



UNIVERSIDAD CENTRAL DE  
VENEZUELA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE BIOLOGÍA

**INFLUENCIA DE DOS RESIDUOS VEGETALES SOBRE LA  
DISPONIBILIDAD DE AGUA DEL SUELO E IMPLICACIONES  
EN LA BIOMASA Y MORFOLOGÍA DE LA RAÍZ DE  
*Oyedaea verbesinoides* (TARA A MARILLA), ASTERACEAE**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela por la bachiller Grace Carolina Saturno Sosa como requisito parcial para optar al título de Licenciado en Biología

Tutores: Dra. Noemí Chacón  
Dr. Ismael Hernández

Caracas, Venezuela  
Mayo- 2017



## ACTA

Quienes suscribimos, miembros del jurado evaluador designado por el Consejo de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela para examinar el Trabajo Especial de Grado de la Br. GRACE CAROLINA SATURNO SOSA, C.I.: 19.370.373, titulado **"INFLUENCIA DE DOS RESIDUOS VEGETALES SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA DEL SUELO E IMPLICACIONES EN LA BIOMASA Y MORFOLOGÍA DE LA RAÍZ DE *Oyedaea verbesinoides* (TARA A MARILLA), ASTERACEAE"**, para optar al título de Licenciada en Biología, considerando que dicho trabajo cumple con los requisitos exigidos en los reglamentos respectivos, lo consideramos **APROBADO**.

Para dar fe de ello se levanta la presente acta en Caracas, a los 10 días del mes de mayo del año 2017.

Dra. Noemí Chacón

Tutora

Dr. Ismael Hernández

Tutor

Dra. Rosa Urich

Jurado

Dra. Nora Malaver

Jurado

## **DEDICATORIA**

A toda aquella persona que crea que no lo puede lograr, sirvan estas páginas de motivación y ejemplo.

## RESUMEN

La raíz es la estructura principal de la planta asociada con la incorporación de agua y minerales. El estudio de su morfología y de los cambios de biomasa en la planta, ha sido objeto de estudio para evaluar los efectos frente a diferentes condiciones de humedad y nutrientes. Por su elevado contenido de materia orgánica, los residuos orgánicos favorecen la macroestructura de los suelos, mejorando la distribución de humedad e intercambio de gases y su capacidad de agregación, lo cual le ha otorgado un valor importante como enmiendas orgánicas. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de los cambios de humedad en el suelo debido a la adición de dos residuos vegetales (vástago de cambur y residuos industriales de sábila) y su implicación en la morfología de las raíces y biomasa de *Oyedaea verbesinoides* (Tara Amarilla) en dos condiciones de riego (dos veces por semana y quincenal). Los resultados mostraron que la adición de los residuos orgánicos no condujo a mejoras en el estado hídrico del suelo. Sin embargo se encontraron respuestas en la planta que permiten postular que los mismos favorecieron el estado nutricional de *Oyedaea verbesinoides*, principalmente con la combinación de residuos de vástago de cambur y riego más frecuente. De manera contraria esta relación condujo a la mortalidad de las plantas cuando el residuo de sábila fue implementado. Se encontró que el riego quincenal no indujo cambios en el estado hídrico de la planta por lo que cambios en las variables morfológicas de la raíz, no pudieron ser determinadas respecto a este factor. Sin embargo se encontraron efectos sobre la distribución de biomasa para el tratamiento con vástago de cambur y riego quincenal.

**Palabras claves:** residuos orgánicos, humedad del suelo, distribución de biomasa, morfología de raíz.

## ÍNDICE GENERAL

	pp.
<b>RESUMEN</b>	<b>IV</b>
<b>ABREVIATURAS</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>12</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>20</b>
<b>Hipótesis</b>	<b>27</b>
<b>Objetivos</b>	<b>27</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>29</b>
<b>Diseño experimental</b>	<b>29</b>
<b>Análisis del suelo</b>	<b>33</b>
<b>Análisis de la planta</b>	<b>33</b>
<b>Análisis estadísticos</b>	<b>36</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>37</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>81</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>83</b>

## INDICE DE FIGURAS

	pp.
<b>Figura 1.</b> Esquema del diseño experimental del ensayo.	32
<b>Figura 2.</b> Variaciones en el porcentaje de humedad del suelo tratado con residuos de vástago de cambur bajo dos tipos de riego.	38
<b>Figura 3.</b> Variaciones en el porcentaje de humedad del suelo tratado con residuo de sábila bajo dos tipos de riego.	40
<b>Figura 4.</b> Variaciones en la biomasa total de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	42
<b>Figura 5.</b> Variaciones en la biomasa total de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.	43
<b>Figura 6.</b> Variaciones en la relación raíz-vástago de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	45
<b>Figura 7.</b> Variaciones en la relación raíz-vástago de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.	46
<b>Figura 8.</b> Variaciones en la longitud total de la raíz de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	48
<b>Figura 9.</b> Variaciones en la longitud total de la raíz de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.	49
<b>Figura 10.</b> Variaciones en área superficial de la raíz de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	51

	<b>pp.</b>
<b>Figura 11.</b> Variaciones en área superficial de la raíz de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de sábila de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	<b>52</b>
<b>Figura 12.</b> Variaciones en diámetro promedio de las raíces de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	<b>54</b>
<b>Figura 13.</b> Variaciones en diámetro promedio de las raíces de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.	<b>55</b>
<b>Figura 14.</b> Variaciones en longitud radical específica de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	<b>57</b>
<b>Figura 15.</b> Variaciones en longitud radical específica de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.	<b>58</b>
<b>Figura 16.</b> Variaciones en el área superficial específica de la raíz de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	<b>59</b>
<b>Figura 17.</b> Variaciones en el área superficial específica de la raíz de <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.	<b>60</b>
<b>Figura 18.</b> Variaciones en el contenido de nitrógeno total foliar en <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.	<b>62</b>
<b>Figura 19.</b> Variaciones en el contenido de nitrógeno total foliar en <i>Oyedaea verbesinoides</i> cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en	<b>63</b>

el suelo y dos tipos de riego.

**pp.**

**Figura 20.** Variaciones en el potencial hídrico foliar de

**65**

*Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

**Figura 21.** Variaciones en el potencial hídrico foliar de

**66**

*Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

**Figura 22.** Variaciones en el contenido de agua foliar en

**67**

*Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

**Figura 23.** Variaciones en el contenido de agua foliar en

**68**

*Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla I.** Características del suelo del Bosque nublado de Altos de Pipe.

**29**

## ABREVIATURAS

- VR2S** Tratamiento de suelo con vástago de cambur y riego de dos veces por semana.
- VRQ** Tratamiento de suelo con vástago de cambur y riego quincenal.
- SR2S** Tratamiento de suelo con residuo de sábila y riego de dos veces por semana.
- SRQ** Tratamiento de suelo con residuo de sábila y riego de dos veces por semana.
- CoR2S** Suelo control con riego de dos veces por semana.
- CoRQ** Suelo control con riego quincenal.
- %H** Porcentaje de humedad.
- Bt** Biomasa total.
- R/V** Relación raíz/vástago.
- Lt** Longitud total de raíz.
- As** Área superficial de raíz.
- LE** Longitud total específica de raíz.
- ASE** Área superficial específica de raíz.
- Ntf** Nitrógeno total foliar.
- Ψ** Potencial hídrico foliar.
- CAF** Contenido de agua foliar.

## INTRODUCCIÓN

El agua desempeña roles esenciales al ser constituyente principal de las células vegetales, solvente para el transporte de gases y minerales, sustrato donde ocurren numerosos procesos químicos y mantiene la turgidez de la célula. Casi todos los procesos en las plantas son afectados directa o indirectamente por el suministro de agua (Kramer y Boyer, 1995).

El desarrollo de las plantas es limitado probablemente por el déficit de agua más que ningún otro factor. Esta condición ocurre cuando la pérdida de agua por transpiración excede el agua que fue absorbida por las raíces. El déficit hídrico es un evento normal que toma relevancia solo cuando sucede por períodos muy largos como para afectar adversamente los procesos fisiológicos, el crecimiento y sobrevivencia de la planta. La condición de humedad limitada puede afectar prácticamente todos los aspectos asociados al desarrollo de la planta, incluyendo anatomía, fisiología, bioquímica y morfología (Lopushinsky, 1990).

La raíz es la estructura principal de la planta asociada con la incorporación de agua y minerales. La eficiencia de los sistemas radicales en la absorción de agua y minerales depende de su profundidad y su propagación, de su densidad y su permeabilidad o conductancia hidráulica (Kramer y Boyer, 1995)

Waisel y col. (1996) señalan que las raíces pueden actuar como sensores de la pérdida de humedad del suelo y que a partir de esta condición se envían señales a la parte aérea de la planta. De igual modo han surgido varias hipótesis acerca de los efectos de esta condición sobre la morfología de la raíz. Se ha encontrado un aumento

de la biomasa de raíces finas, aumento en la densidad de longitud radicular y alargamiento de las raíces; incremento de la relación raíz/vástago, especialmente en la relación de biomasa de raíces finas y biomasa foliar; alteración de la tasa de recambio de raíces y aumento en la profundidad de enraizamiento y/o en la densidad de raíces finas a mayores profundidades, en presencia de una disminución de agua a largo plazo (Joslin y col., 2000). Asimismo, se han encontrado alteraciones en otros parámetros morfológicos de la raíz, como el diámetro (Cortina y col., 2008), longitud (Balaguera y col., 2008) cuando la planta se ve expuesta a limitaciones de humedad. Sin embargo estas respuestas pueden ser diferentes según la especie evaluada.

Por su elevado contenido de materia orgánica, los residuos orgánicos favorecen la macroestructura de los suelos, mejorando la distribución de humedad e intercambio de gases y su capacidad de agregación; disminuyen la densidad aparente e incrementan la capacidad de retención de agua y la capacidad hidráulica del mismo (Acosta, 2002). Debido a sus características y a su fácil y económica adquisición, ya que usualmente son considerados desechos, el uso de los residuos orgánicos ha resultado una opción interesante como enmiendas o abonos orgánicos, tal y como lo señalan diversos autores (Navarro y col., 1995; Ampueda y col., 2006, Castro y col., 2009; Nagase y Dunnett, 2011; Rivero y col., 2011, Rivero y Paolini, 2011; Peña y col., 2013)

Es importante destacar que las especies pioneras suelen presentar adaptaciones a la alta radiación, estrés hídrico, estrategias reproductivas e historias de vida cónsonas con estas condiciones, lo cual ha determinado su empleo en estudios relacionados o realizado bajos dichos factores ambientales.

En base a lo anteriormente expuesto, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de dos tipos de residuos vegetales (vástago de cambur y residuo de sábila) sobre el contenido de humedad del suelo y su relación sobre parámetros morfológicos de la raíz y la biomasa de la especie pionera *Oyedaea verbesinoides* (Tara Amarilla) bajo diferentes condiciones de humedad del suelo.

## MARCO TEÓRICO

La disponibilidad de agua es el factor ambiental más importante para el crecimiento y producción de biomasa de las plantas (Taiz y Zeiger, 2002; Ortiz, 2006; Covarrubias y col., 2007; Medrano y col., 2007; Moreno 2009; Córdoba-Rodríguez y col., 2011), actuando como una fuerza selectiva de primer grado para la evolución y distribución de las especies vegetales (Moreno, 2009). Esto resulta evidente a la simple observación del paisaje natural. Cuando se compara la precipitación anual y la producción en diferentes biomas, a pesar de la fuerte interferencia de otros factores limitantes como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes o las horas de luz, así como de las dificultades de estimación de la producción de biomasa en determinados biomas, la relación resulta clara a escala global y es superior cuando la comparación se realiza para una única especie (Medrano y col., 2007)

La importancia ecológica del agua se debe a su papel en los procesos fisiológicos en los que interviene (Ortiz, 2006). El agua proporciona el medio para el movimiento de las moléculas tanto en el interior celular como entre células e influye notablemente en las estructuras de las proteínas, ácidos nucleicos, polisacáridos y otros componentes celulares. Es el medio en el cual se producen la mayoría de las reacciones bioquímicas de la célula y participa directamente en numerosas reacciones químicas esenciales (Taiz y Zeiger, 2002).

El mantenimiento del contenido de agua y turgencia adecuados en las células, es el factor esencial en las relaciones agua-planta que permite el funcionamiento normal de los procesos fisiológicos y bioquímicos involucrados en la división celular y producción de biomasa (Ortiz, 2006). La dependencia encontrada entre la producción

de biomasa y la disponibilidad de agua se debe a que el proceso base de la producción de nueva biomasa (la fotosíntesis) y el del gasto de agua (transpiración) se producen a la vez. El proceso de fotosíntesis requiere la difusión de  $\text{CO}_2$  hacia los cloroplastos a través de los estomas. La apertura estomática necesaria para la difusión de  $\text{CO}_2$  implica que el vapor de agua difunda pasivamente a la atmósfera (De Santa Olalla y col., 2005). Cuanto más abiertos están, más fácilmente entra el  $\text{CO}_2$  pero también más rápidamente se escapa el agua, por lo que el costo del agua gastada para la producción biomasa, es por tanto inevitable y alto (Medrano y col., 2007).

La raíz es la estructura de la planta asociada con la incorporación de agua y minerales. El suministro de agua a las plantas se produce a través de una interacción entre el sistema radicular y el agua en el suelo (Acevedo, 1979), por lo cual, el contenido de agua en el mismo constituye un factor relevante para el establecimiento y desarrollo de las plantas.

La eficiencia de los sistemas radiculares en la absorción de agua y minerales está relacionada en parte con sus características morfológicas. Leuschner y col. (2004) señala que la morfología de la raíz juega un papel importante en el balance del costo y beneficio de las raíces. Es común encontrar la variación en la asignación de recursos y en la estructura y morfología del sistema radicular en función de las necesidades que enfrentan las plantas en el sitio. Un aspecto importante en respuesta a la limitación de agua, por ejemplo, es la modificación de la estructura y distribución de la raíz en el suelo. En este sentido, Kramer y Boyer (1995) plantean que una profunda y profusa ramificación del sistema radical es ventajosa debido a que ocupa y con ello explora un mayor volumen de suelo y en consecuencia tiene mayor acceso al agua y nutrientes.

Así, plantas con un sistema radical profundo, usualmente sobreviven a la sequía con menos dificultades que aquellas que poseen un sistema radical superficial.

En general, los autores señalan que se genera una disminución en la tasa de crecimiento radicular en la medida que se desarrolla un déficit hídrico en las plantas. Balaguera y col. (2008) afirman que a mayores potenciales de agua en el suelo se produce un mayor crecimiento radicular, ya sea por provocar una menor resistencia a la penetración, como por generar un gradiente de potencial de agua que ocasiona un flujo más rápido hacia las células radiculares. De esta manera las raíces tienden a proliferar en las zonas más húmedas del perfil del suelo. Se ha reportado un aumento de la biomasa de raíces finas, de la densidad de longitud radicular, alargamiento de las raíces, alteración de la tasa de recambio de raíces; incremento en la profundidad de enraizamiento y/o en la densidad de raíces finas a mayores profundidades, número de raíces laterales, cantidad de raíces en crecimiento, longitud de raíz, área superficial de raíz (Joslin y col., 2000; Sahnoune y col., 2004; Cortina y col., 2008; Metcalfe y col., 2008; Córdoba y col., 2010, así como también alteraciones en el diámetro promedio de las raíces en condiciones de humedad limitada. Sin embargo hay algunos estudios los cuales reportan que el crecimiento radicular es muy poco sensible a cambios en el contenido de humedad del suelo (Acevedo, 1979). Estas diferentes respuestas de la raíz frente a la condición de humedad, permiten inferir que la variación depende de las especies evaluadas.

Se ha señalado que las raíces pueden actuar como sensores de la pérdida de humedad y que a partir de ello envían señales a la parte aérea de la planta (Waisel y col., 1996). En este sentido, Kramer y Boyer (1995) indican que a medida que el suelo va perdiendo humedad ocurren cambios en el metabolismo de la raíz, tales como la

disminución en la producción de citoquinina, el incremento de la producción de ácido abscísico (ABA) y la alteración en el metabolismo de nitrógeno; dichos cambios se traducen en señales bioquímicas que son enviadas al vástago y producen cambios fisiológicos tales como reducción en el crecimiento, en la conductancia estomática y tasa

La actividad tanto del vástago como de la raíz es absolutamente dependiente de la actividad de ambos (Thornley, 1972). La teoría del balance funcional sugiere que se genera un ajuste en el desarrollo de diferentes órganos para maximizar la absorción de los recursos más limitados (Metcalfe y col., 2008). En relación al contenido de humedad del suelo, esta relación parece estar determinada por un equilibrio funcional entre la absorción de agua por la raíz y la fotosíntesis en el vástago (Taiz y Zeiger, 2002). En general se conoce que cuando el agua es limitada, las plantas cambian la acumulación de carbono hacia las raíces donde los productos de la fotosíntesis pueden ser usados para incrementar el consumo de agua (Joslin y col., 2000, Metcalfe y col., 2008,). Así mismo, Kramer y Boyer (1995) señalan que en condiciones de déficit de agua en el suelo, el crecimiento del tallo se reduce antes que el crecimiento de la raíz resultando en un incremento en la relación raíz/vástago.

Con la finalidad de garantizar el establecimiento y desarrollo de las plantas, se ha empleado el uso de diversos materiales que permitan mantener las condiciones de humedad y nutrientes en los suelos, tal es el caso del empleo de los residuos orgánicos (Arrigo y col., 2005; Ampueda y col., 2006; Julca-Otiniano y col., 2006; Nagase y Dunnett, 2011; Acosta y col., 2002)

Los residuos en general se han definido como aquellos materiales generados en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado ningún valor económico en el contexto en que son producidos (Acosta, 2002). Dicha situación puede deberse por un lado a la falta de tecnología realmente adecuada para su aprovechamiento, así como a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados (Galván, 2009).

