cinco tratamientos de riego (120, 100, 80, 60 y 40% de la evapotranspiración del cultivo) bajo condiciones de campo, reportó que el tratamiento de mayor dosis de riego fue estadísticamente superior a los tres de menor dosis, y en ese tratamiento, la humedad del suelo antes del siguiente riego descendió gradualmente durante el ciclo del cultivo hasta alcanzar los -100 kPa de potencial mátrico dos semanas antes de la cosecha; de allí en adelante se aproximó a los -200 kPa por el aumento de la tasa evapotranspiratoria. Resultados similares obtuvo Starzec (2015) en un ensayo bajo condiciones protegidas.

Por su parte Fronza y Folegatti (2003), en un estudio de coeficientes de cultivo en stevia obtenidos en microlisímetros, reportaron rendimientos en hojas secas de 4369 kg ha<sup>-1</sup> en un solo corte cuando el nivel freático se mantuvo de manera permanente a 35 cm de profundidad en un suelo franco. Este rendimiento tan elevado en un solo corte obedeció a la alta suplencia de agua capilar así como a los días largos, ya que esta planta florece cuando los días se hacen más cortos.

Niño *et al.* (2013) evaluaron en campo el comportamiento de stevia variedad Morita II en cuatro tratamientos de tensión de agua en el suelo (0-5, 10-20, 30-40 y 50-60 kPa) controlados con tensiómetros en un diseño de bloque al azar con tres repeticiones. La producción de materia seca fue significativamente mayor en los dos tratamientos de menor tensión (0-5 y 10-20 kPa).

## **Materiales y Métodos**

El experimento se llevó a cabo dentro del marco del proyecto de investigación titulado: “Efecto del manejo del riego sobre el desarrollo fenológico, rendimiento y calidad edulcorante de la planta de stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] cultivada en campo abierto y en condiciones protegidas” financiado por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) del Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Innovación. Se condujo en columnas de suelo colocadas a cielo abierto, manejadas con distintos niveles freáticos.

### ***Tratamientos de niveles freáticos y diseño experimental***

Para estudiar la respuesta de la planta de stevia a condiciones de humedad de casi saturación a cerca de -100 kPa de potencial mátrico en el suelo superficial, se establecieron los siguientes tratamientos de niveles freáticos:

NF10:	Nivel freático a 10 cm de profundidad
NF20:	Nivel freático a 20 cm de profundidad
NF30:	Nivel freático a 30 cm de profundidad
NF40:	Nivel freático a 40 cm de profundidad
DL50:	Drenaje libre a 50 cm de profundidad (sin nivel freático)

Las columnas de suelo median 50 cm de alto y 15 cm de diámetro. Cada tratamiento contó con 6 repeticiones en un arreglo completamente aleatorizado. Las columnas fueron colocadas al lado de un ensayo de dosis de riego, en la inmediaciones de los invernaderos del Instituto y Departamento de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, coordenadas 10° 17' N y 67° 37' O, a 455 msnm.

### ***Propagación de las plantas***

En un umbráculo ubicado al lado del vivero del Instituto de Agronomía, a 300 m del área experimental, las plantas fueron propagadas en bandejas de 25 celdas con sustrato de turba y enraizante a base de auxinas. Los esquejes, de 12 cm de largo y 2 mm de diámetro, se tomaron de plantas cultivadas con fines de propagación en el Instituto de Agronomía de la UCV. Estos esquejes se mantuvieron en las bandejas por un mes y luego se pasaron a vasos plásticos de 250 cc de capacidad. En estos vasos, que contenían una mezcla de suelo y arena, permanecieron por dos semanas. Las plantas recibieron dos riegos diarios durante su manejo en las bandejas y los vasos.