Los residuos orgánicos, pueden ser clasificados según su fuente en: residuos agrícolas, residuos ganaderos de cría (estiércoles), residuos forestales, residuos urbanos, entre otros (Galván, 2009). Por su parte, los residuos de la agroindustria, representan una alternativa de necesaria consideración por las implicaciones ecológicas y por su fácil acceso (Bravo y col, 2012).

La aplicación de residuos orgánicos como abono, ha sido una práctica tradicional y muy antigua (Navarro y col., 1995; López y col., 2001, Acosta y col., 2002) y en la actualidad sigue siendo usada en vista de los beneficios que aporta para mejorar la calidad y productividad de los suelos y la recuperación de suelos degradados (Rivero y Paolini, 1994; Sevilla y col., 1996; Acosta, 2002; Arrigo y col., 2005; Álvarez-Sánchez y col., 2006)

La incorporación de residuos orgánicos, tiene un efecto mejorador sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rivero y col., 2011). Por su elevado contenido de materia orgánica, dichos residuos, favorecen la macroestructura de los suelos; mejoran la distribución de humedad e intercambio de gases, la capacidad de agregación; disminuyen la densidad aparente e incrementan la capacidad de retención de agua y la capacidad hidráulica; favorecen la actividad biológica del suelo y facilitan la

disponibilidad de nutrientes para las plantas (Zebarth y col., 1999; López y col., 2001; Acosta, 2002). En este sentido, Casanova (2005) señala que la incorporación de los residuos favorece el estado nutricional del suelo, así como también su condición hídrica.

El uso de los residuos orgánicos como mejoradores de la calidad de los suelos, en general se fundamenta en la capacidad que tienen los mismos para transformar estos materiales. Dicha capacidad deriva de la abundante y variada población microbiana que habita en ellos, la cual descompone un amplio grupo de sustancias más o menos biodegradables, que se encuentran presentes en estos materiales (Acosta, 2002). El efecto de los residuos orgánicos sobre las propiedades del suelo depende de la tasa de descomposición del material aplicado, la cual se ve afectada por: la composición química (contenido de C, relación C/N, concentración de metales, pH); las características del suelo (tipo, clase, permeabilidad, humedad, contenido de materia orgánica, estado nutricional, fracción arcillosa, capacidad de intercambio catiónico, etc.); la tasa de aplicación; el clima y los métodos de aplicación del residuo (superficial o incorporado) (Acosta, 2002).

En lo que respecta al método de aplicación, y particularmente la de material vegetal, el residuo incorporado al suelo es degradado más rápidamente que aquel que está en superficie. Al estar los residuos vegetales incorporados, están en íntimo contacto con la comunidad microbiana, favoreciendo la acción enzimática que promueve a la oxidación del carbono orgánico, a la vez que presentan condiciones más favorables de humedad y temperatura (básicamente), lo cual facilita la actividad de descomposición. Los residuos en superficie, por el contrario, presentan bajo contenido

hídrico, limitando el crecimiento de los microorganismos (Sánchez, 1988). En algunos casos pueden ser importantes las enzimas extracelulares para iniciar la descomposición; en tanto que los restos vegetales que quedan en superficie son físicamente inaccesibles para los organismos del suelo (Sánchez, 1988). Otro factor relevante que influye en los efectos del uso de residuos sobre el suelo y a su vez sobre las plantas es la calidad del material, la cual está asociada al estado o grado de madurez del mismo. Los abonos orgánicos pueden aplicarse directamente (frescos) o compostados. Los residuos frescos poseen entre un 60 y 90 por ciento de humedad, lo cual significa que entre el 40 a 10 por ciento de la materia podría incorporarse al suelo y su composición es muy variada: carbohidratos, grasas, aceites, lignina y proteínas, principalmente (Casanova, 2005). Por su parte, el tratamiento que reciben los residuos compostados, genera cambios en numerosas propiedades químicas, físicas y biológicas de los materiales orgánicos, hasta llegar a la formación de moléculas polimerizadas de naturaleza húmica (Difrieri y col., 2005), se convierte en un material coloidal, heterogéneo y responsable en gran parte del intercambio catiónico de los suelos (Casanova, 2005). Asimismo, el compostaje cambia la calidad del residuo; por ejemplo, la disponibilidad de nutrientes podría ser más baja después del proceso pero es biológicamente más estable (Álvarez-Sánchez y col., 2006). Sin embargo, cuando los abonos orgánicos no se han humificado adecuadamente, pueden ocasionar efectos adversos como: deficiencia temporal de N en los cultivos cuando la relación C/N es alta, debido a la inmovilización de N por parte de los microorganismos; condiciones anaeróbicas; elevación de la temperatura del medio, lo cual es incompatible con el desarrollo vegetal; así como también condiciones de fitotoxicidad por presencia de sustancias que inhiben la germinación y el desarrollo de las plantas debido a la

presencia de sustancias tóxicas como metales pesados (Arrigo y col., 2005; Acosta, 2002; Acosta y col., 2004; Álvarez-Sánchez y col., 2006; Varnero y col., 2007). También existen otros riesgos asociados al empleo de residuos orgánicos, en especial cuando se aplican dosis masivas o si éstos son lodos residuales (domésticos o industriales), considerando que los materiales básicos que los forman, incorporan sustancias peligrosas, entre las cuales está la presencia de metales pesados; lo que en mayor o menor grado puede limitar su uso (Acosta y col., 2006).

Por otro lado, es importante destacar los efectos favorables del empleo de residuos orgánicos sobre las plantas. La aplicación de estos materiales mejora la economía hídrica de la planta por la alta eficiencia de agua consumida; modifican la permeabilidad de la célula de la raíz, aumentando la selectividad de la nutrición, velocidad de absorción de elementos minerales y agua y savia bruta producida; acelera los procesos respiratorios y la fotosíntesis; libera cantidades apreciables de N, S, P y algunos micronutrientes; favorece el metabolismo de N, P, H y C, dándose una reducción en el consumo de lujo de elementos minerales; estimula la germinación de semillas, formación y crecimiento de raíces y tallos y aumenta la vigorosidad de la planta (Acosta, 2002). Asimismo, los cambios producidos tras la adición de enmiendas orgánicas suelen incrementar de manera rápida la recolonización vegetal, reduciéndose de esta manera los tiempos de exposición a los procesos erosivos de los suelos (Guerrero y col., 2003)

## ANTECEDENTES

Debido a la carencia de trabajos que contemplen el conjunto de los objetivos desarrollados en este estudio, los antecedentes que se presentan a continuación muestran investigaciones que abordan desde diferentes puntos el tema de este ensayo.

Para el caso de los estudios en los que se evaluaron parámetros morfológicos y de biomasa de plantas frente a diferentes condiciones de humedad del suelo, se puede observar algunas coincidencias y discrepancias entre los autores según las especies estudiadas.

Acevedo (1979), realizó una revisión bibliográfica en donde evidencia que existen resultados contrastantes sobre los efectos del agua en el crecimiento radicular. Señala que algunos autores han encontrado una disminución en la tasa de crecimiento radicular en la medida que se desarrolla un déficit hídrico en las plantas; otros reportan que el crecimiento radicular es muy poco sensible a cambios en el contenido de humedad del suelo, y aún otros señalan un aumento en el crecimiento radicular con un déficit hídrico en la planta. Los resultados de los diferentes autores pueden tener diversas explicaciones. En primer lugar, el crecimiento radicular depende del medio donde se desarrolla la parte aérea de la planta, el cual puede variar entre los diferentes experimentos. Otra consideración es que las diversas especies o variedades pueden tener una diferente capacidad para disminuir el valor del potencial de solutos ( $\psi_s$ ) en las raíces en crecimiento, y por lo tanto, en la capacidad de generar el valor de  $\psi_s$ , para la extensión radicular. Por otro lado, el aumento de la presión externa del suelo sobre las células en crecimiento de la raíz ( $\sigma_n$ ), generalmente asociado a disminuciones en el

contenido de humedad del suelo produce una disminución en la tasa de crecimiento radicular, sin que este necesariamente corresponda a una disminución del crecimiento radicular producido por un déficit hídrico de la planta.

Martínez-Trinidad y col. (2001) evaluaron la respuesta al déficit hídrico de *Pinus leiophylla*, sometidas a tres niveles de humedad (control (por encima del 165%), déficit moderado (entre 80 y 165%), déficit severo(entre el 30 y 80%)) durante dos meses. La acumulación y distribución de biomasa en *Pinus leiophylla* fueron afectadas drásticamente por el efecto del déficit hídrico impuesto, teniendo un efecto negativo mayor en la parte aérea de la planta que en la raíz, lo que ocasionó que la relación vástago/raíz se redujera, en especial, en condiciones de déficit hídrico severo.

Sahnoune y col. (2004) estudiaron la morfología de las raíces seminales en la cebada cultivadas bajo diferentes tratamientos de disponibilidad agua. Establecieron cuatro tipos de regímenes hídricos: 100, 75, 50 y 25% de la capacidad de campo (CC). Encontraron diferencias significativas entre los tratamientos hídricos; bajo déficit de agua menores al 50% de la capacidad de campo, la longitud de la raíz disminuyó fuertemente. El volumen de la raíz también se vio afectado por debajo del 50% CC, teniendo una importante reducción en las capas de mayor profundidad evaluadas (de 20 a 40 cm). Asimismo, obtuvieron un incremento de la relación R/V a medida que disminuía el agua en el suelo.

Cortina y col. (2008) evaluaron el efecto de la disponibilidad de agua sobre la morfología de la raíz y parámetro foliares en *Pistacia lentiscus* (L.) bajo dos regímenes hídricos (semanal y mensual). Encontraron que los diámetros promedios fueron

mayores en las plantas con un niveles más altos dedisponibilidad de agua. *P. lentiscus* mostró una importante reducción del crecimiento en condiciones de humedad limitada. Las raíces de las plantas bajo régimen hídrico semanal mostraron una mayor acumulación de biomasa que las de riego mensual así como también diámetros mayores en las raíces colonizadoras. No encontraron diferencias significativas en la longitud específica de raíz bajo los tipos de riego. Concluyeron que la sequía no promueve la incorporación de biomasa en las raíces de la especie estudiada, y que la especie presentó poca capacidad para adaptarse a las limitaciones de agua.

Córdoba (2010) evaluó el crecimiento y estructura de la raíz en plantas de tres años de edad y recién germinadas de *Pinus piceana* sometidas a dos condiciones de humedad del suelo. En las plantas de tres años de edad, determinó una reducción del número de raíces principales, en la biomasa de la raíz debajo de los 15 cm de profundidad del suelo y una disminución de la relación parte aérea/raíz, bajo la condición de menor humedad. Sin embargo, aumentó el número de raíces laterales y el número de raíces finas en crecimiento. En el caso de las plántulas recién germinadas, se determinó que la sequía afectó de manera negativa a todas las variables de crecimiento (el número de raíces en crecimiento, raíces laterales y el volumen de la raíz) excepto la longitud de la raíz principal y la relación parte aérea/raíz. Estos resultados indican que la asignación de biomasa y la capacidad de absorción del agua son aspectos importantes en la adaptación de *P. pinceana* a los hábitats en los que se encuentra, pero la respuesta de las plantas a la sequía depende de la etapa de crecimiento y de la edad de las plantas.

En cuanto al uso de residuos vegetales como enmiendas orgánicas, se ha encontrado que en general estos materiales favorecen propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo así como la producción de biomasa de las plantas cultivadas bajo su influencia, como se verá a continuación.

Sevilla y col. (1996), emplearon residuos orgánicos como coberturas de suelo con la finalidad de evaluar su efecto sobre las pérdidas de suelo y agua del mismo. Como residuo vegetal se utilizó *Crotalaria juncea* L. y *Cajanus cajan* L., en diferentes combinaciones (0,25 y 75%) con el barbecho natural (plantas arvenses presentes dentro de la siembra de ambos cultivos). Los residuos vegetales se aplicaron solos y combinados con estiércol de pollo (gallinaza) en dos diferentes tasas (1,5 y 3 Mg.ha<sup>-1</sup>). Los autores encontraron que los tratamientos de quinchoncho 3 Mg.ha<sup>-1</sup>, 25 y 75% redujo las pérdidas de suelo, en comparación con el suelo desnudo. Los tratamientos de crotalaria 3 Mg.ha<sup>-1</sup>, 25 y 75% , también redujeron la pérdida de suelo pero en mayor porcentaje. Sin embargo, el tratamiento de crotalaria combinado con estiércol, generó resultados más favorables, ya que redujo tanto la pérdida de suelo como de agua. En general, el uso de la cobertura de residuos proveniente de barbecho mejorado resultó ser una práctica efectiva para el control de las pérdidas de suelo y agua por escorrentía , siendo la dosis más alta de residuo, la práctica que redujo más dichas pérdidas.

Ampueda y col. (2006), estudiaron el efecto de la incorporación de residuos vegetales y fertilizante químico sobre la dinámica del nitrógeno en el suelo. Emplearon residuos de *Crotalaria juncea* y *Sorghum bicolor* (L.) Moench los cuales se añadieron a

dos tipos de suelos con pH contrastante. En ambos suelos, se observó un incremento en los niveles de nitrógeno total como consecuencia de los tratamientos aplicados, el mayor efecto se logró cuando se incorporó crotalaria.

Rivero y Paolini (2011) evaluaron a nivel de invernadero, el efecto de la incorporación de residuos de leguminosas (*Canavalia ensiformes*, *Crotalaria juncea* y *Phaseolus mungo*) y gramíneas (*Sorghum bicolor*), así como mezclas de ambos sobre la estabilidad de los agregados, el diámetro medio ponderado de los mismos y la retención de humedad a 0,33 y 300 Kpa, de tres suelos alfisoles venezolanos. Los resultados evidencian tendencias hacia efectos positivos, al producirse pequeños incrementos temporales en la estabilidad de agregados y en la retención de humedad, sin embargo estos incrementos no fueron estadísticamente significativos.

Rivero y col. (2011), con el propósito de evaluar los efectos de la incorporación de residuos vegetales sobre algunas propiedades físicas del suelo, realizaron un ensayo en un Alfisol con limitaciones de orden físico donde incorporaron residuos de crotalaria (*Crotalaria juncea*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). En su estudio se evaluaron las siguientes propiedades físicas: porosidad total, porosidad con radio >15  $\mu\text{m}$ , retención de humedad a -33 kPa, conductividad hidráulica saturada, índice de sellado absoluto y densidad aparente. Los tratamientos produjeron efectos favorables en las variables estudiadas, sin embargo con respecto a la retención de humedad, aun cuando se observaron efectos positivos, no fueron estadísticamente significativos.

Nagase y Dunnett (2011), estudiaron la relación entre el contenido de materia orgánica y el desarrollo de plantas en techos verdes bajo dos regímenes de humedad. La materia orgánica consistió en residuos vegetales variados (grama, flores y hojas).

Emplearon diferentes porcentajes de materia orgánica: 0%, 10%, 25% y 50%. Los regímenes de riego establecidos fueron cada 5 días y cada 15 días, régimen seco y húmedo, respectivamente. En su estudio concluyeron que la adición de 10% de materia orgánica fue la proporción óptima para el desarrollo de las plantas, independientemente del riego. Asimismo encontraron que en el régimen húmedo, el incremento de materia orgánica se tradujo en un crecimiento exuberante de las plantas. En el régimen seco, por el contrario, el aumento del contenido de materia orgánica no estuvo relacionado con un incremento en el crecimiento de las plantas.

Peña y col. (2013), emplearon cuatro diferentes residuos vegetales como coberturas muertas con la finalidad de evaluar su efecto sobre el control de plantas arvenses y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Se utilizó como cobertura muerta: hierba de guinea (*Panicum maximum* Pers.), junco de laguna (*Scirpus lacustris* L.), restos de cosecha de arroz (*Oryza sativa* L.) y hojas de plátano (*Musa paradisiaca* L.). En cuanto al rendimiento de las plantas de tomate, los mejores resultados se alcanzaron en los suelos cubiertos, obteniéndose rendimientos más altos para *P. maximum*, *S. lacustris* y *O. sativa*. El uso de hojas de plátano incrementó el rendimiento de los cultivos, sin embargo con el uso de esta cobertura se alcanzó los niveles menores de esta variable.

Acosta y col. (2002), evaluaron (entre otras variables) la actividad deshidrogenasa en un suelo enmendado con diferentes residuos orgánicos: lodo residual, estiércol de chivo y residuos de procesamiento industrial de sábila, usando dos dosis de los mismos (1% y 2%). Determinaron un aumento respecto al suelo control (sin aplicación residuos) en la actividad deshidrogenasa para los suelos bajo los

tres residuos orgánicos, siendo mayor para el residuo de sábila y estiércol de chivo, indicando que la aplicación de estos residuos favorece la actividad biológica del suelo.

Garcés (2010), estudió la calidad y efecto de lixiviados obtenidos a partir de la planta de cambur (*Musa acuminata*) y de plátano (*Musa balbisiana*) en condiciones de invernadero. Se encontraron importantes aportes de macro y micronutrientes principalmente para el caso de lixiviados de plátano. Asimismo, cuando las plantas fueron cultivadas con aportes de los lixiviados extraídos, se vieron favorecidas tanto la altura de las plantas como la cantidad de clorofila.

## HIPÓTESIS

Bajo diferentes frecuencias de riego, la presencia de los residuos vegetales genera cambios en el estado hídrico del suelo, lo cual se ve reflejado en la morfología de las raíces y biomasa de las plantas cultivadas en este.

En este sentido, los objetivos que orientaron la presente investigación fueron:

### **Objetivo General**

Determinar cambios en la biomasa y parámetros morfológicos de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* en respuesta a la variación de la disponibilidad de agua en el suelo debido al uso de dos residuos vegetales.