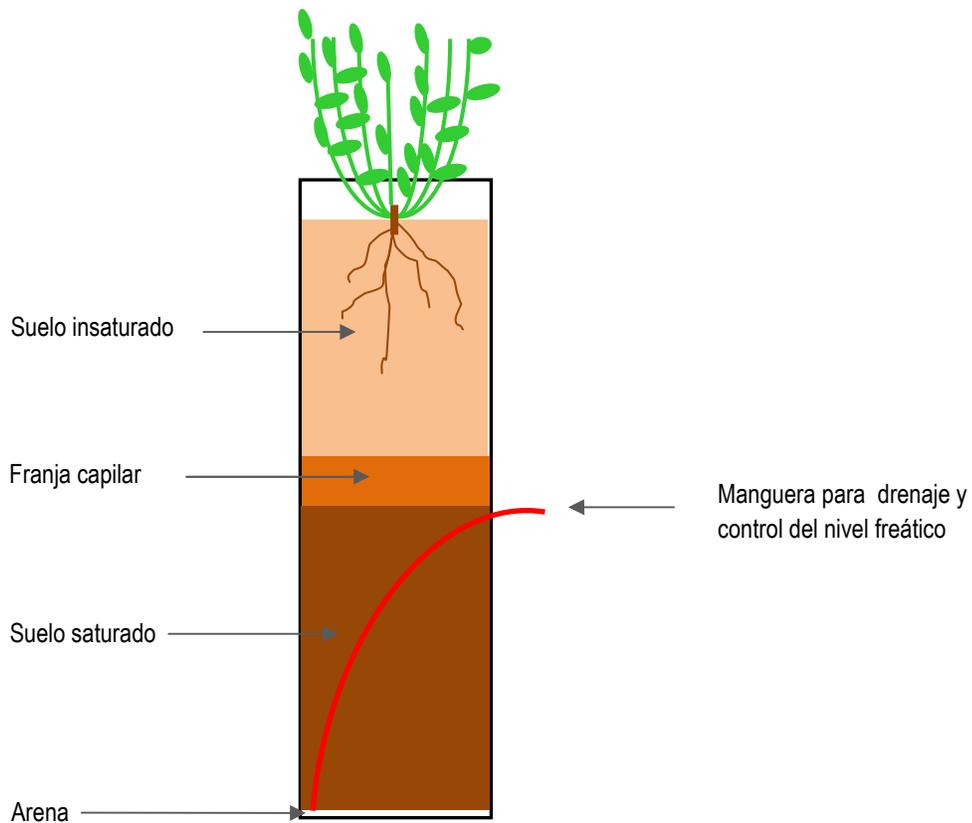
### ***Preparación de las columnas de suelo y trasplante***

Las columnas de suelo se prepararon en cilindros de PVC de 15 cm de diámetro y 55 cm de alto. El fondo de estos cilindros se cubrió con un disco plástico flexible fijado con alambre y sellado con cemento plástico.

En la pared del cilindro se realizó una perforación de 1/8", a la altura prevista para el control del nivel freático. Por dicho orificio se insertó una manguera plástica de igual diámetro que alcanzó el fondo del cilindro, tal como se ilustra en la Figura 1.

El material utilizado en la preparación de las columnas fue una mezcla de suelo y arena en una relación de volumen 2 a 1. Se determinó textura en ambos materiales por el método de sedimentación. El suelo contenía 6% de arcilla, 52% de limo y 42% de arena, resultando (FL) y el material arenoso resultó 100% arena, predominantemente fina y media.

En el fondo de los cilindros se colocó una capa de arena gruesa de 2 cm de espesor y sobre ésta la mezcla de suelo y arena por capas de 10 cm hasta alcanzar 40 cm de espesor, colocando el resto al momento del trasplante.



**Figura 1.** Esquema de la columna de suelo para manejo del nivel freático.

En los cilindros correspondientes al tratamiento DL50, la perforación lateral se hizo a nivel de la capa de arena gruesa, permitiendo el drenaje libre.

### ***Humedecimiento y asentamiento de las columnas de suelo***

Las columnas alcanzaron un espesor neto de 52 cm, quedando 1 cm de bordura en los cilindros que fue ocupado por el agua de riego. Con los riegos, la mezcla de suelo y arena se fue asentando.

Durante el proceso de humedecimiento y asentamiento, el aire atrapado en la mezcla de suelo y arena fue desalojado por la manguera de control del nivel freático. Se realizaron dos riegos semanales durante 28 días, iniciando cada uno con medio litro de agua por columna y luego algo adicional hasta la aparición de drenaje por la manguera de control del nivel freático (y salida libre en el tratamiento DL50).

### ***Riego y manejo de los niveles freáticos***

Transcurridos 28 días del trasplante, se realizó una poda de uniformidad y se aplicaron durante las siguientes cuatro semanas dos riegos semanales de medio litro por columna. Se practicó una segunda poda de uniformidad y una semana después de ésta se iniciaron los tratamientos de niveles freáticos programados. En otras palabras, los tratamientos se iniciaron cuando las plantas tenían 9 semanas de trasplantadas.

Una vez iniciados los tratamientos, las columnas fueron regadas cada 2 y 3 días (3 riegos por semana). La cantidad de agua aplicada en cada columna fue aquel que garantizó drenaje. En ese momento se interrumpía el riego en esa columna y se contabilizaba el agua aplicada. Tres horas después del riego, el agua de drenaje era colectada y medida.

### ***Fertilización***

Con el agua de riego se aplicaron fertilizantes, utilizando las siguientes dosis por riego y planta: 34,89 mg de N, 9,41 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 39,10 mg de K<sub>2</sub>O. Las dosis se establecieron con base a experiencias previas con el cultivo. Los fertilizantes utilizados fueron urea (46-00-00), fosfato mono-amónico (12-61-00) y Nutrimón (13-03-46). Estas dosis fueron aplicadas desde el trasplante hasta la cosecha.