### **Objetivos Específicos**

1. Evaluar a lo largo de 6 meses en un ensayo de vivero los cambios en la disponibilidad de agua en el suelo a consecuencia de la incorporación de dos residuos vegetales y el empleo de dos regímenes de riego.
2. Determinar en el tiempo de estudio los cambios en la biomasa de *Oyedaea verbesinoides* producto de las variaciones en la disponibilidad de agua del suelo al emplear dos residuos vegetales y dos regímenes hídricos.
3. Estudiar en el tiempo los cambios en parámetros morfológicos de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* como consecuencia de los cambios en la disponibilidad del suelo debido a la incorporación de dos residuos vegetales y aplicación de dos regímenes hídricos.
4. Evaluar en el tiempo los cambios en el estado hídrico de *Oyedaea verbesinoides* producto de variaciones en la disponibilidad de agua del suelo

debido al empleo de dos residuos vegetales y aplicación de dos condiciones hídricas.

**5.** Evaluar en el tiempo los cambios en el estado nutricional de *Oyedaea verbesinoides* producto de las variaciones en la disponibilidad de agua del suelo al emplear dos residuos vegetales y dos regímenes hídricos

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño experimental

El estudio se llevó a cabo en un vivero localizado en el Investigaciones Científicas (IVIC), el cual se encuentra ubicado en el Sector Altos de Pipe, San Antonio de Los Altos, Edo. Miranda.

Se utilizaron semillas de la planta *Oyedaea verbesinoides* y un suelo franco arenoso proveniente de un sector del bosque nublado localizado en el IVIC, cuyas características químicas detalladas en la Tabla I fueron descritas por Flores y col. (2010).

**Tabla I.**

Características del suelo del Bosque nublado de Altos de Pipe							
pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P resina	MO	N	C <sup>++</sup>	K <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
		μg·g <sup>-1</sup>	%	%		cmol <sub>c</sub> ·Kg <sup>-1</sup>	
3,9	3,3	3,05	5,37	0,41	0,32	0,10	0,06

Fuente: Flores y col. (2010)

La tara amarilla es una especie pionera que se encuentra distribuida en Venezuela desde los 100 hasta los 3000 m (Flores, 2008), posee un crecimiento rápido, se reproduce fácilmente por semilla y tiene capacidad para vivir en suelos pobres o poco fértiles (Flores y Cuenca, 2004). Asimismo, es una especie nativa del bosque nublado del IVIC.

Las semillas de *O. verbescoides* provinieron de una colecta de no menos de diez individuos.

El ensayo se realizó bajo condiciones de temperatura entre 12,9 y 24,0 °C, siendo el promedio 17,6 °C y una humedad relativa del aire que osciló entre 54,4 y 99,9%, con un promedio de 90,4%. El diseño experimental fue seguido a lo largo de 150 días y comprendió seis tratamientos dispuestos aleatoriamente en el invernadero (Fig. 1). Ellos fueron: a) mezcla suelo-vástago de cambur con riego de dos veces por semana (VR2S), b) mezcla suelo-vástago de cambur con riego quincenal (VRQ), c) mezcla suelo-sábila con riego de dos veces por semana (SR2S), d) mezcla suelo-sábila con riego quincenal (SRQ) y dos controles sin residuo orgánico para cada tipo de riego. Los residuos de sábila provinieron de la planta procesadora industrial PIZCA, ubicada en el estado Falcón y el vástago de cambur fue recolectado de plantas locales en el estado Miranda. Cada tipo de residuo fue mezclado homogéneamente con el suelo y posteriormente la mezcla colocada en bolsas de 7 kg de capacidad. Las mezclas se realizaron según las siguientes relaciones: 45 partes de suelo para 1 de vástago de cambur y 12 partes de suelo para 1 parte de sábila. El tratamiento control consistió de suelo sin ningún residuo orgánico. El residuo de sábila estaba formado por fragmentos entre 2 y 4 cm de diámetro, mientras que el vástago de cambur se componía de un material de hebras finas, parecido a paja. Cada tratamiento contó con 40 réplicas, para un total de 240 bolsas, conteniendo 5 semillas de la especie mencionada; sin embargo, el estudio se llevó a cabo sólo con la primera plántula que emergió de cada bolsa.

Mensualmente y durante 150 días, que comprendieron 6 muestreos, 5 réplicas de cada tratamiento fueron cosechadas para los estudios abajo descritos (nt mensual= 30), las plantas fueron cosechadas una vez tuvieron el segundo par de hojas

verdaderas. Para el tratamiento SR2S las réplicas solo pudieron ser cosechadas hasta los 90 días (cuarto muestreo) ya que en dicho tratamiento se generaron condiciones que provocaron una alta mortalidad de las plantas en las fases iniciales del ensayo.

Inicialmente, todos los tratamientos tuvieron un riego interdiario, con la finalidad de garantizar la germinación de la semilla en cada uno de ellos. Luego de 60 días y a partir del primer muestreo (T=0), se aplicaron los riegos anteriormente mencionados (riego de dos veces por semana y quincenal). El volumen de agua para cada una de las réplicas fue hasta alcanzar el 60% de la capacidad de campo, el cual fue estimado por diferencia de peso.

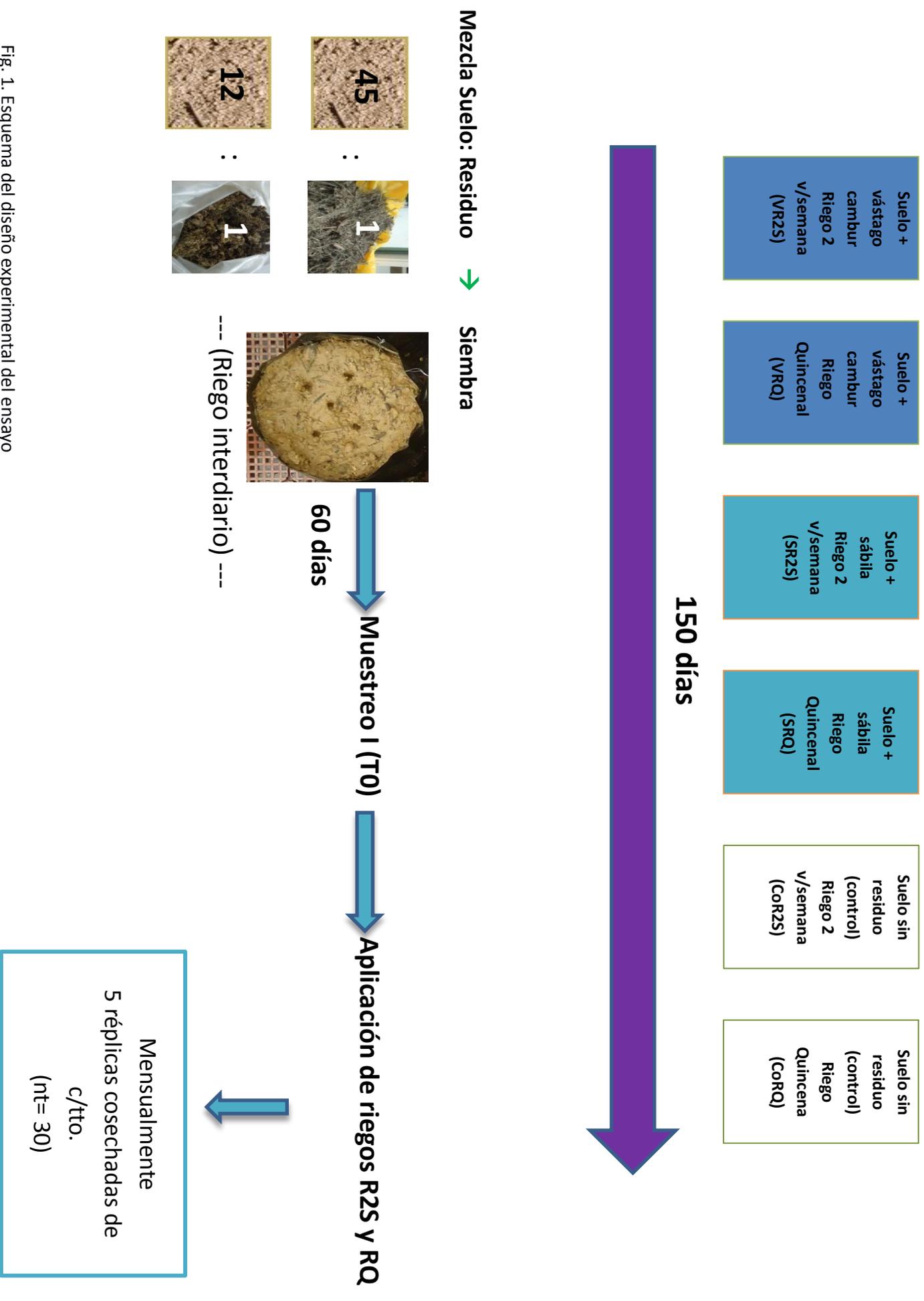


Fig. 1. Esquema del diseño experimental del ensayo

Es importante destacar que este trabajo se encontró enmarcado dentro de un proyecto orientado a la búsqueda de soluciones tecnológicas que contribuyan a resolver dificultades en lugares con suelos pobres, dando uso a recursos presentes en las zonas agrícolas.

## **Variables determinadas**

### **Análisis del suelo**

#### **Porcentaje de humedad del suelo (%Hs)**

Se realizó el análisis del contenido de humedad del suelo en los diferentes tratamientos (VR2S, VRQ, SR2S, SRQ, CoR2S, CoRQ) durante cada fecha de muestreo a lo largo de los 6 meses de experimentación. Para ello, se tomaron 10 g de suelo fresco de los primeros 10 cm de suelo de las bolsas de las plantas que fueron cosechadas y se utilizó un analizador de humedad modelo AND MX-50.

### **Análisis de la planta**

#### **Determinación de la biomasa del total y la relación raíz/vástago (R/V)**

A las plantas cosechadas de cada tratamiento, se les separó la parte aérea de las raíces. Las raíces fueron cuidadosamente limpiadas para eliminar restos de suelo y de residuo orgánico. Ambas secciones fueron secadas en una estufa a 60 °C hasta peso constante. El peso seco del vástago y las raíces fue luego determinado en una balanza digital de 0.01g de precisión. A partir de la biomasa seca de raíces y parte aérea se determinó la relación raíz/vástago (R/V).

### **Determinación de parámetros morfológicos de la raíz**

La longitud del sistema radical (Lt), el diámetro promedio (Dp) y el área superficial del mismo (As), fueron determinadas mediante el uso del Software WinRHIZO, el cual, a partir de una imagen escaneada de la raíz, arroja dichos datos. A partir del tercer muestreo se utilizaron alícuotas de la raíz de aproximadamente un 40% del peso, extrapolando los valores obtenidos para la porción analizada según el peso total de la muestra. Asimismo, a partir de variables anteriores, se determinaron los parámetros: longitud total específica (LE: Lt/g raíz (m/g)) y área superficial específica (ASE: As/g raíz (m<sup>2</sup>/g)).

### **Evaluación del estado hídrico de la planta**

Con la finalidad de evaluar posibles cambios en el estado hídrico de *Oyedaea verbesinoides* producto del empleo de los residuos vegetales y la aplicación de diferentes regímenes hídricos, se incluyó la determinación del potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ) y el contenido de agua foliar (CAF). El  $\Psi$  se determinó entre las 6 y 7 am, haciendo uso de una cámara de presión. La evaluación del CAF se realizó llevando a cabo el siguiente protocolo:

Se cortaron discos de las hojas, evitando cortar la nervadura y seguidamente se determinó su peso fresco (Pf). Posteriormente se colocaron los discos en una estufa a 80°C durante 24 horas para luego determinar su peso seco (Ps). Finalmente se obtuvo el CAF aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{CAF (g/área)} = \frac{\text{Pf} - \text{Ps}}{\text{área del disco}}$$

Debido a dificultades técnicas, el potencial hídrico de la planta pudo ser determinado solo para los tres últimos meses de muestreos (90, 120 y 150 días de experimento). Asimismo, el CAF pudo determinarse a partir del segundo muestreo (30 días).

### **Determinación del contenido de nitrógeno total foliar (Ntf)**

Con la finalidad de evaluar el estado nutricional de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la influencia de los residuos vegetales y la aplicación de dos regímenes hídricos, la determinación del Ntf fue realizada.

El Ntf fue determinado a través del método de Kjeldahl. Para el análisis se tomaron 50 mg de material vegetal seco, el cual fue digerido utilizando 3 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y una medida de catalizador de selenio, a una temperatura de 360° C, durante 2 horas. Posteriormente se le agregó a cada muestra 25 mL de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> al 2 % y 6 gotas de reactivo de Corway y fueron destiladas programando el equipo Kjeltec System con 20 mL de H<sub>2</sub>O destilada y 20 mL de NaOH al 40% por 3 minutos. Luego se titularon las muestras destiladas con HCl 0,01N, hasta que la solución virara a color rosado. Finalmente, el Nt, se obtuvo a través de la siguiente fórmula:

$$\text{mg N/g (m.v.)} = 0.14 \times \text{mL HCl/g (m.v.)}$$

(m.v. : peso seco del material vegetal )

El Nt, fue determinado para el muestreo 1, 4 y 6 (0, 90 y 150 días de experimento).

## **Análisis estadísticos**

La alta variabilidad encontrada en los datos generó limitaciones al realizar los análisis estadísticos. Cada tratamiento con residuo fue comparado con el tratamiento control. Dentro de un mismo tratamiento con residuo se realizaron comparaciones entre los riegos. Ambas comparaciones se hicieron para cada tiempo de muestreo empleando para ello un análisis de varianza de una vía. En el caso de que los datos no pudieron ser normalizados, fue empleada una prueba no paramétrica (Kruskal Wallis). Una prueba de Tukey fue empleada para la separación de las medias. Los análisis fueron llevados a cabo empleando el paquete estadístico STATISTICA 10, a un nivel de significancia del 95%.

## RESULTADOS

### Humedad del suelo

En la figura 1, se muestran los resultados obtenidos para el porcentaje de humedad del suelo (%Hs) en el tratamiento con vástago de cambur y control, en ambos tipos de riego: dos veces por semana (VR2S, CoR2S) y quincenal (VRQ, CoRQ). En T0, el %Hs en el tratamiento con vástago de cambur resultó significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) que lo obtenido en el control. Posteriormente el valor en VR2S se mantuvo oscilando sin presentar diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) respecto a CoR2S hasta los 120 días. Sin embargo, al final del ensayo (150 días) el %Hs fue significativamente menor ( $p < 0,05$ ) en VR2S.

Bajo el tratamiento VRQ, el %Hs presentó una marcada disminución luego de T0. Este decrecimiento se mantuvo hasta los 60 días, a partir de los cuales los valores se hicieron constantes ( $p < 0,05$ ) hasta el final del experimento. Para CoRQ una disminución en el %Hs hacia los 60 días, también fue observada. A partir de entonces, hubo un aumento en CoRQ más no estadísticamente significativo. No obstante CoRQ alcanzó un %HS significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) a lo obtenido en VRQ, al final del experimento.

Cuando se compararon los regímenes hídricos, se observó que el riego quincenal condujo a un decrecimiento significativo ( $p < 0,05$ ) en la variable analizada a partir de los 60 días, tanto los tratamientos con vástago de cambur (VRQ) y control (CoRQ) (Cuadro 1).

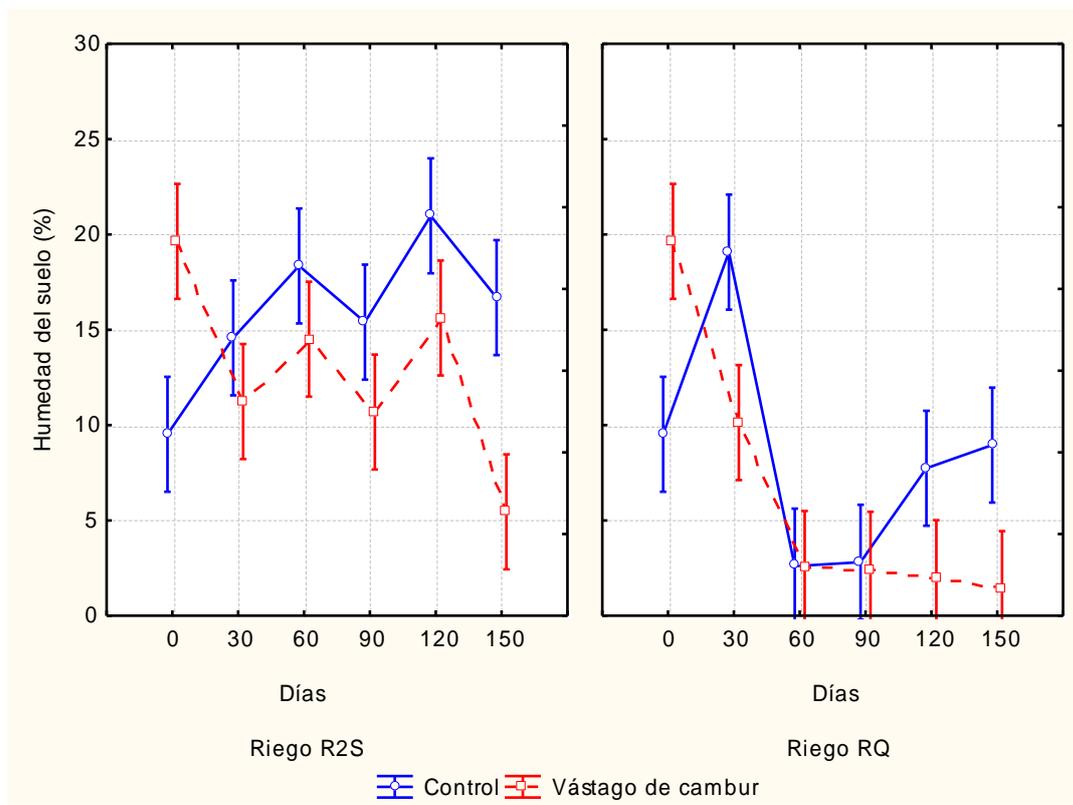


Figura 2. Variaciones en el porcentaje de humedad del suelo tratado con residuo vástago de cambur bajo dos tipos de riego. Valores representan las medias de n=30.