### ***Humedad de la franja capilar***

Con la misma mezcla de suelo y arena utilizada para llenar los cilindros se prepararon dos minicolumnas de 22,5 cm de altura, utilizando para ello potes plásticos transparentes de 9 cm de diámetro y 25 cm de altura. Estas minicolumnas fueron humedecidas por capilaridad y luego regadas varias veces hasta que la mezcla se asentó. Esta operación se llevó a cabo durante dos semanas. Luego las minicolumnas se dejaron secar al aire por tres semanas bajo techo. Una vez secas, se sumergieron parcialmente dentro de recipientes planos llenos con agua para humedecerlas por capilaridad, quedando 18 cm de ellas por encima del nivel del agua en el recipiente. Al día siguiente se tomaron muestras de suelo por estratos de 4,5 cm de espesor desde el tope hasta por debajo del nivel del agua en el recipiente. En estas muestras de suelo se determinó humedad.

## ***Mediciones en las columnas de suelo***

### **Medición de la temperatura del suelo**

A partir de la sexta semana de iniciados los tratamientos de niveles freáticos se registró la temperatura en cada columna de suelo. Estos registros se realizaron en dos oportunidades, al día siguiente de un riego. Los termómetros de suelo se instalaron a 10 cm de profundidad, realizando la lectura después de transcurridos dos minutos de su colocación en la columna. Las mediciones se realizaron con el propósito de comprobar si las variaciones de humedad entre tratamientos causaban diferencias importantes de temperatura.

### **Monitoreo del potencial mátrico**

Se instalaron tensiómetros para registrar el potencial mátrico antes y después de cada riego. La instalación se llevó cabo sólo en tres columnas, una de NF10, una de NF30 y una NF50. La lectura antes del riego sirvió para apreciar el nivel de agotamiento del agua en términos de potencial mátrico y la lectura posterior para chequear la funcionalidad de estos instrumentos. El registro del potencial mátrico se llevó a cabo a 15 cm de profundidad.

### **Relación humedad potencial mátrico**

A la mezcla de suelo y arena se le determinó humedad a los potenciales mátricos de -10, -33 y -100 kPa con el propósito de relacionar las lecturas de los tensiómetros con la humedad del suelo.

## ***Mediciones en las plantas***

### **Altura y proyección de la parte aérea de la planta**

A los 35 y 55 días de iniciados los tratamientos de niveles freáticos se midió la altura de las plantas desde el borde del cilindro hasta el extremo superior del tallo más alto. También se realizaron mediciones del ancho de la parte aérea; en este caso se hicieron dos mediciones: ancho mayor (2a) y ancho menor (2b). Con ambos valores (2a y 2b) se calculó el área de proyección de la parte aérea, utilizando la ecuación de la elipse ( $A = a*b*\pi$ ).

### **Color de las hojas**

A los 55 días de iniciados los tratamientos de niveles freáticos fue desprendida una hoja de cada planta, de los nudos 4, 5 o 6 medidos desde ápice, para comparar su color con los de la tabla Munsell para tejidos de plantas. Todas las hojas muestreadas resultaron dentro del matiz 5GY. Los resultados se codificaron considerando el value (brillo o proporción de luz reflejada) y dentro de un dado value el chroma (pureza relativa del color o intensidad cromática), ambos parámetros en orden creciente (de 1 a 5); es decir, del color con menor brillo e intensidad al color más brillante e intenso.

### **Contenido relativo de clorofila**

A los 35 y 55 días de iniciados los tratamientos de niveles freáticos se evaluó el contenido relativo de clorofila con un equipo marca Konica Minolta, modelo SPAD502Plus ([http://www.aquatecnica.com/document/1/p94\\_spad-502plus\\_es.pdf](http://www.aquatecnica.com/document/1/p94_spad-502plus_es.pdf)).

Los valores que arroja este instrumento dependen de la cantidad de luz transmitida por la hoja de la planta en las dos longitudes de onda donde se producen los picos de absorbancia de la clorofila. Estos picos se producen en las zonas azul (400-500 nm) y roja (600-700 nm) del espectro. El instrumento calcula, con estos dos picos de absorbancia, un valor numérico SPAD, que es proporcional a la cantidad de clorofila presente en la hoja. Las mediciones se realizaron en 8 hojas de cada planta, de los nudos 4, 5 o 6 medidos desde ápice.

### **Biomasa aérea**

Las plantas se cosecharon a las 8 semanas de iniciados los tratamientos de niveles freáticos porque en ese momento se observaron los primeros botones florales. Los tallos con sus hojas fueron cortados aproximadamente a 5 cm por encima del nivel del suelo y colocados en bolsas plásticas para obtener el peso fresco de tallos y hojas. Luego fueron pasados a bolsas de papel y sometidos a secamiento en estufa por 72 horas, a una temperatura de 45 °C. Una vez secos, se desprendieron las hojas de los tallos y se pesaron por separado.