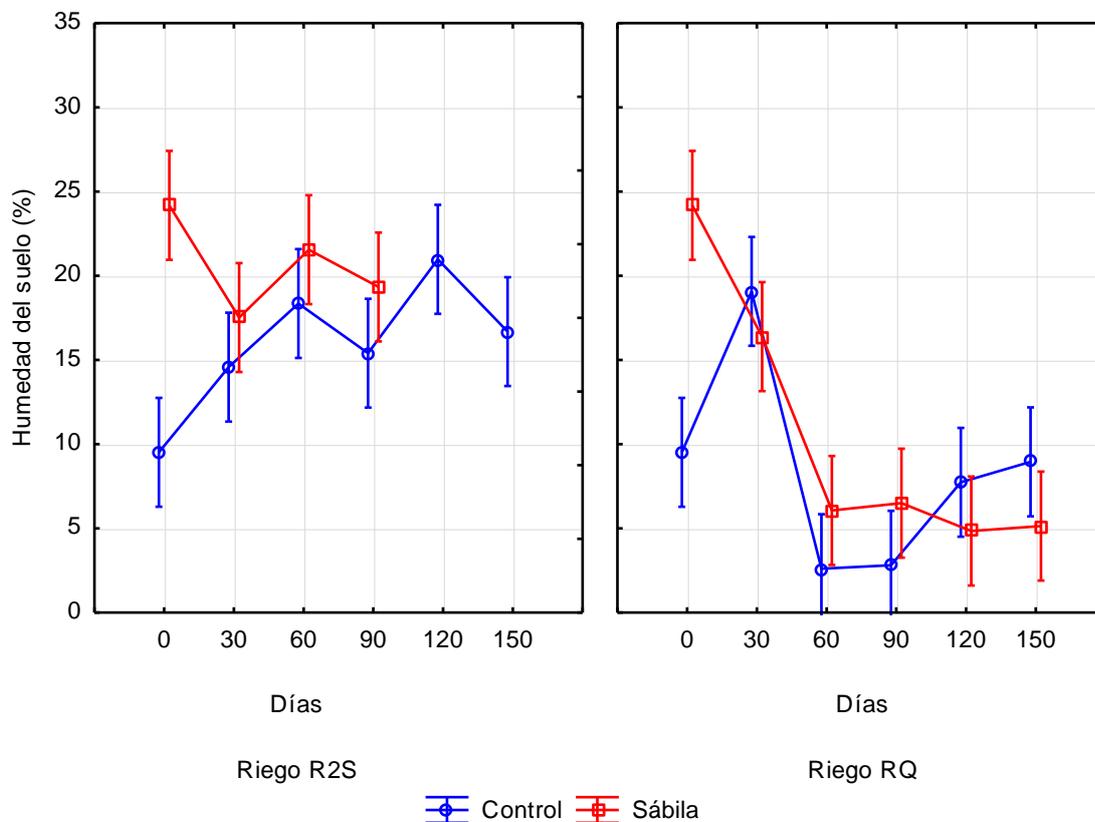
Cuadro 2. Comparaciones estadísticas de valores medios del porcentaje de humedad del suelo tratado con residuo vástago de cambur bajo dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

		Riego R2S	Riego RQ
Días	Tratam.		
0	Control	Ba 3	Ba 2
	Vastago	Aa 1	Aa 1
30	Control	Aa 13	Aa 1
	Vastago	Aa 12	Ba 2
60	Control	Aa 12	Ab 3
	Vastago	Aa 12	Ab 3
90	Control	Aa 12	Ab 3
	Vastago	Aa 12	Ab 3
120	Control	Aa 2	Ab 23
	Vástago	Aa 12	Bb 3
150	Control	Aa 12	Aa 23
	Vástago	Ba 2	Bb 3

Los resultados en el %Hs tratado con residuo de sábila, así como los del tratamiento control para los dos regímenes hídricos (SR2S, CoR2S; SRQ, CoRQ), son mostrados en la figura 2. En cuanto al uso de este residuo, es importante resaltar que en el tratamiento con riego de dos veces por semana (SR2S) condujo a una alta mortalidad de las plantas en las fases iniciales del mismo, por lo que el muestreo de las respectivas réplicas solo fue posible hasta los 90 días del ensayo.

En T0, el %Hs en el tratamiento con sábila mostró un valor significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) que lo obtenido en el control. A partir de entonces, en el SR2S el valor se mantuvo constante hasta los 90 días, sin mostrar diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) respecto a CoR2S. El %Hs en el SRQ tendió a disminuir hasta los 90 días pero sin presentar diferencias significativas. A partir de entonces, los valores se mantuvieron constantes. Al final del ensayo, ninguna diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) fue obtenida entre el SRQ y CoRQ.

Al comparar los regímenes hídricos para el tratamiento con sábila (SR2S vs SRQ), se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el %Hs a partir de los 60 días, esta tendencia se mantuvo hasta los 90 días, momento hasta donde pudieron ser muestreadas las réplicas en SR2S (Cuadro 2).



**Figura 3. Variaciones en el porcentaje de humedad del suelo tratado con residuo de sábila bajo dos tipos de riego.**

**Cuadro 3. Comparaciones estadísticas de valores medios del porcentaje de humedad del suelo tratado con residuo de sábila bajo dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).**

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Ba 3	Ba 2
	Sábila	Aa 1	Aa 1
30	Control	Aa 13	Aa 1
	Sábila	Aa 1	Aa 12
60	Control	Ba 12	Bb 3
	Sábila	Aa 1	Ab 12
90	Control	Aa 12	Ab 3
	Sábila	Aa 1	Ab 2
120	Control	-	A 23
	Sábila	-	A 2
150	Control	-	A 23
	Sábila	-	A 2

## **Biomasa**

Los resultados de la biomasa total (Bt) de las plantas cultivadas bajo suelo tratado con vástago de cambur, así como bajo el suelo control en los dos regímenes hídricos empleados, son mostrados en la figura 3. En T0, la Bt para VR2S, no mostró diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) respecto al control. No obstante, luego de los 60 días, un notable incremento ( $p < 0,05$ ) en la Bt de VR2S respecto al control fue obtenido. Esta tendencia se mantuvo hasta el final del experimento.

En el VRQ el valor de la Bt presentó una tendencia similar a lo obtenido en VR2S. Sin embargo, el incremento observado en este parámetro a partir de los 60 días, resultó menos pronunciado que lo obtenido en VR2S. Al final del experimento la Bt en VRQ resultó significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) al valor obtenido en CoRQ.

Cuando la Bt obtenida fue comparada entre riegos el VR2S resultó significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) respecto a VRQ a partir de los 90 días (Cuadro 3).

En la figura 4, se observan los resultados de Bt en el tratamiento con residuos de sábila. En T0 ninguna diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en la Bt fue encontrada entre los tratamientos tratamiento con sábila y control. A partir del tiempo inicial, la Bt en el SR2S se mantuvo con valores por debajo del control hasta los 60 días. Sin embargo a los 90 días, este valor se hizo similar a lo obtenido en el control. En el caso del riego quincenal, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre SRQ y CoRQ a lo largo del experimento. En general no se encontraron diferencias cuando los regímenes hídricos fueron contrastados (Cuadro 4).

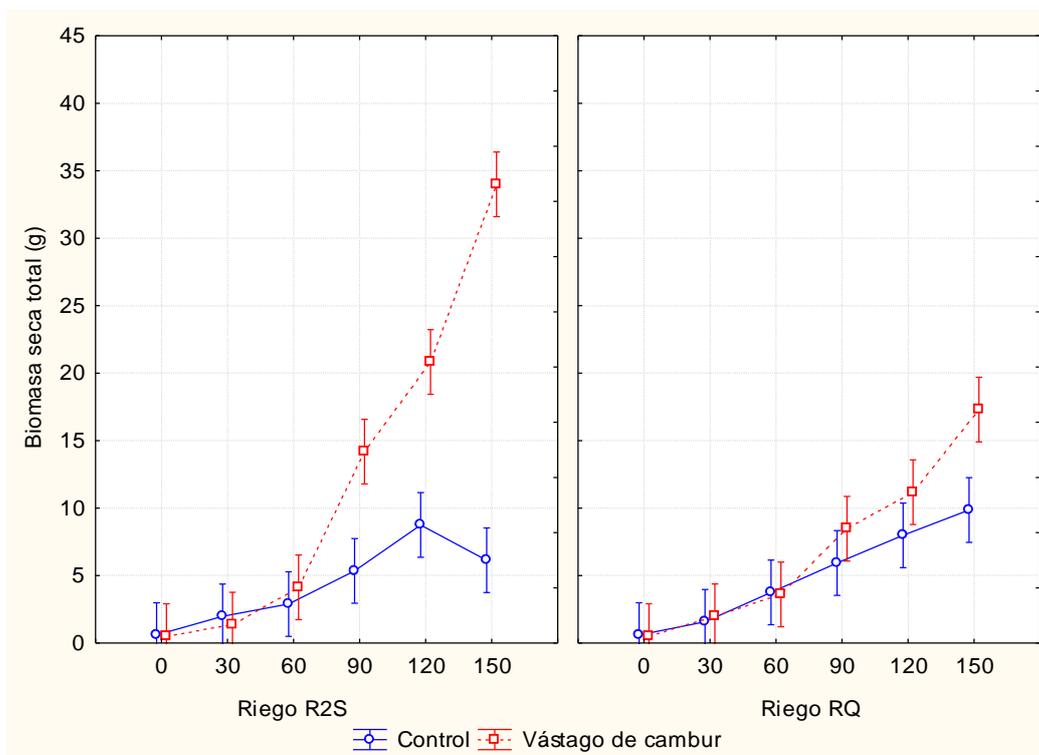
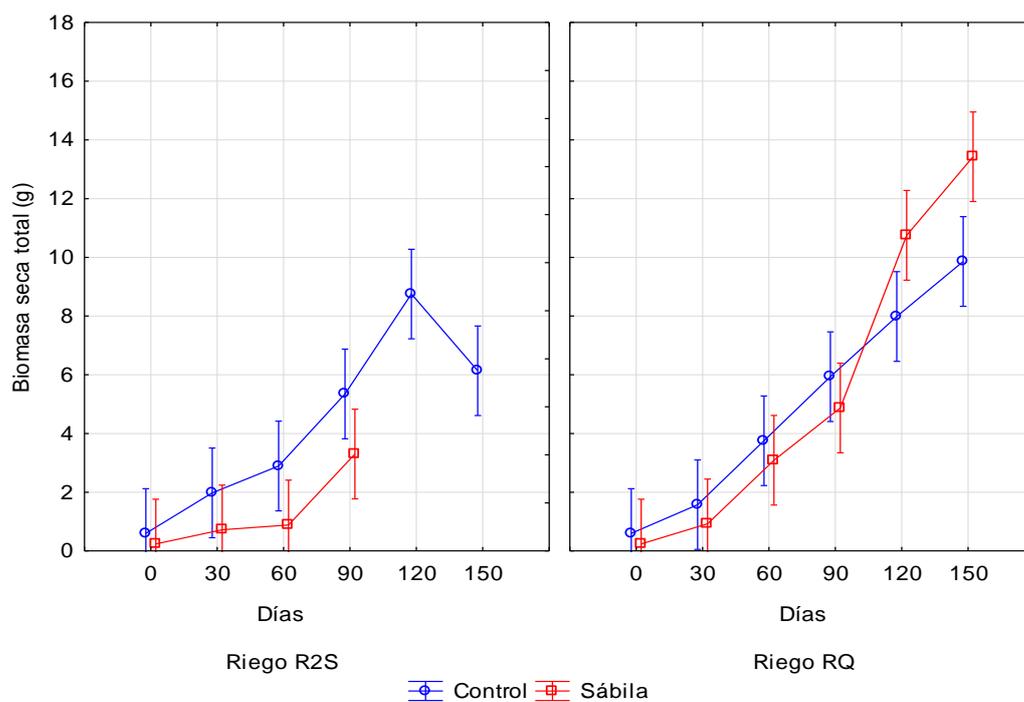


Figura 4. Variaciones en la biomasa total de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 4. Comparaciones estadísticas de valores medios de la biomasa total de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

		Riego R2S	Riego RQ
Días	Tratam.		
0	Control	Aa 3	Aa 3
	Vastago	Aa 3	Aa 3
30	Control	Aa 23	Aa 23
	Vastago	Aa 3	Aa 3
60	Control	Aa 123	Aa 123
	Vastago	Aa 3	Aa 3
90	Control	Ba 12	Aa 123
	Vastago	Aa 2	Ab 2
120	Control	Ba 1	Aa 12
	Vástago	Aa 2	Ab 2
150	Control	Ba 12	Ba 1
	Vástago	Aa 1	Ab 1



**Figura 5. Variaciones en la biomasa total de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.**

**Cuadro 5. Comparaciones estadísticas de valores medios de la biomasa total de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).**

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Aa 3	Aa 3
	Sábila	Aa 2	Aa 2
30	Control	Aa 23	Aa 23
	Sábila	Ba 12	Aa 2
60	Control	Aa 123	Aa 123
	Sábila	Bb 12	Aa 2
90	Control	Aa 1	Aa 123
	Sábila	Aa 2	Aa 2
120	Control	-	A 12
	Sábila	-	A 1
150	Control	-	A 1
	Sábila	-	A 1

## **Relación raíz/vástago**

La figura 5, muestra los valores de la relación raíz/vástago (R/V) de las plantas cultivadas en el suelo tratado con residuos de vástago de cambur y el suelo control, bajo los dos tipos de riego. No se encontraron diferencias entre ambos tratamientos en T0. A partir del tiempo inicial, los valores en VR2S se mantuvieron similares hasta el final del experimento, siendo significativamente menores ( $p < 0,05$ ) respecto a CoR2S. Bajo el riego quincenal, la R/V en el tratamiento con vástago de cambur, en general tendió a aumentar en el tiempo, alcanzando valores similares al control a partir de los 90 días.

La relación R/V mostró ser significativamente diferente cuando fueron comparados los riegos tanto para los tratamientos con vástago y control. El tratamiento VRQ fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) a VR2S a los 90 y 150 días. Por otra parte, CoR2S fue estadísticamente mayor ( $p < 0,05$ ) a CoRQ, a partir de los 90 días de experimento (Cuadro 5).

Los resultados de la relación R/V para el caso del tratamiento con residuos de sábila se observan en la figura 6. En T0, no se encontraron diferencias entre el tratamiento con sábila y control. A partir de T0, SR2S incrementó hasta los 90 días pero se mantuvo significativamente menor ( $p < 0,05$ ) a CoR2S. En el tratamiento SRQ, la relación R/V incrementó a los 30 días; sin embargo, luego tendió a disminuir hasta el final del experimento, donde resultó ser estadísticamente menor ( $p < 0,05$ ) a CoRQ. No se encontraron diferencias significativas cuando se compararon los riegos (Cuadro 6).

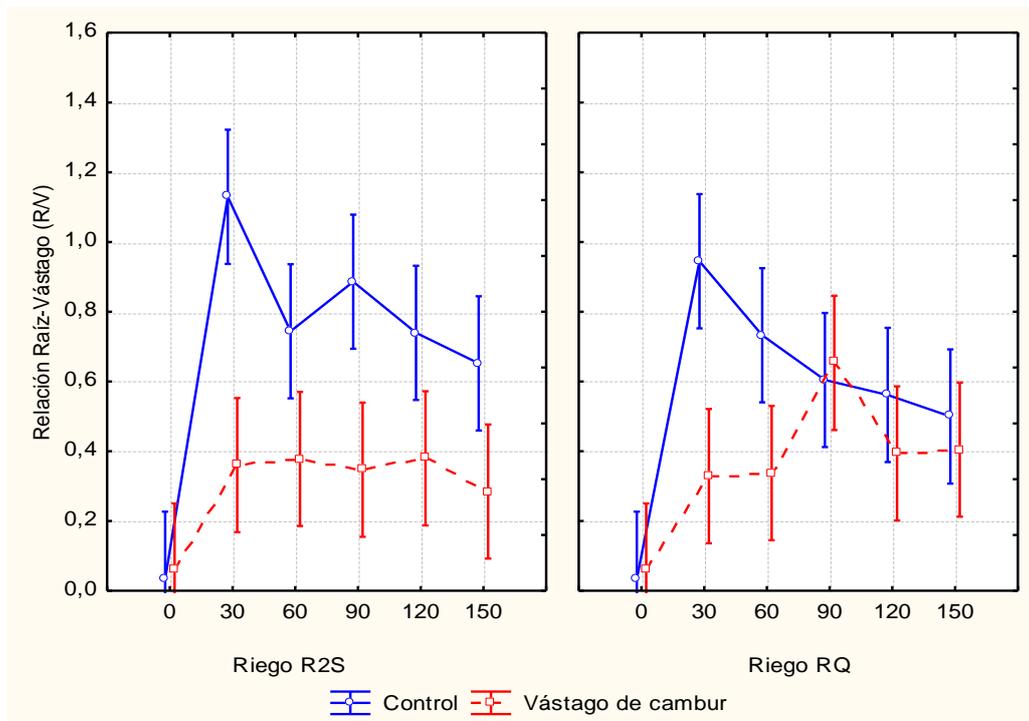


Figura 6. Variaciones en la relación raíz-vástago de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 6. Comparaciones estadísticas de valores medios de la relación raíz-vástago de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Aa 2	Aa 3
	Vástago	Aa 2	Aa 3
30	Control	Aa 1	Aa 1
	Vástago	Ba 12	Ba 2
60	Control	Aa 12	Aa 12
	Vástago	Ba 12	Ba 2
90	Control	Aa 1	Ab 123
	Vástago	Bb 12	Aa 1
120	Control	Aa 12	Ab 123
	Vástago	Ba 1	Aa 2
150	Control	Aa 12	Ab 23
	Vástago	Bb 12	Aa 12

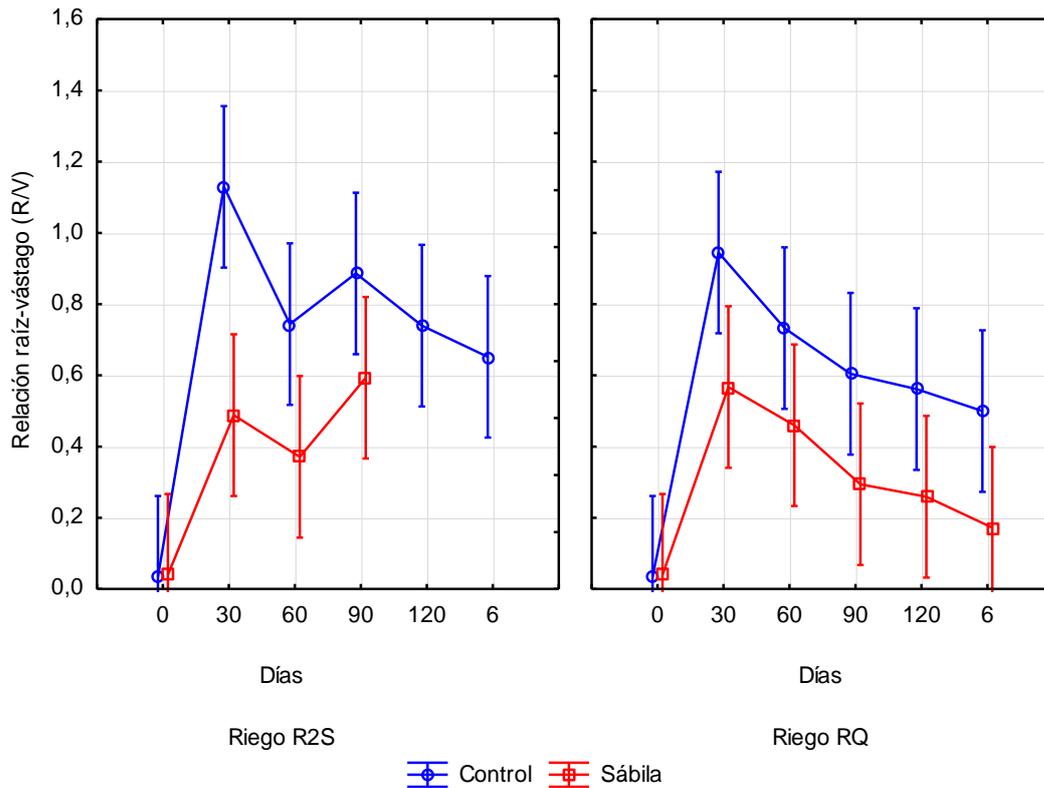


Figura 7. Variaciones en la relación raíz-vástago de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

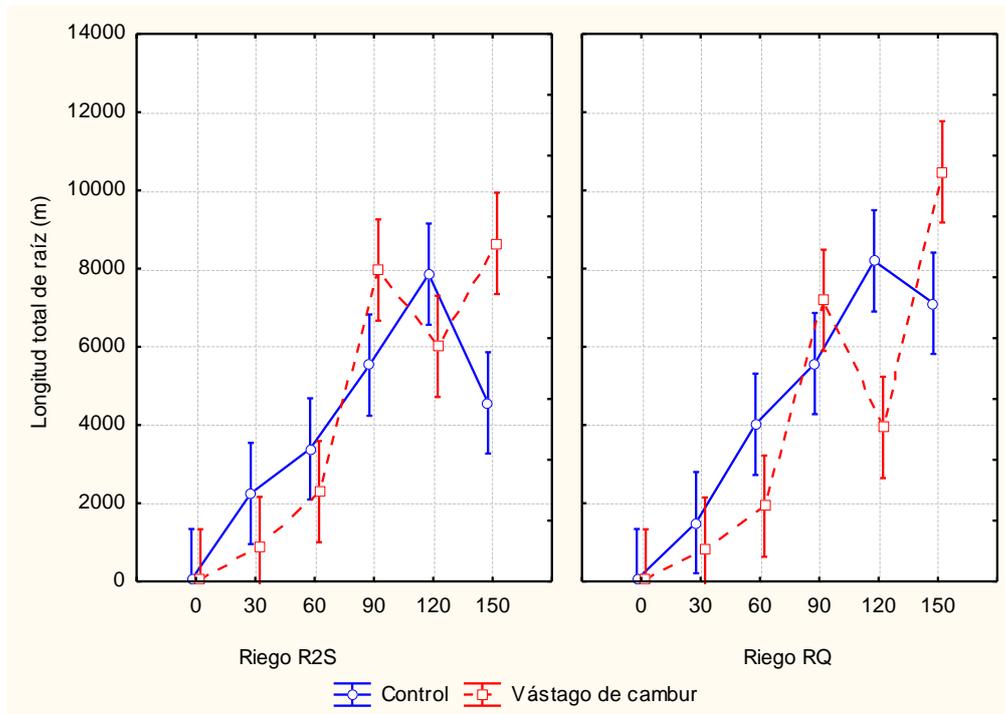
Cuadro 7. Comparaciones estadísticas de valores medios de la relación raíz-vástago de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Aa 2	Aa 3
	Sábila	Aa 2	Aa 4
30	Control	Aa 1	Aa 1
	Sábila	Aa 12	Aa 1
60	Control	Aa 12	Aa 12
	Sábila	Ba 12	Ba 12
90	Control	Aa 1	Aa 123
	Sábila	Aa 1	Ba 23
120	Control	-	A 123
	Sábila	-	B 23
150	Control	- 12	A 23
	Sábila	-	B 34

## **Longitud total de raíces**

En la figura 7, se muestran los resultados de la longitud total de las raíces (Lt) de las plantas cultivadas bajo los tratamientos con vástago de cambur y control, en los dos regímenes hídricos. No se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ambos tratamientos en T0. Posteriormente, VR2S mostró un incremento progresivo hasta los 150 días, aunque resultó similar ( $p > 0,05$ ) a CoR2S. En el caso del riego quincenal, la tendencia de VRQ fue similar a VR2S respecto al control. No se encontraron diferencias entre los riegos para el tratamiento con vástago de cambur ni para el control (Cuadro 7).

Los resultados de Lt de las raíces para el tratamiento con sábila, se observan en la figura 8. En T0, no se obtuvieron diferencias significativas entre el tratamiento con sábila y el control. Esta tendencia se mantuvo hasta los 30 días, a partir de los cuales SR2S mostró ser significativamente menor a CoR2S hasta los 90 días. En el riego quincenal, se observó que los valores de Lt para el tratamiento con sábila, incrementaron hasta los 30 días a partir de los cuales se mantuvo con valores similares hasta el final del experimento; sin embargo, fue significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) a CoRQ a partir de los 120 días. En general no se encontraron diferencias entre los dos tipos de riego (Cuadro 8).



**Figura 8.** Variaciones en la longitud total de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

**Cuadro 8.** Comparaciones estadísticas de valores medios de la longitud total de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S		Riego RQ	
0	Control	Aa	2	Aa	3
	Vastago	Aa	4	Aa	4
30	Control	Aa	12	Aa	3
	Vastago	Aa	34	Ba	34
60	Control	Aa	12	Aa	123
	Vastago	Aa	3	Aa	34
90	Control	Ba	1	Aa	12
	Vastago	Aa	12	Aa	12
120	Control	Aa	1	Aa	1
	Vástago	Aa	2	Ba	23
150	Control	Ba	12	Ba	12
	Vástago	Aa	1	Aa	1

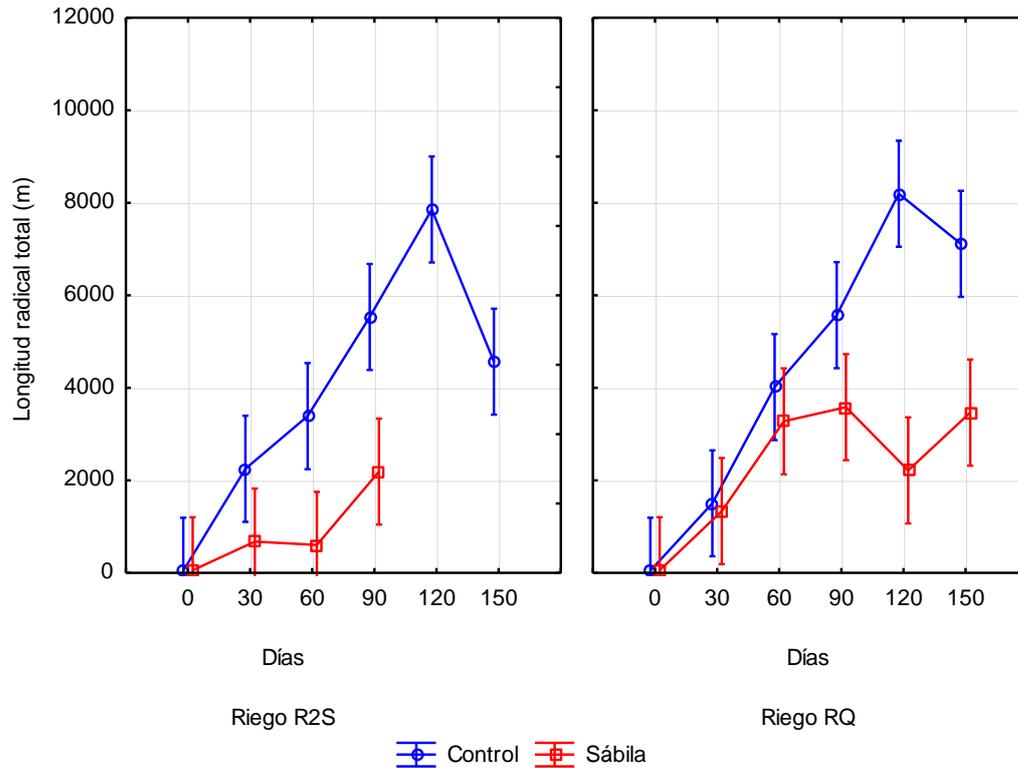


Figura 9. Variaciones en la longitud total de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 9. Comparaciones estadísticas de valores medios de a longitud total de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S		Riego RQ	
		Letra	Número	Letra	Número
0	Control	Aa	2	Aa	3
	Sábila	Aa	2	Aa	2
30	Control	Aa	12	Aa	3
	Sábila	Aa	12	Aa	12
60	Control	Aa	12	Aa	123
	Sábila	Bb	12	Aa	1
90	Control	Aa	1	Aa	12
	Sábila	Ba	1	Aa	1
120	Control	-	-	A	1
	Sábila	-	-	B	12
150	Control	-	-	A	12
	Sábila	-	-	B	1

## **Área superficial de raíces**

Los resultados del área superficial de las raíces (AS) para el tratamiento con vástago de cambur, se observan en la figura 9. En T0, no se obtuvieron diferencias significativas entre el tratamiento con vástago de cambur y el control. A partir del tiempo inicial, VR2S y VRQ experimentaron un aumento continuo del AS hasta el final del experimento, resultando significativamente mayores ( $p < 0,05$ ) al control. En general no se encontraron diferencias significativas cuando los riegos fueron comparados (Cuadro 9).

Los resultados del AS para el tratamiento con sábila, se observan en la figura 10. Inicialmente no se encontraron diferencias entre el tratamiento con sábila y el control. Luego de T0, el AS de SR2S, tendió a aumentar en el tiempo aunque resultó significativamente menor ( $p < 0,05$ ) al control a partir de los 60 días. Un comportamiento similar fue observado en SRQ, en el cual hacia el final del experimento SRQ fue significativamente menor ( $p < 0,05$ ) a CoRQ (Cuadro 10)

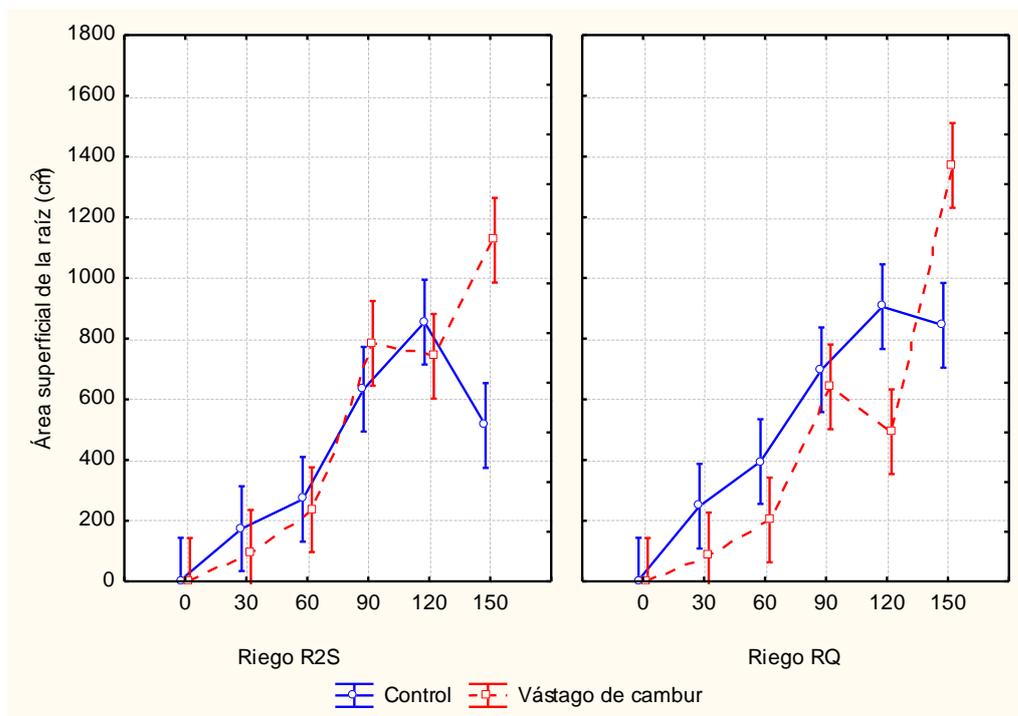


Figura 10. Variaciones del área superficial de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 10. Comparaciones estadísticas de valores medios del área superficial de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia de residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Aa 3	Aa 2
	Vastago	Aa 2	Aa 4
30	Control	Aa 23	Aa 12
	Vastago	Aa 2	Ba 4
60	Control	Aa 123	Aa 12
	Vastago	Aa 2	Aa 34
90	Control	Aa 12	Aa 1
	Vastago	Aa 1	Aa 2
120	Control	Aa 1	Aa 1
	Vástago	Aa 1	Aa 23
150	Control	Bb 12	Ba 1
	Vástago	Aa 1	Aa 1

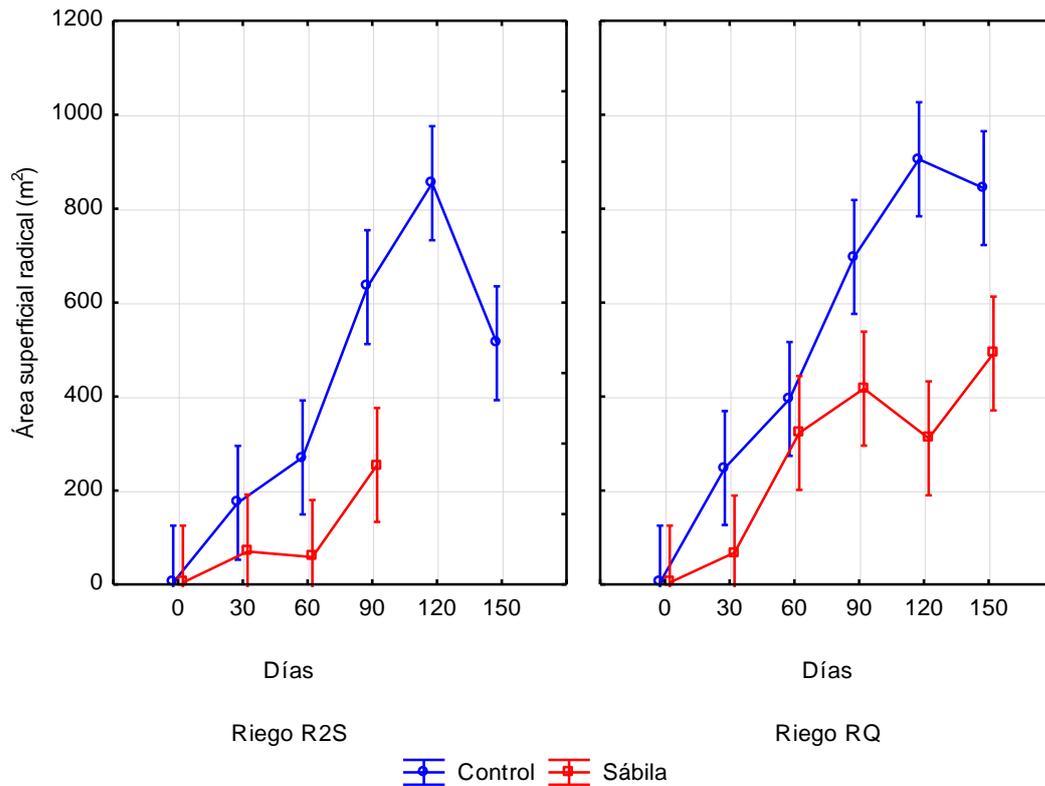


Figura 11. Variaciones del área superficial de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila y dos tipos de riego.