### **Diámetro del tallo**

En la base del tallo principal de cada planta, a dos centímetros por encima del nivel del suelo, se tomaron dos medidas del diámetro, uno normal al otro. Con ambos valores se calculó el diámetro promedio.

### **Longitud y peso fresco de raíces**

Después de la cosecha se extrajo la columna de suelo de cada cilindro, haciendo presión por el extremo inferior de la misma. La masa de raíces fue separada del suelo mediante agitación suave en recipientes llenos con agua y luego lavadas para eliminar el resto de suelo. Las raíces lavadas y secadas al aire por una hora fueron colocadas sobre una tela para obtener una imagen general de todas, organizadas por tratamientos. Luego se determinaron longitud vertical y peso fresco en cada una.

### ***Agua neta aportada (consumo de agua)***

El balance de las entradas de agua (riego más lluvia) y salidas (drenaje) en cada columna de suelo permitió calcular el agua neta aportada o consumo. El volumen de agua aportado por cada lluvia se obtuvo multiplicando la lámina llovida por el área circular de la columna de suelo. Cabe destacar que el cálculo del agua neta aportada correspondió al lapso comprendido entre el inicio de los tratamientos de niveles freáticos y la cosecha.

### ***Eficiencia de uso del agua***

Como una medida de la eficiencia de uso del agua se dividió la masa de hojas secas cosechadas entre el volumen de agua neta aportada en cada unidad experimental (columna de suelo). Este índice, práctico y sencillo, fue tomado de Stewart *et al.* (1974). Estos autores lo utilizaron en programas de optimización del riego.

### *Análisis estadísticos de los datos*

Las variables de planta fueron sometidas a análisis de varianza. No se practicaron pruebas de medias porque los análisis de varianza no arrojaron significación estadística ( $P < 0,05$ ). Para los datos de color se utilizó la estadística no paramétrica, particularmente la prueba de Kruskal-Wallis.

Adicionalmente se realizó un análisis de correlación simple entre las variables de planta, como una medida de chequeo de datos y para apreciar relación entre las variables.

Los valores de volúmenes de agua aportada y eficiencia de uso del agua también fueron sometidos a análisis de varianza. Luego se realizó un análisis de regresión lineal simple entre los componentes de la eficiencia de uso del agua para apreciar la relación entre gramos de hojas secas cosechadas y volumen de agua aportada.

## Resultados y Discusión

### *Franja capilar*

En el Cuadro 1 se muestra la humedad en la franja capilar de las minicolumnas de suelo. En ambas columnas el ascenso capilar del agua alcanzó la superficie de las minicolumnas; lo que indica que la franja capilar supera los 18 cm de espesor. Esto permite presumir que todos los tratamientos NF pudieron aportar agua freática ya que las raíces de esta planta suelen alcanzar los 20 cm.

**Cuadro 1.** Espesor de la franja capilar.

Minicolumna	Condición	Profundidad (cm)	Humedad gravimétrica (%)
1	Franja capilar	0,0-4,5	29,36
	Franja capilar	4,5-9,0	29,79
	Franja capilar	9,0-13,5	31,25
	Franja capilar	13,5-18,0	32,28
	Suelo sumergido	18,0-22,5	34,35
2	Franja capilar	0,0-4,5	28,07
	Franja capilar	4,5-9,0	29,33
	Franja capilar	9,0-13,5	30,46
	Franja capilar	13,5-18,0	31,98
	Suelo sumergido	18,0-22,5	34,52

### ***Temperatura y potencial mátrico en las columnas de suelo***

En el Cuadro 2 se muestran los valores promedios de temperatura y potencial mátrico antes de algunos riegos. Los valores de temperatura resultaron similares, lo que permite deducir que las diferencias de humedad entre tratamientos no influyeron en ella.

En cuanto al potencial mátrico, el promedio registrado en el tratamiento de NF10 indica que la humedad del suelo a 15 cm alcanzó un valor inferior al esperado en un suelo saturado (0 kPa de potencial mátrico) debido al consumo de agua de la franja capilar y su consecuente efecto sobre el descenso del nivel freático por debajo del logrado con el riego. El promedio alcanzado en el tratamiento NF30 resultó ligeramente inferior a NF10, indicando que en este tratamiento persiste un aporte de la franja capilar. El tratamiento DL50 mostró el menor valor debido a que la humedad después del riego fue menor a la humedad alcanzada donde había efecto de la franja capilar.

**Cuadro 2.** Temperatura y potencial mátrico en las columnas de suelo con plantas de stevia.

Tratamientos	Temperatura promedio 24 h después del riego (°C), a 10 cm de profundidad	Potencial mátrico promedio antes del riego (kPa), a 15 cm de profundidad
NF10	24,0	-10
NF20	23,4	-
NF30	23,7	-20
NF40	23,5	-
DL50	23,3	-70

Los valores de humedad gravimétrica correspondientes a los potenciales de -10, -33 y -100 kPa fueron 20,11; 17,45 y 8,52% respectivamente; lo que permite indicar que la humedad descendió antes del riego a 20,11% en el tratamiento NF10, a 17,20% en NF30 y a 11,23% en DL50.

## ***Variables de planta***

### **Altura y proyección de la parte aérea de la planta**

El Cuadro 3 contiene la altura y proyección del follaje de las plantas. Los niveles de significación (P) indican que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos y los coeficientes de variación resultaron particularmente altos para la variable proyección de la copa. En ambos momentos de medición, el tratamiento de NF30 mostró el valor mayor para estas dos variables y los tratamientos NF10 y DL50 mostraron los valores menores en una o ambas variables. Al parecer, el exceso de humedad en el tratamiento NF10 y la menor disponibilidad de agua fácilmente aprovechable en DL50 podrían ser las razones de tales respuestas.

**Cuadro 3.** Altura y proyección de la parte aérea en plantas de stevia.

Tratamientos	Días después de iniciados los tratamiento			
	35		55	
	Altura (cm)	Proyección (m <sup>2</sup> )	Altura (cm)	Proyección (m <sup>2</sup> )
NF10	28,67	0,14	46,67	0,15
NF20	30,33	0,17	50,67	0,19
NF30	34,00	0,18	53,20	0,18
NF40	31,40	0,17	48,80	0,16
DL50	32,25	0,13	45,75	0,14
Nivel de significación (P)	0,0853	0,1597	0,1822	0,5118
CV (%)	8,95	23,14	10,16	27,65

### **Color de las hojas y contenido relativo de clorofila y nitratos**

En el Cuadro 4 se muestran los colores y los valores de SPAD obtenidos. Igualmente en estas variables no hubo diferencia significativa entre tratamientos y el coeficiente de variación resultó muy alto para la variable color. En estas variables no se observó una tendencia definida, posiblemente por la alta variabilidad entre plantas ya reportada en otros trabajos (Villafañe, 2015; Medina, 2015; García, 2015; Starzec, 2015).

**Cuadro 4.** Color de las hojas y contenido relativo de clorofila y nitratos en plantas de stevia.

Tratamientos	Días después de iniciados los tratamiento			
	35		55	
	Color	SPAD	Color	SPAD
NF10	-	41,40	5GY 5/4	43,49
NF20	-	39,61	5GY 5/4	43,04
NF30	-	42,56	5GY 5/4-5/6	44,01
NF40	-	41,89	5GY 4/8-5/6	42,56
DL50	-	42,39	5GY 4/6-5/4	47,50
Nivel de significación (P)		0,1965	0,6992	0,1141
CV (%)		4,29	48,37	6,74

#### **Peso fresco y seco de la parte aérea cosechada**

En el Cuadro 5 se resumen los valores promedios de las variables de cosecha. Igualmente no hubo diferencias significativas entre tratamientos y los coeficientes de variación resultaron elevados. El tratamiento de NF30 mostró los mayores promedios para peso fresco del follaje y pesos secos de hojas y tallos, y el tratamiento NF10 exhibió los valores menores para las tres variables, seguido por el tratamiento DL50. Posiblemente, la presencia de un nivel freático muy superficial (NF10) es razón para no regar o reducir la frecuencia de los mismos y la ausencia de un nivel freático (DL50) exigiría riegos más frecuentes.

**Cuadro 5.** Peso fresco y seco de la parte aérea cosechada en plantas de stevia.

Tratamientos	Peso fresco hojas y tallos (g)	Peso seco hojas (g)	Peso seco tallos (g)
NF10	163,67	32,51	17,01
NF20	231,00	43,38	25,45
NF30	251,60	50,13	30,45
NF40	241,80	47,22	24,86
DL50	210,50	37,49	24,13
Nivel de significación (P)	0,3419	0,3802	0,3944
CV (%)	34,23	37,43	43,35

### **Diámetro del tallo y longitud y masa de raíces**

En general el diámetro de la base del tallo resultó alto pero los tratamientos no se diferenciaron. Por su parte la longitud vertical medida en las raíces correspondió a la profundidad hasta donde se mantuvieron unidas a la planta durante el proceso extracción del suelo del recipiente, pero se pudo observar que las raíces alcanzaron mayor profundidad de exploración en los tratamientos NF40 y DL50. En cuanto a la masa de raíces, tampoco hubo diferencias de significación, pero en general las raíces del tratamiento NF40 presentaron el mayor peso, posiblemente por mejores condiciones de aireación y humedad.