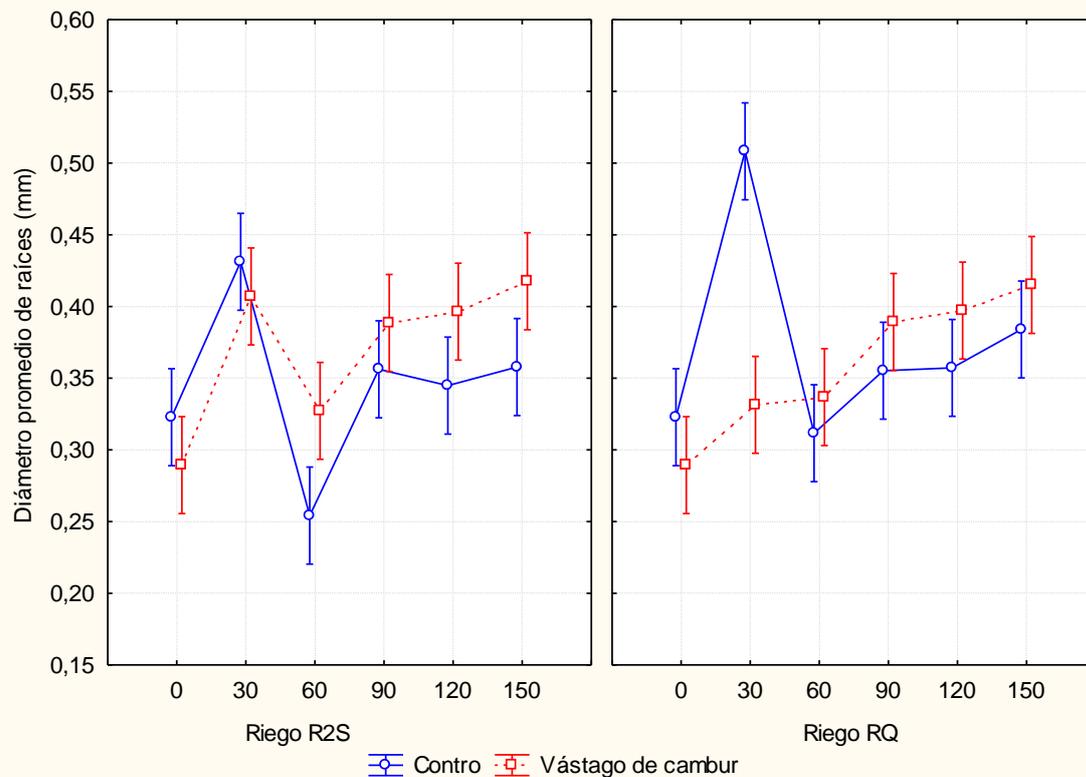
Cuadro 11. Comparaciones estadísticas de valores medios del área superficial de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Aa 2	Aa 3
	Sábila	Aa 2	Aa 2
30	Control	Aa 12	Aa 3
	Sábila	Aa 12	Aa 12
60	Control	Aa 12	Aa 123
	Sábila	Bb 12	Aa 1
90	Control	Aa 1	Aa 12
	Sábila	Ba 1	Aa 1
120	Control	-	A 1
	Sábila	-	B 12
150	Control	-	A 12
	Sábila	-	B 1

### **Diámetro promedio de raíces**

Los resultados del diámetro promedio de las raíces (Dp) de *Oyedaea verbesinoides* para el tratamiento con vástago de cambur, se observan en la figura 11. No se encontraron diferencias entre VR2S y VRQ respecto al controlen T0. En general el Dp de los tratamientos con vástago de cambur y el control tendieron a mantenerse constante en el tiempo; sin embargo, tanto VR2S como VRQ, mostraron Dp significativamente mayores ( $p < 0,05$ ) al control hacia el final del experimento. No se encontraron diferencias significativas cuando se compararon ambos tipos de riego (Cuadro 11).

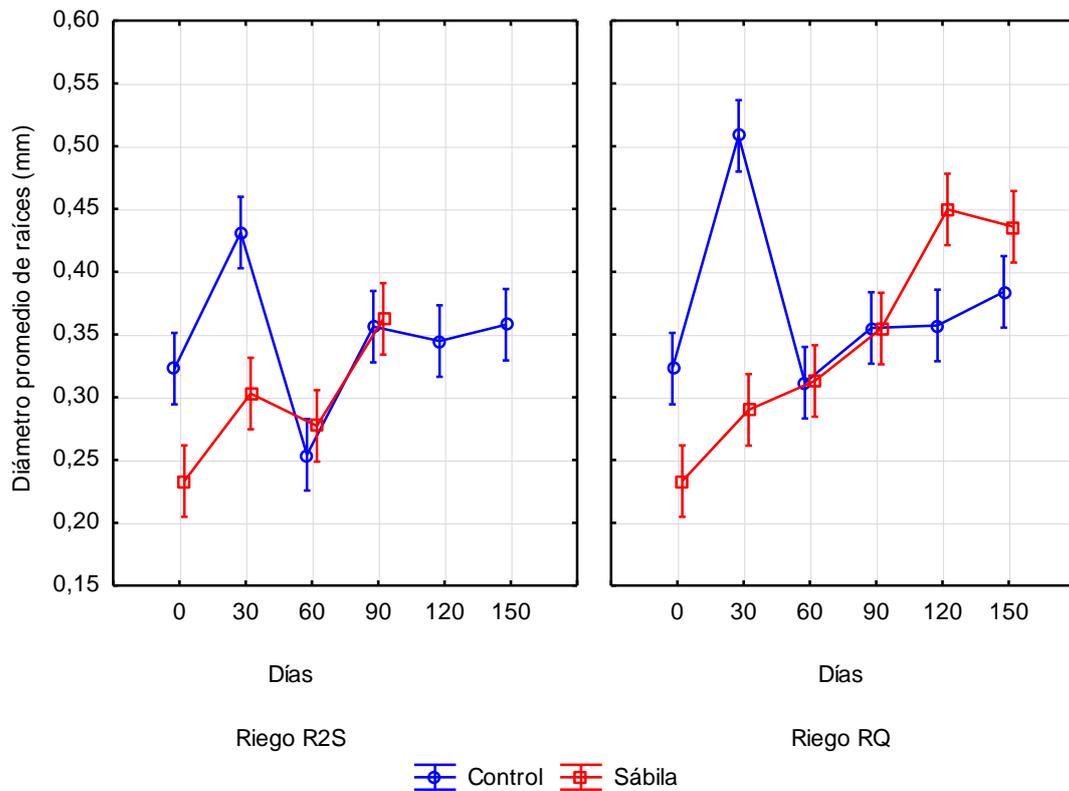
Los resultados del Dp para el tratamiento con sábila, se observan en la figura 12. Se encontraron diferencias en T0 cuando se compararon los tratamientos con sábila y el control, siendo SR2S y SRQ significativamente menores al mismo ( $p < 0,05$ ). Luego de T0 el Dp en SR2S y SRQ tendió a incrementar en el tiempo, resultando estadísticamente mayor ( $p < 0,05$ ) al control en el tratamiento con riego quincenal hacia el final del experimento. Cuando los riegos fueron comparados, no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 12).



**Figura 12.** Variaciones del diámetro promedio de las raíces de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

**Cuadro 12.** Comparaciones estadísticas de valores medios del diámetro promedio de las raíces de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S		Riego RQ	
		Letra	Número	Letra	Número
0	Control	Aa	12	Aa	2
	Vastago	Aa	1	Aa	4
30	Control	Aa	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Bb	34
60	Control	Bb	2	Aa	2
	Vastago	Aa	1	Aa	234
90	Control	Aa	12	Ba	2
	Vastago	Aa	1	Aa	123
120	Control	Ba	12	Ba	2
	Vástago	Aa	1	Aa	12
150	Control	Ba	12	Ba	2
	Vástago	Aa	1	Aa	1



**Figura 13.** Variaciones en diámetro promedio de las raíces de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

**Cuadro 13.** Comparaciones estadísticas de valores medios del diámetro promedio de las raíces de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Aa 2	Aa 3
	Sábila	Ba 2	Ba 2
30	Control	Aa 12	Aa 3
	Sábila	Ba 12	Ba 12
60	Control	Aa 12	Aa 123
	Sábila	Ab 12	Aa 1
90	Control	Aa 1	Aa 12
	Sábila	Aa 1	Aa 1
120	Control	-	B 1
	Sábila	-	A 12
150	Control	-	B 12
	Sábila	-	A 1

### **Longitud total específica de raíces**

En las figuras 13 y 14, se presentan los resultados de la variable longitud radical específica (LRE) para las plantas cultivadas bajo suelo con residuos vegetales y suelo control en los dos regímenes hídricos. La LRE tendió a mantenerse constante en el tiempo tanto para los tratamientos con residuos vegetales como para el control. No se encontraron diferencias significativas en T0. En general, no se obtuvieron diferencias respecto al control para los tratamientos con residuos vegetales. No se obtuvieron diferencias significativas cuando los riegos fueron comparados (Cuadros 13 y 14).

### **Área superficial específica de raíces**

En las figuras 15 y 16, se presentan los resultados del área superficial de la raíz (ASE) para las plantas cultivadas bajo suelo con residuos vegetales y suelo control en los dos regímenes hídricos. Similarmente a la LRE, la ASE tendió a mantenerse constante en el tiempo tanto para los tratamientos con residuos vegetales como para el control. No se encontraron diferencias significativas en T0. En general, no se obtuvieron diferencias respecto al control para los tratamientos con residuos vegetales. No se obtuvieron diferencias significativas cuando los riegos fueron comparados (Cuadros 15 y 16).

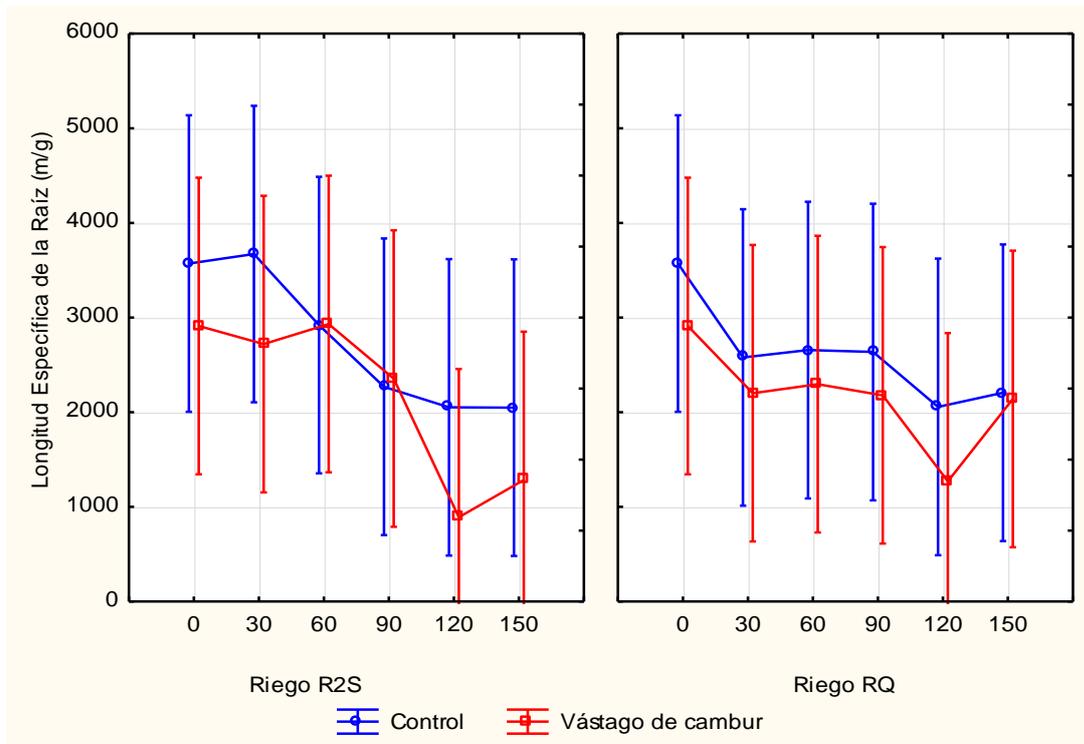


Figura 14. Variaciones en la longitud radical específica de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 14. Comparaciones estadísticas de valores medios de la longitud radical específica de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S		Riego RQ	
		Letra	Número	Letra	Número
0	Control	Aa	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Aa	1
30	Control	Aa	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Aa	1
60	Control	Aa	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Ba	1
90	Control	Ba	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Aa	1
120	Control	Aa	1	Aa	1
	Vástago	Ba	1	Ba	1
150	Control	Aa	1	Aa	1
	Vástago	Aa	1	Aa	1

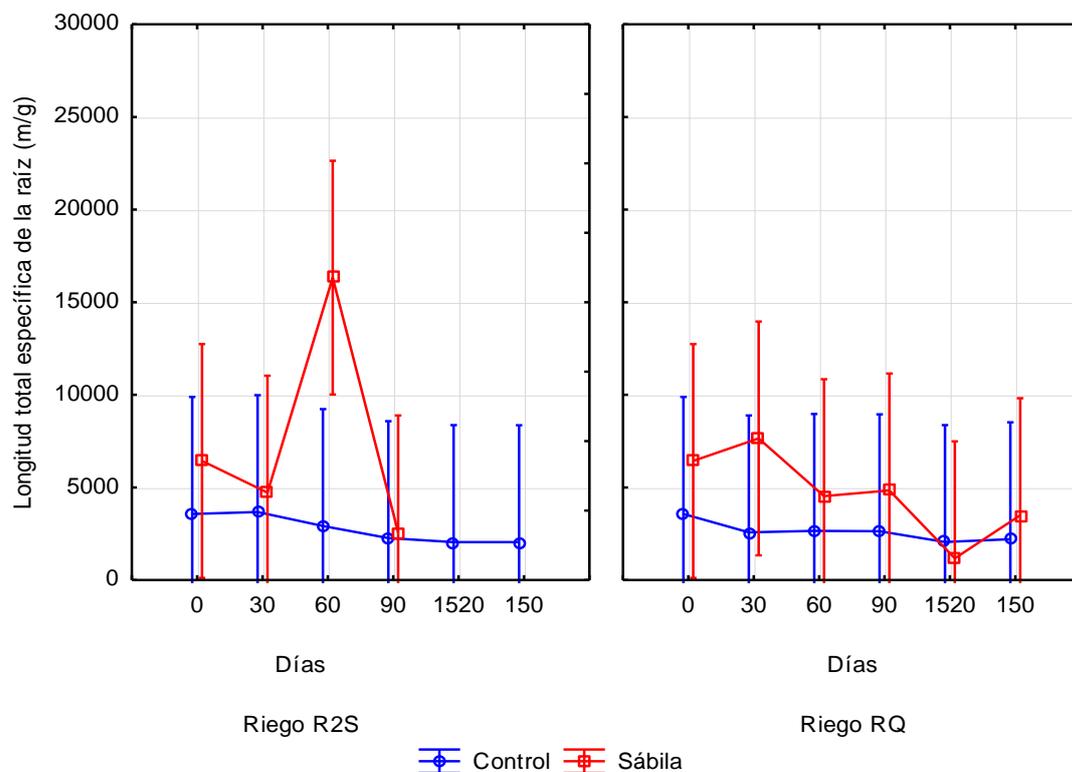
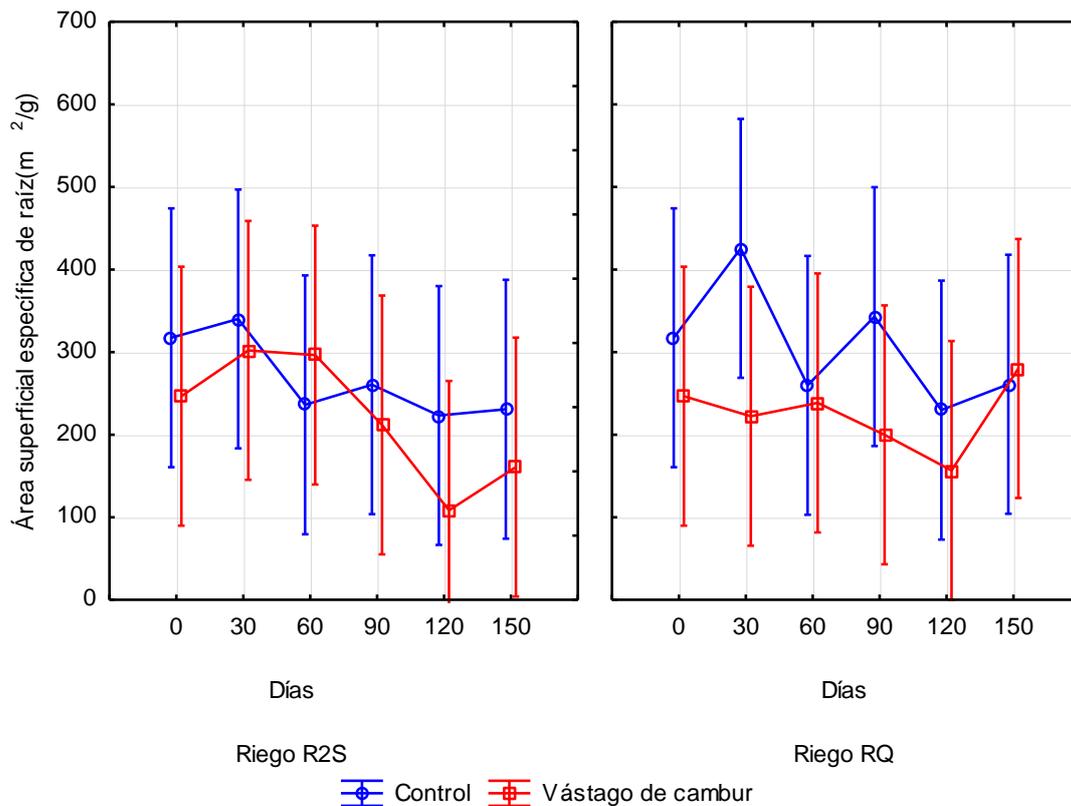


Figura 15. Variaciones en la longitud radical específica de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 15. Comparaciones estadísticas de valores medios de la longitud radical específica de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

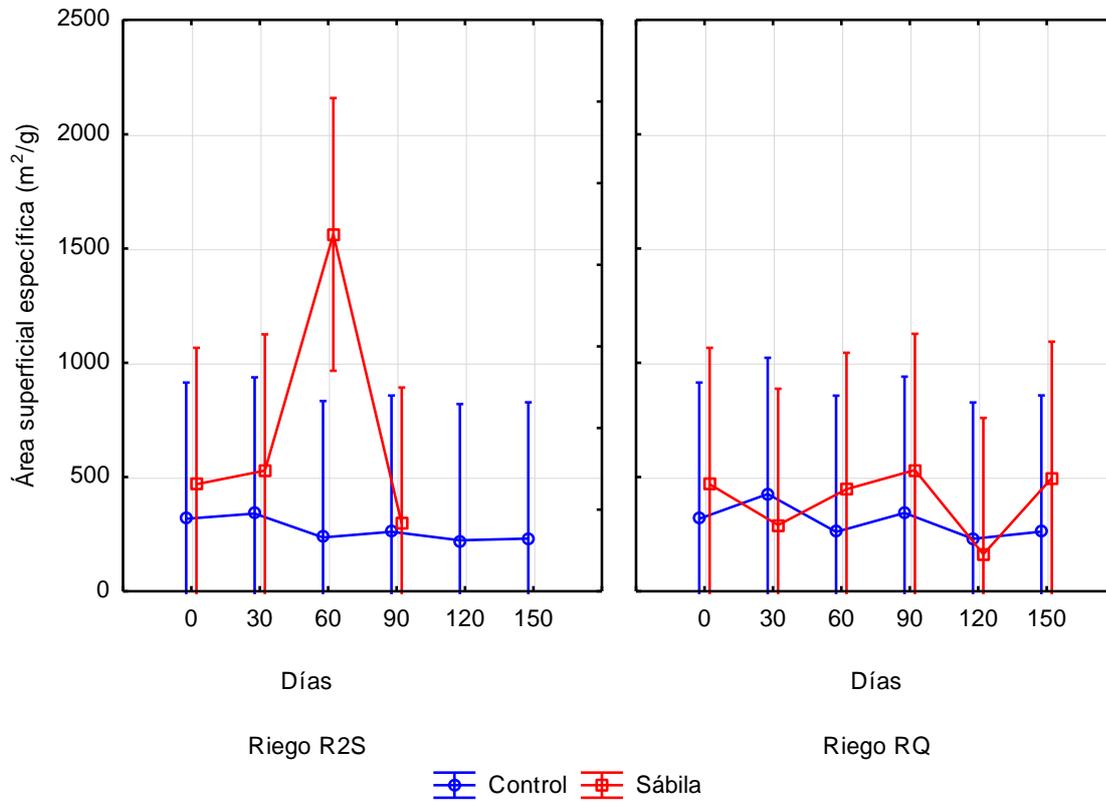
Días	Tratam.	Riego R2S		Riego RQ	
		Letra	Número	Letra	Número
0	Control	Aa	1	Aa	1
	Sábila	Aa	1	Aa	1
30	Control	Aa	1	Aa	1
	Sábila	Aa	1	Aa	1
60	Control	Aa	1	Aa	1
	Sábila	Ab	1	Aa	1
90	Control	Aa	1	Aa	1
	Sábila	Aa	1	Aa	1
120	Control	-	-	A	1
	Sábila	-	-	A	1
150	Control	-	-	A	1
	Sábila	-	-	A	1



**Figura 16.** Variaciones en el área superficial específica de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

**Cuadro 16.** Comparaciones estadísticas de valores medios del área superficial específica de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S		Riego RQ	
		Letra	Número	Letra	Número
0	Control	Aa	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Aa	1
30	Control	Aa	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Aa	1
60	Control	Aa	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Ba	1
90	Control	Aa	1	Aa	1
	Vastago	Aa	1	Ba	1
120	Control	Aa	1	Aa	1
	Vástago	Ba	1	Ba	1
150	Control	Ab	1	Aa	1
	Vástago	Aa	1	Aa	1



**Figura 17. Variaciones en el área superficial específica de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.**

**Cuadro 17. Comparaciones estadísticas de valores medios del área superficial específica de la raíz de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).**

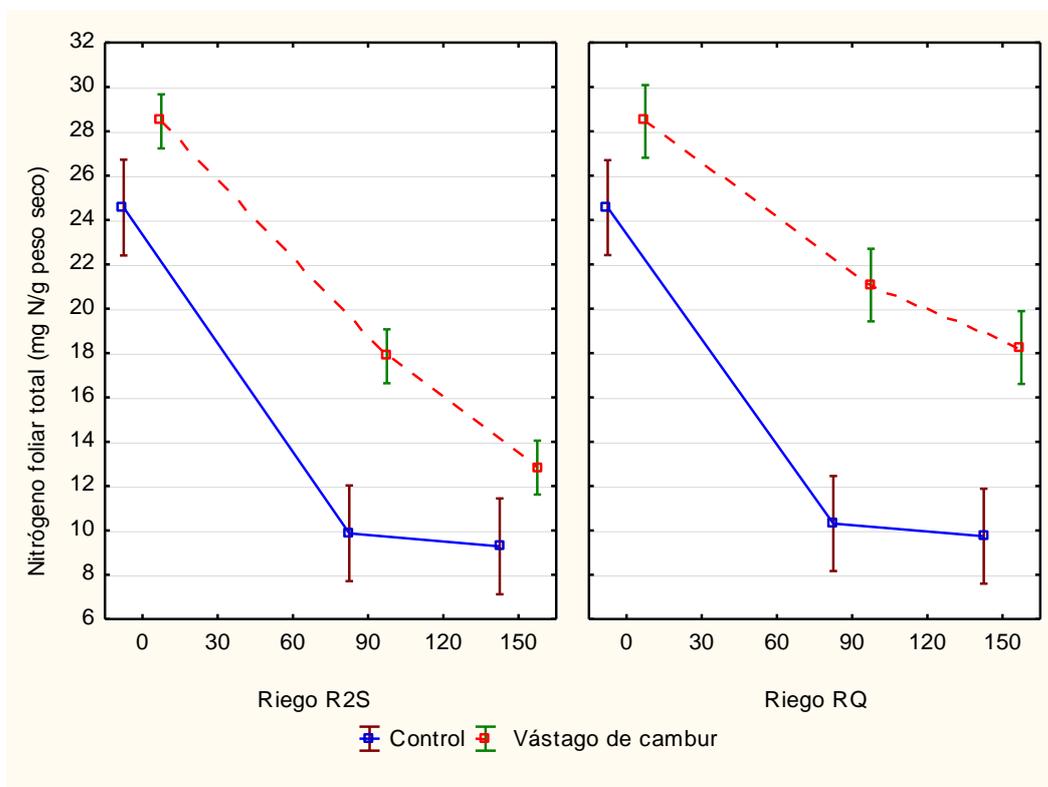
Días	Tratam.	Riego R2S		Riego RQ	
		Letra	Número	Letra	Número
0	Control	Aa	1	Aa	1
	Sábila	Aa	1	Aa	1
30	Control	Aa	1	Aa	1
	Sábila	Aa	1	Ba	1
60	Control	Ba	1	Ba	1
	Sábila	Ab	1	Aa	1
90	Control	Aa	1	Aa	1
	Sábila	Aa	1	Aa	1
120	Control	-	-	A	1
	Sábila	-	-	A	1
150	Control	-	-	A	1
	Sábila	-	-	A	1

## **Nitrógeno total foliar**

La figura 17, muestra los resultados para el Ntf de las plantas que crecieron bajo residuos de vástago de cambur en ambos regímenes hídricos. Inicialmente (T0), no se obtuvieron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos con vástago y control. En los muestreos posteriores, tanto VR2S como VRQ, se mantuvieron significativamente ( $p < 0,05$ ) mayores al control. Cuando se compararon los riegos, no se obtuvo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los controles (CoR2S y CoRQ), no obstante, en la comparación de las plantas que crecieron bajo residuo de vástago de cambur, se encontró que a partir de T0, VR2S fue significativamente menor ( $p < 0,05$ ) a VRQ. El Ntf tanto en las plantas cultivadas en suelo con vástago de cambur como en las de control, tendió a decrecer en el tiempo (Cuadro 17).

Los resultados obtenidos para el Ntf de las plantas cultivadas bajo residuos de sábila, son mostrados en la figura 18. Inicialmente (T0), no se obtuvieron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos con sábila y control. A partir de entonces SR2S y SRQ se mantuvieron significativamente ( $p < 0,05$ ) mayores al control. En el caso de SRQ esta tendencia se mantuvo hasta el final de ensayo. Sin embargo, los valores de Ntf en SRQ permanecieron constantes en el tiempo (Cuadro 18).

No se obtuvieron diferencias significativas cuando los riegos fueron comparados.



**Figura 18.** Variaciones en el contenido de nitrógeno total foliar en *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

**Cuadro 18.** Comparaciones estadísticas de valores medios del contenido de nitrógeno total foliar en *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Aa 1	Aa 1
	Vastago	Aa 1	Aa 1
90	Control	Ba 2	Ba 2
	Vastago	Ab 2	Aa 12
150	Control	Ba 2	Ba 2
	Vástago	Ab 3	Aa 2

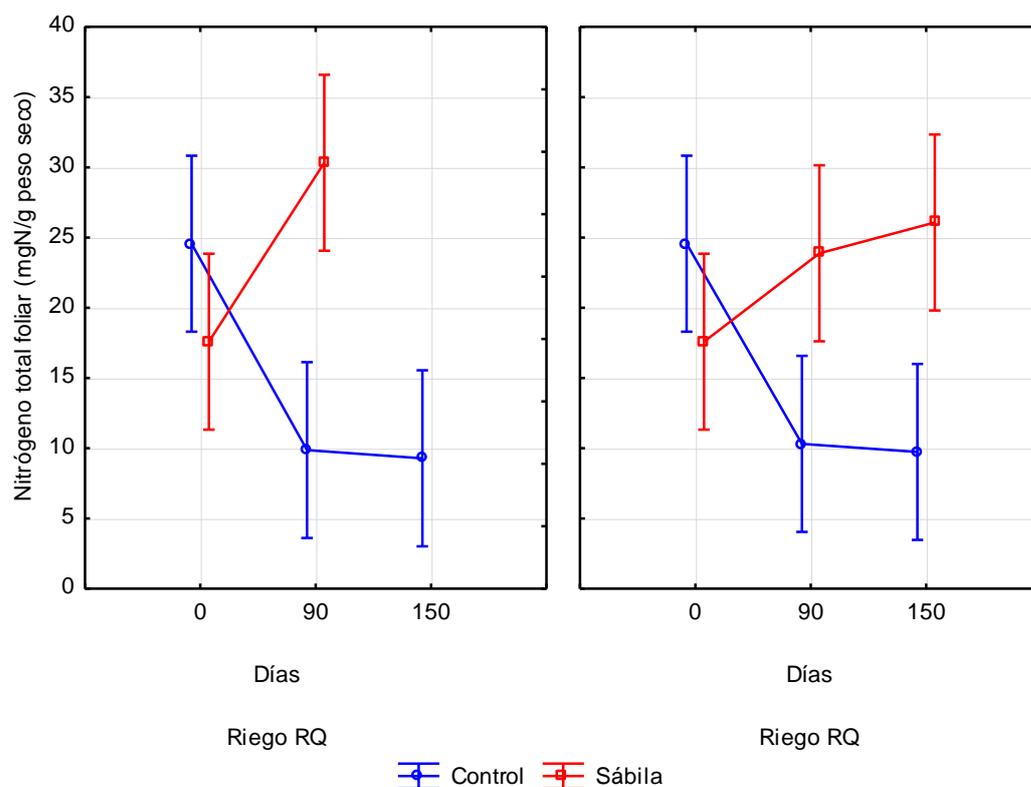


Figura 19. Variaciones en el contenido de nitrógeno total foliar en *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 19. Comparaciones estadísticas de valores medios del contenido de nitrógeno total foliar en *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
0	Control	Aa 1	Aa 1
	Sábila	Aa 1	Aa 1
90	Control	Ba 2	Ba 2
	Sábila	Aa 1	Aa 1
150	Control	-	B 2
	Sábila	-	A 1

## **Potencial hídrico y contenido de agua foliar**

En las figuras 19 y 20, se presentan los resultados de la variable potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ) para las plantas cultivadas bajo suelo con residuos vegetales y suelo control en los dos regímenes hídricos. Es preciso indicar que debido a dificultades técnicas, esta variable no pudo determinarse desde el inicio del experimento por lo que se observan los resultados a partir de los 90 días. En general, no se encontraron diferencias entre las plantas que crecieron bajo los residuos orgánicos con respecto al control en los dos tipos de riego ni cuando los mismos fueron comparados. El  $\Psi$  en las plantas se mantuvo constante en el tiempo tanto para las que crecieron bajo suelo control, como para las cultivadas bajo residuos orgánicos (Cuadro 19 y 20).

Un comportamiento similar a  $\Psi$  fue obtenido para el contenido de agua foliar (CAF) de las plantas, cuyos resultados son mostrados en las figuras 21 y 22. Para esta variable, se presentaron ciertas dificultades técnicas que limitaron su determinación solo a partir de los 30 días de experimento, donde en general, la variable se mantuvo constante a lo largo del tiempo bajo suelo control y suelo mezclado con residuos vegetales en ambos tipos de riego. Asimismo, no se encontraron diferencias entre las plantas bajo suelo control y las que crecieron bajo influencia de residuos vegetales.

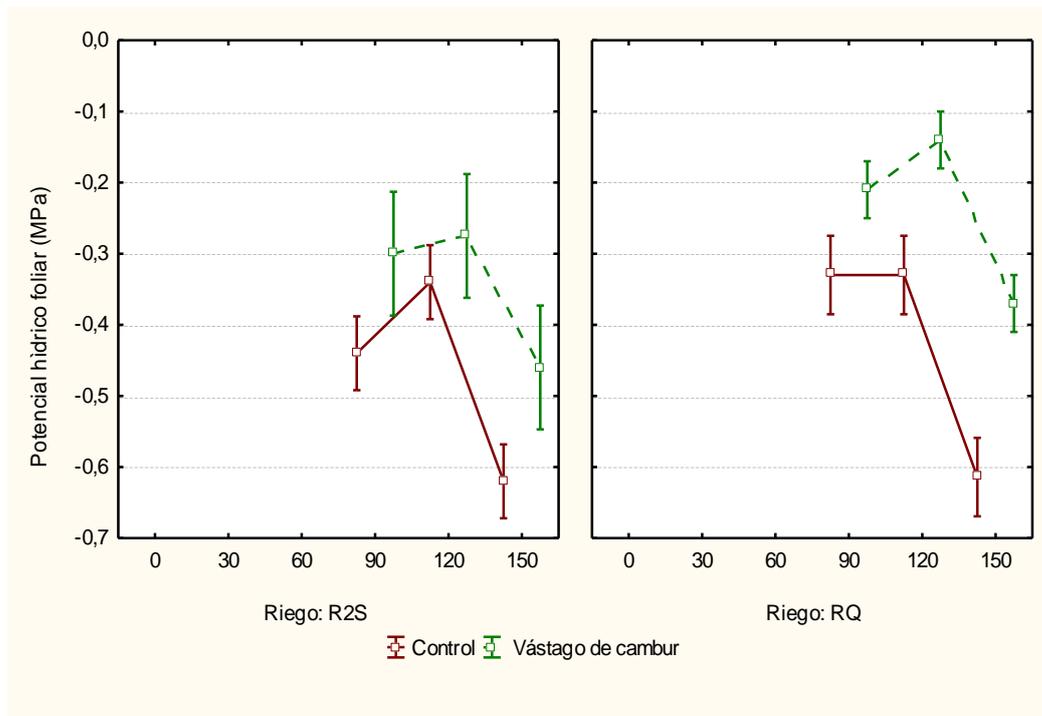
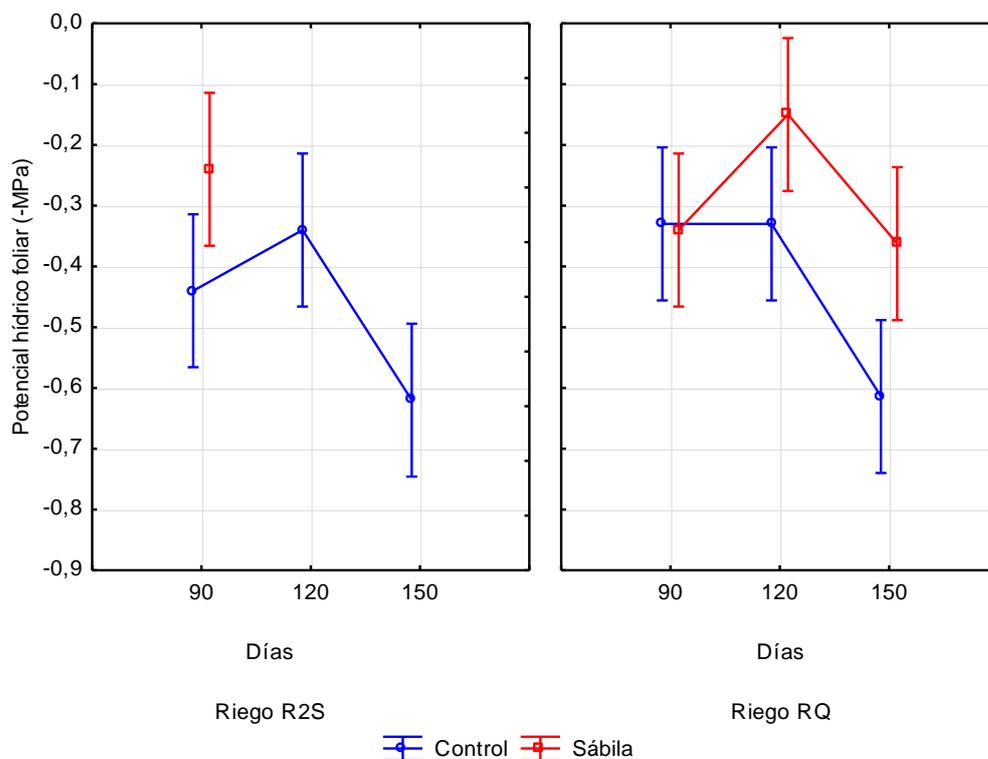


Figura 20. Variaciones en el potencial hídrico foliar de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 20. Comparaciones estadísticas de valores medios del potencial hídrico foliar de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
90	Control	Ba 12	Aa 1
	Vastago	Aa 1	Aa 12
120	Control	Aa 1	Ba 12
	Vástago	Aa 1	Aa 1
150	Control	Aa 2	Aa 2
	Vástago	Aa 1	Aa 2