**Cuadro 6.** Diámetro del tallo y longitud y peso de raíces en plantas de stevia.

Tratamientos	Diámetro base del tallo (mm)	Raíces	
		Longitud vertical (cm)	Peso fresco (g)
NF10	7,98	13,00	15,40
NF20	10,35	10,33	16,41
NF30	9,58	12,80	17,79
NF40	9,26	12,40	34,69
DL50	8,35	10,00	11,73
Nivel de significación (P)	0,2824	0,0910	0,0621
CV (%)	16,91	16,77	59,02

### ***Discusión general de las variables de planta***

En el Cuadro 7 se muestran los valores relativos por tratamiento de cada variable de planta. El tratamiento NF30 presentó el mayor valor relativo (100%) en 7 de las 12 variables de planta.

**Cuadro 7.** Valores relativos de cada variable respecto al tratamiento de mayor valor.

Variables de planta	Tratamientos				
	NF10	NF20	NF30	NF40	DL50
Altura a los 35 días (h1)	84,32	89,21	100,00	92,35	94,85
Proyección de la parte aérea a los 35 días (P2)	77,78	94,44	100,00	94,44	72,22
Altura a los 55 días (h2)	87,73	95,24	100,00	91,73	86,00
Proyección de la parte aérea a los 55 días (P2)	78,95	100,00	94,74	84,21	73,68
SPAD a los 35 días (S1)	97,27	93,07	100,00	98,43	99,60
SPAD a los 55 días (S2)	91,17	90,23	92,26	89,22	100,00
Diámetro del tallo a la cosecha (d)	77,10	100,00	92,56	89,47	80,68
Longitud efectiva de raíces (Z)	100,00	79,46	98,46	95,38	76,92
Peso de raíces (zg)	44,39	47,30	51,28	100,00	33,81
Peso fresco de la parte aérea cosechada (Pf)	65,05	91,81	100,00	96,10	83,66
Peso seco de tallos (pst)	55,86	83,58	100,00	81,64	79,24
Peso seco de hojas (psh)	64,85	86,54	100,00	94,20	74,79
Promedio de todas las variables	77,04	87,57	94,11	92,26	79,62

En el tratamiento NF10, siete de las 12 variables se afectaron de manera importante (valor menor al 80%). Ellas fueron peso fresco de la parte aérea (PF), pesos secos de tallos (pst) peso seco de hojas (psh) peso fresco de raíces (zg), diámetro del tallo (d) y proyección de la parte aérea (P1 y P2). Esto indica que el exceso de humedad de manera sostenida en el suelo superficial puede afectar el normal crecimiento y desarrollo de la planta y en consecuencia su productividad.

En el tratamiento DL50, la mitad de las variables mostraron valores inferiores al 80%, lo que indica que este tratamiento presentó ligeras restricciones de humedad para el normal crecimiento, desarrollo y productividad de la planta.

Finalmente, si se promedian los valores porcentuales por tratamiento de todas las variables consideradas, se puede apreciar que los tratamientos con los valores mayores fueron NF30 y NF40 y los menores fueron precisamente NF10 seguido de DL50; es decir tanto el exceso de humedad como el déficit ligero pudieron influir en el crecimiento, desarrollo y productividad de la planta.

En el Cuadro 8 se muestran las correlaciones entre variables. Las mayores correlaciones ocurrieron entre las variables de cosecha (peso fresco y pesos secos) y entre el peso seco de hojas y la proyección de la copa medida a mediados del ciclo del cultivo.

**Cuadro 8.** Correlación simple entre variables de plantas.

	h1	h2	P1	P2	S1	S2	d	Z	zg	Pf	pst
h2	0,46*										
P1	0,18	0,19									
P2	0,02	0,22	0,59**								
S1	0,08	-0,12	0,25	0,42							
S2	-0,04	-0,32	-0,04	0,03	0,43						
d	0,23	0,32	0,28	0,10	-0,33	-0,46*					
Z	0,15	0,13	0,30	-0,07	0,07	-0,25	0,24				
zg	0,24	0,23	0,63**	0,29	0,19	-0,11	0,44	0,14			
Pf	0,37	0,07	0,79**	0,67**	0,32	0,09	0,34	0,04	0,51*		
pst	0,47*	0,06	0,66**	0,63**	0,29	0,14	0,38	0,06	0,48*	0,94**	
psh	0,27	0,03	0,82**	0,66**	0,32	-0,07	0,41	0,08	0,59**	0,94**	0,88**

Altura a los 35 días de iniciados los tratamientos (h1)

Proyección de la parte aérea a los 35 días de iniciados los tratamientos (P1)

Altura a los 55 días de iniciados los tratamientos (h2)

Proyección de la parte aérea a los 60 días de iniciados los tratamientos (P2)

SPAD a los 35 días de iniciados los tratamientos (S1)

SPAD a los 55 días de iniciados los tratamientos (S2)

Diámetro del tallo a la cosecha (d)

Longitud efectiva de raíces (Z)

Peso de raíces (zg)

Peso fresco de la parte aérea cosechada (Pf)

Peso seco de tallos (pst)

Peso seco de hojas (psh)

Significación de la correlación: < 0,05 (\*), < 0,01 (\*\*).

### ***Agua neta aportada en cada tratamiento***

El Cuadro 9 presenta los valores promedios de litros de agua neta aportados a cada tratamiento. Estos valores de alguna manera se corresponden con el consumo ocurrido desde inicio de los tratamientos hasta la cosecha. Aunque los resultados indican que no hay diferencias de significación estadística, los tratamientos NF10 y DL50 muestran los valores menores; el primero, posiblemente por las restricciones provocadas por la condición de casi

saturación en los primeros centímetros de la columna de suelo, y el segundo por la menor disponibilidad debido al mayor espesor libre de casi saturación inmediatamente después del riego. Los tratamientos intermedios (NF20, NF30 y NF40) lograron mayor consumo porque contaron con aporte de la mesa de agua y mejores condiciones de aireación en mayor espesor de suelo.

**Cuadro 9.** Agua neta aportada por tratamiento (riego más lluvia menos drenaje).

Tratamientos	Litros por planta
NF10	24,79
NF20	34,43
NF30	34,09
NF40	34,09
DL50	26,64
Nivel de significación (P)	0,1561

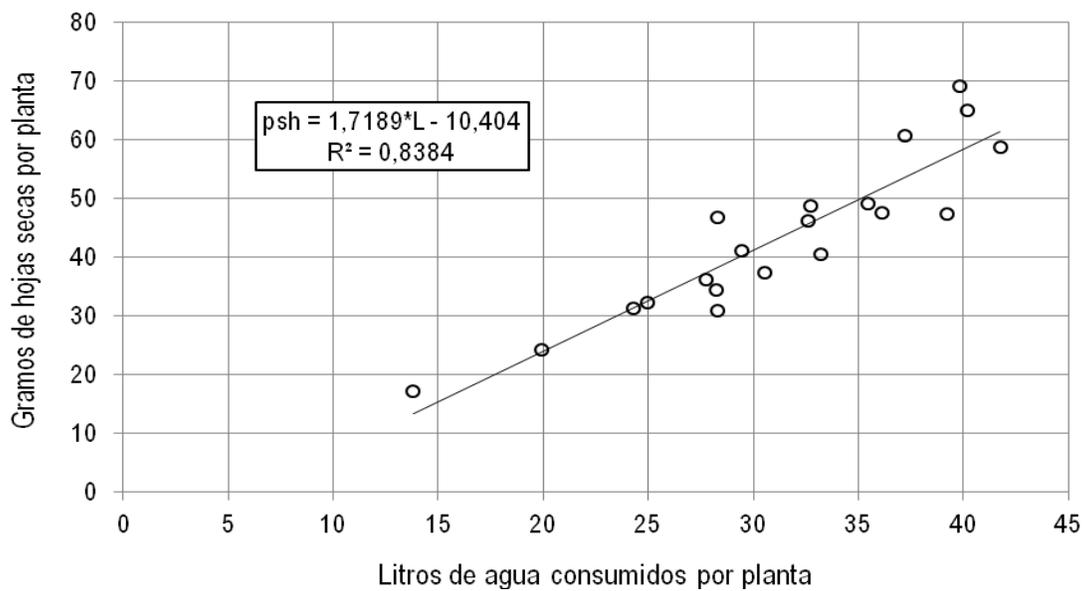
### ***Eficiencia de uso del agua***

El Cuadro 10 muestra la eficiencia de uso de agua, expresada en gramos de hojas secas por litro de agua aportada. Esta variable tampoco reflejó diferencias estadísticas entre tratamientos, pero el tratamiento NF30 mostró el valor mayor.

**Cuadro 10.** Eficiencia de uso del agua en plantas de stevia cultivadas en lisímetros.

Tratamientos	Peso de hojas secas por litro de agua neta aportada (g)
NF10	1,30
NF20	1,24
NF30	1,45
NF40	1,37
DL50	1,40
Nivel de significación (P)	0,5339

El análisis de regresión lineal entre los litros de agua consumidos y el peso seco en hojas obtenidos resultó altamente significativo ( $P = 0,0000$ ). En la Figura 2 se muestra el gráfico de dispersión y la línea de tendencia con la ecuación de predicción. A mayor consumo de agua, mayor producción de hojas secas.



**Figura 2.** Relación entre los gramos de hojas secas cosechadas y los litros de agua consumidos por la planta de stevia.

## **Conclusiones**

La stevia no respondió a los tratamientos de humedad establecidos en las columnas de suelo, posiblemente por su adaptación tanto a condiciones de alta humedad como a ligeros déficits hídricos; sin embargo, algunas de las variables evaluadas mostraron tendencia a la disminución cuando la humedad fue excesiva o cuando se produjeron ligeros niveles de déficit hídrico.

La proyección del follaje obtenida a mediados del ciclo del cultivo mostró alta correlación con el rendimiento en hojas de la planta.

El mayor peso promedio en hojas secas por planta correspondió al tratamiento NF30 y fue 50,13 g.

Bajo las condiciones en que se condujo el experimento, la planta puede producir 1,45 gramos de hojas secas por litro de agua aportado.

## Referencias Bibliográficas

- Ayars, J; R. Hutmacher; R. Shoneman; R. Scope; S. Vail and F. Dale. 1999. Realizing the potential of integrated irrigation and drainage water management for meeting crop water requirement in semi-arid and arid areas. *Irrigation and Drainage Systems* 13: 321-347.
- Ben-Hur, M; F. Li; R. Keren; I. Ravina and G. Shalit. 2001. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 191-198.
- Borin, M. 1990. Irrigation management of processing tomato and cucumber in environments eighth different water table depths. *Acta Hort. (ISHS)* 267: 85-92.
- Comerma, J. 2009. Suelos mal drenados en Venezuela. *Agronomía Trop.* 59: 25-32.
- Eden, A; G. Alderman and C. Baker. 1951. The effect of ground water-level upon productivity and composition of fenland grass. *The Journal of Agricultural Science* 41: 191-202.
- Chen, X. and Q. Hu. 2004. Groundwater influences on soil moisture and surface evaporation. *Journal of Hydrology* 297:285-300.
- Fronza, D. and M. Foligatti. 2003. Water consumption of the stevia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bernoti] crop estimated through microlysimeter. *Scientia Agricola* 60: 595-599.
- García, E. 2015. Dinámica de la humedad de un suelo cultivado con stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] sometido a cinco tratamientos de riego. Trabajo final de grado. Facultad de Agronomía de la UCV. Maracay, Venezuela. 30 p.
- González, R.; J. Panyagua y E. Mayeregger. 2002. Necesidad de agua para el cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana*, Bert.), calculado sobre la base de lecturas de microlisímetros. *Investigación Agraria* 4: 19-24.
- Herrera, F.; R. Gómez y C. González. (17 de agosto, 2015). El cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en condiciones agroclimáticas de Nayarit, México. Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional 29 Pacífico Centro. Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.

[http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones\\_nuevas/El%20cultivo%20de%20Stevia%20%28Stevia%20rebaudiana%29%20Bertoni%20en%20condiciones%20agroambientales%20de%20Nayarit,%20M%C3%A9xico.pdf](http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones_nuevas/El%20cultivo%20de%20Stevia%20%28Stevia%20rebaudiana%29%20Bertoni%20en%20condiciones%20agroambientales%20de%20Nayarit,%20M%C3%A9xico.pdf)

Harris, C; H. Erickson; N. Ellis and J. Landon. 1962. Water level control in organic soil, related to subsidence rate, crop yield and response to nitrogen. Soil Science 94: 158-161.

Lavini, A.; M. Riccardi; C. Pulvento; S. De Luca; M. Scamosci and R. d'Andria. 2008. Yield, Quality and Water Consumption of *Stevia rebaudiana* Bertoni Grown under Different Irrigation Regimes in Southern Italy. Riv. Agron. 2: 135-143.

Madramootoo, C; T. Helwig and G. Dodds. 2001. Managing water tables to improve drainage water quality in Quebec, Canada. Transaction of the ASAE. 44: 1511-1519.

Medina, H. 2015. Coeficientes de cultivo (Kc) de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni obtenidos en condiciones de campo. Trabajo final de grado. Facultad de Agronomía de la UCV. Maracay, Venezuela. 33 p.

Niño, J., J. Cuervo y R. Villalobos. 2013. Efecto del potencial mátrico del suelo en el crecimiento del cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 7: 240-251.

Oosterbaan, R. 1994. Agricultural drainage criteria. In: Drainage principles and application. International Institute for land reclamation and improvement (ILRI) Ritzema, H (editor Chief). Wageningen, The Netherlands. 635-689.

Starzec, E. 2015. Efecto de la lámina de riego sobre el desarrollo, rendimiento y capacidad edulcorante de plantas de stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) cultivadas en condiciones

- protegidas. Trabajo final de grado. Facultad de Agronomía de la UCV. Maracay, Venezuela. 27 p.
- Stewart, J., R. Hagan and O. Pruitt. 1974. Functions to predict optimal irrigation programs. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 100: 179-199.
- Villafañe, G. 2015. Coeficientes de cultivo de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni obtenidos en condiciones protegidas. Trabajo final de grado. Facultad de Agronomía de la UCV. Maracay, Venezuela. 29 p.
- Wind, G. 1955. A field experiment concerning capillary rise of moisture in heavy clay soil. *Neth. J. Agr. Sci.* 8: 60-69.
- Zambrano, F; R. Villafañe y R. Figueroa. 2003. Efecto de la profundidad del nivel freático sobre la producción de tomate en un suelo franco arenosos y bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Trop.* 53: 417-435.