**Figura 21.** Variaciones en el potencial hídrico foliar de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

**Cuadro 21.** Comparaciones estadísticas de valores medios del potencial hídrico foliar de *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S		Riego RQ	
90	Control	Ba	Aa	1	
	Sábila	Aa	Aa	1	
120	Control	-	Ba	12	
	Sábila	-	Aa	1	
150	Control	-	A	2	
	Sábila	-	A	1	

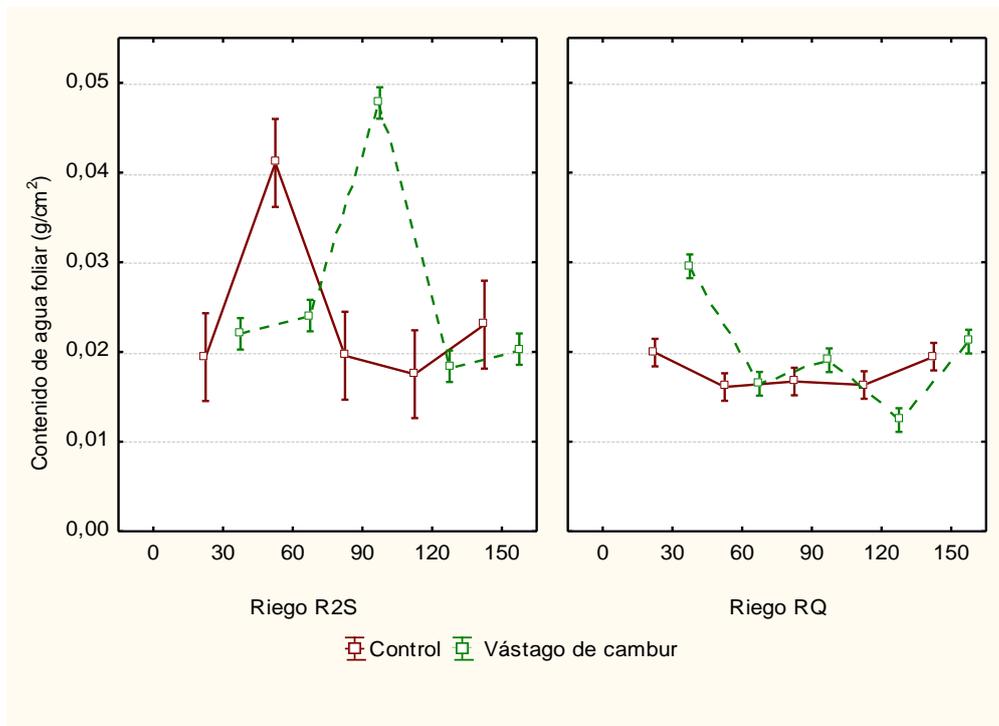
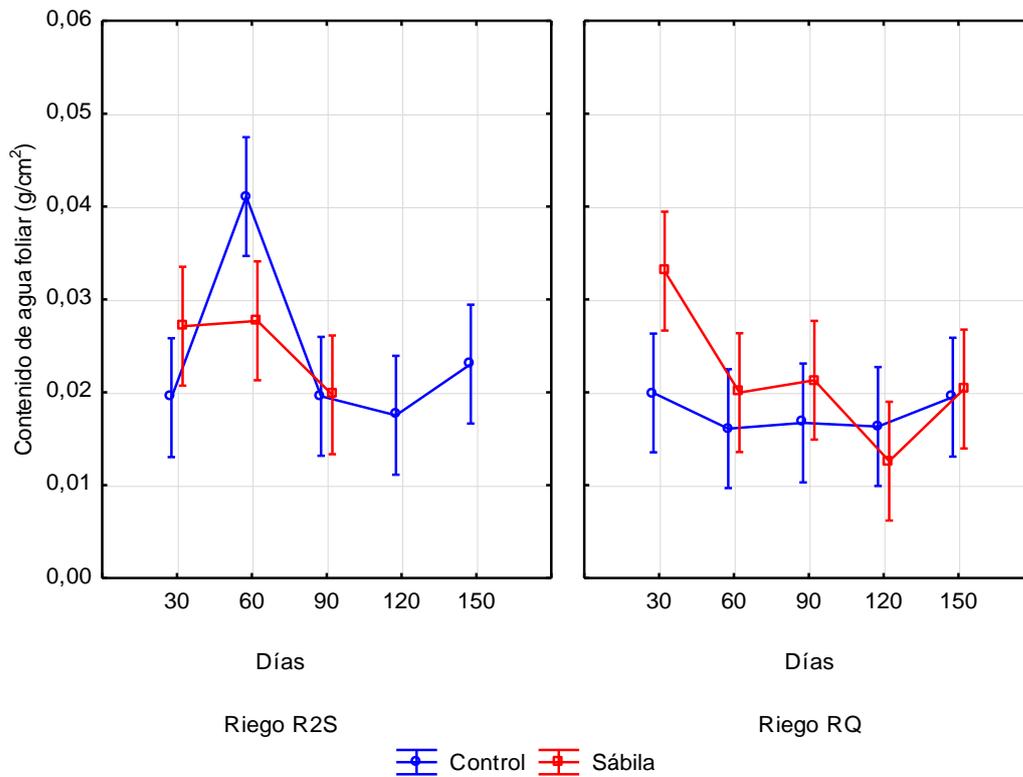


Figura 22. Variaciones en el contenido de agua foliar en *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego.

Cuadro 22. Comparaciones estadísticas de valores medios del contenido de agua foliar en *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de vástago de cambur en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Dias	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
30	Control	Aa 2	Ba 1
	Vastago	Ab 2	Aa 1
60	Control	Aa 1	Aa 1
	Vastago	Ba 2	Ab 12
90	Control	Ba 12	Aa 1
	Vastago	Aa 1	Ab 12
120	Control	Aa 2	Aa 1
	Vástago	Aa 2	Aa 2
150	Control	Aa 12	Aa 1
	Vástago	Aa 2	Aa 1



**Figura 23.** Variaciones en el contenido de agua foliar en *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego.

**Cuadro 23.** Comparaciones estadísticas de valores medios del contenido de agua foliar en *Oyedaea verbesinoides* cultivada bajo la presencia residuo de sábila en el suelo y dos tipos de riego. Letras mayúsculas diferentes en un mismo tiempo, denotan diferencias entre tratamiento con residuo y control para un mismo riego. Diferentes letras minúsculas en una misma fila, indican diferencias entre los riegos. Números indican diferencias a lo largo del tiempo para cada tratamiento, ( $p < 0,05$ ).

Días	Tratam.	Riego R2S	Riego RQ
30	Control	Ba 2	Ba 1
	Sábila	Aa 1	Aa 1
60	Control	Aa 1	Bb 1
	Sábila	Ba 1	Aa 12
90	Control	Aa 12	Aa 1
	Sábila	Aa 1	Aa 12
120	Control	-	A 1
	Sábila	-	A 2
150	Control	-	A 1
	Sábila	-	A 12

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis de las variables determinadas en este estudio se realizaron comparaciones estadísticas entre lo obtenido en los suelos con residuos vegetales (vástago de cambur, sábila) con respecto al suelo control (libre de residuos vegetales), en los dos regímenes hídricos establecidos (riego dos veces por semana y quincenal). Así mismo, se contrastaron los valores obtenidos entre los riegos para un mismo tipo de residuo. Por otra parte, para cada variable estudiada se determinaron los cambios a lo largo del período de experimentación dentro de cada tipo de residuo y régimen hídrico. En todas las comparaciones, el valor de las variables analizadas al inicio del experimento (T0) fue similar para ambos tipos de riego, debido a que en este ensayo todas las semillas fueron germinadas con el uso de un riego inicial, cada dos días. Este régimen hídrico fue escogido como riego óptimo para el desarrollo inicial de la especie empleada en este estudio, producto de los resultados de un ensayo piloto. A partir de T0, fueron aplicados los regímenes hídricos establecidos.

### **Efecto de la adición de residuos vegetales sobre el contenido de humedad del suelo**

La incorporación de residuos orgánicos tiene un efecto mejorador en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rivero y Paolini (2011), Rivero y col. (2011), Navarro y col (1995), Acosta (2002). En lo referente a las propiedades físicas, lo cual incluye la retención de humedad, se ha indicado que la incorporación de residuos vegetales es capaz de aumentar el agua almacenada en el suelo (Rivero y Paolini (2011), Rivero y col. (2011)). Sin embargo, este patrón no puede ser

generalizado ya que ha sido reportado que el uso de residuos de gramíneas y leguminosas, no aumenta significativamente la retención de humedad (Rivero y Paolini (2011), Rivero y col. (2011), lo cual no solo está relacionado con el tipo, método de aplicación, calidad de abono orgánico añadido, sino también con la cantidad adicionada. En este ensayo los residuos de vástago de cambur y sábila, no produjeron un aumento en el contenido de agua en el suelo, coincidiendo con lo reportado por Rivero y Paolini (2011) y Rivero y col. (2011). Se propone que la ausencia de efecto en la retención de humedad en el suelo, por la adición de los residuos empleados pueda deberse a que el ensayo fue llevado a cabo con un material orgánico que estaba poco descompuesto, y en consecuencia su capacidad de retención de agua era muy baja, aunque las cantidades adicionadas fueron significativas, ya que incrementaban el contenido de materia orgánica en 2,1% para el caso de la sábila y 8% para el caso de vástago de cambur. Se conoce que a medida que incrementa el grado de mineralización de la materia orgánica, se ve favorecida la retención de humedad (Gallardo, 1994), debido a que el material pasa de estar simplemente mezclado con suelo a estar ligado con las partículas del mismo (Julca-Otiniano y col., 2006), lo cual va generando cambios sobre características físicas y químicas del suelo, permitiendo una mayor retención de agua.

#### **Efecto de la adición de residuos vegetales sobre el contenido de humedad del suelo y su incidencia sobre el estado hídrico de *Oyedaea verbesinoides***

Las condiciones de limitación de agua inducen en las plantas respuestas que afectan su morfología, fisiología y metabolismo (Covarrubias, 2007; Moreno, 2009; Rosabal y col., 2014). Dentro de las respuestas fisiológicas se encuentra la reducción

del potencial hídrico, disminución de la turgencia, concentración de moléculas conforme disminuye la turgencia, disminución de la conductancia estomática, entre otras (Taiz y Zeiger, 2002; Ortiz, 2006; Moreno, 2009); sin embargo, estos cambios pueden depender según la especie e intensidad del déficit hídrico. En lo que respecta a *Oyedaea verbesinoides*, se ha reportado disminución de: potencial hídrico, conductancia específica, asimilación de carbono y disminución del área foliar en períodos de sequía (Sobrado 2003). En este estudio, el hecho de que  $\Psi$  y el CAF fuesen similares en las plantas de los diferentes tratamientos (VR2S, VRQ, SR2S, SRQ, CoR2S, CoRQ) y tomando en cuenta lo obtenido respecto al contenido de humedad del suelo, sugiere por un lado que la adición de residuos vegetales y aplicación de un riego más espaciado, no indujo cambios en el estado hídrico de la planta. Por otro lado, los valores de  $\Psi$  obtenidos permiten inferir que el riego quincenal no generó condiciones de estrés hídrico en *Oyedaea verbesinoides*. Sobrado (2003) señala que el mantenimiento de un sistema de conducción de eficiencia máxima en especies pioneras, requeriría el cierre de los estomas de una manera apropiada según el incremento de la demanda evaporativa, evitando embolismos en el xilema, lo cual puede estar determinando la respuesta de *O. verbesinoides* cuando fue expuesta a condiciones de humedad limitada.

#### **Efecto de la adición de residuos vegetales sobre el contenido de humedad del suelo y su incidencia sobre variables de biomasa de las plantas de *Oyedaea verbesinoides***

Aun cuando en este ensayo la adición de residuos vegetales no indujo cambios significativos en el contenido de humedad del sustrato, resultó evidente que la adición de vástago de cambur favoreció el incremento de la Bt de *Oyedaea verbesinoides* para

ambos regímenes de riego. Se conoce que la producción de nueva biomasa en cualquier cultivo o comunidad vegetal está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible en el suelo (Medrano y col., 2007). Para el caso del uso de vástago de cambur se evidenció claramente esta tendencia, siendo el tratamiento VR2S el que presentó una mayor producción de Bt. En estudios nutricionales se ha reportado para el pseudotallo del cambur, elevados contenidos de potasio, también de calcio y magnesio aunque en menor proporción (Mohapatra y col., 2010); también se han encontrado importantes cantidades de calcio en lixiviados del raquis de la planta de cambur (Garcés, 2010). Los requerimientos del potasio por las plantas son generalmente altos (Casanova, 2005) ya que juega un papel esencial en el crecimiento y metabolismo de la misma al activar enzimas, funciona como un osmorregulador, manteniendo la presión de turgencia de los tejidos, regula la apertura y cierre estomático y equilibra la carga de los aniones (Sánchez y col., 2006). Asimismo, tiene importante influencia en varios niveles del proceso de fotosíntesis (Marschner, 1995). Asimismo, se conoce que el potasio también cumple función metabólica, de crecimiento, división celular y síntesis de proteínas (Casanova, 2005). En base a lo mencionado, un alto contenido de nutrientes en el residuo de vástago de cambur, podría estar relacionado con una alta producción de biomasa lo cual podría explicar el incremento de la Bt en las plantas cultivadas bajo este tratamiento. Por otro lado, es preciso mencionar que la humedad del suelo es un factor que puede afectar la disponibilidad de potasio (Kass, 1998). En este caso, el riego más frecuente también pudo haber favorecido una mayor disponibilidad de este nutriente, conduciendo a un incremento notorio en la Bt respecto a las plantas que crecieron bajo riego quincenal. Es importante mencionar que se observó que el crecimiento del vástago de *Oyedaea*

*verbesinoides* en VRQ fue considerablemente menor al de la raíz, por lo que la diferencia encontrada en la Bt entre VR2S y VRQ se debió a un menor desarrollo de la parte aérea en VRQ, lo cual es indicativo de que esta parte de la planta fue la más afectada cuando se redujo la frecuencia de riego y por consiguiente la disponibilidad de nutrientes.

El uso del residuo de sábila como un sustrato orgánico para favorecer la retención de humedad en el suelo y con ello beneficiar el desarrollo de las plantas, no pudo ser comprobado en este estudio. En las fases iniciales del mismo, las réplicas que contenían dicho residuo presentaron una elevada proliferación de hongos, acompañada de una alta mortalidad, observada principalmente en el tratamiento SR2S. Esta alta actividad fúngica inicial propiciada por el residuo de sábila, pudo haber generado competencia por recursos con las plantas del ensayo. Acosta y col. (2006), recomiendan realizar análisis de fitotoxicidad y microbiológicos antes de aplicar este tipo de residuo debido a la posible presencia de compuestos orgánicos tóxicos, así como por el grado de estabilidad o madurez de estos residuos y la persistencia de ciertos organismos patógenos. Se ha encontrado que la fitotoxicidad debido a la adición de residuos orgánicos obedece a diversos factores, entre los cuales destacan el contenido de amonio, ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados y de sales (Navarro y col., 1995; Varnero y col., 2007; Negro y col., 2005).

En este estudio, el tipo de riego pareciera estar jugando un papel fundamental en los efectos negativos del residuo de sábila frente al desarrollo de la planta. En este contexto, es importante mencionar que bajo el SRQ, la Bt de *Oyedaea verbesinoides* tendió a incrementar después de los 90 días. Acosta y col. (2006), destacan que la dosis

utilizada de residuos orgánicos, entre ellos el de sábila, es un factor a tomar en cuenta para su aplicación. El hecho de que el desarrollo de las plantas del tratamiento SRQ no se haya visto afectado como las que se encontraron bajo SR2S, sugiere que en este ensayo la mencionada mortalidad de las plantas fue generada por la cantidad de agua suministrada y sus implicaciones en la proliferación de hongos bajo este tratamiento y no por la dosis de residuo de sábila incorporado.

Adicional a lo anteriormente discutido, es preciso indicar que para el residuo de sábila también se han reportado importantes concentraciones de potasio (Acosta y col, 2012); sin embargo, la similitud en la Bt encontrada en SRQ y CoRQ no mostró en este ensayo, que el suministro de este nutriente a partir del residuo orgánico, favoreciera de manera significativa la producción de biomasa de la planta en SRQ respecto a CoRQ.

Otra variable asociada a la biomasa y comúnmente empleada para detectar los efectos de la humedad del suelo sobre el desarrollo de la planta, es la relación raíz-vástago (R/V). En este estudio, la menor relación R/V en VR2S respecto al suelo control, sugiere que bajo esta condición hubo una mayor asignación de recursos hacia la parte aérea de la planta, incluso, para este tratamiento se observaron tallos más robustos y hojas más grandes. El aumento en el tiempo en la relación R/V bajo VRQ con respecto a CoRQ y VR2S, podría interpretarse como un incremento en la biomasa de raíces en respuesta al riego quincenal, no obstante, los resultados mostraron que este incremento fue producto de la reducción en un 49% de la biomasa aérea y no debido a un mayor desarrollo de la biomasa radical, la cual también se redujo en un 32%. Estudios previos han mostrado que las plantas presentan mecanismos que le permiten amortiguar los efectos de algún factor limitante como por ejemplo, la humedad,

mostrando la tendencia a aumentar la relación R/V cuando dicho factor se ve reducido o limitado (Joslin y col., 2000; Martínez-Trinidad y col., 2002; Sahnoune y col., 2004; Metcalfe y col, 2008; Córdoba, 2010; Córdoba y col., 2011; Nagase y Dunnett, 2011;), Asimismo, Kramer y Boyer (1995) señalan que en condiciones de déficit de agua en el suelo, el crecimiento del tallo se reduce antes que el crecimiento de la raíz, resultando en un incremento en la R/V. La diferencia en la reducción de biomasa encontrada para VRQ, es indicativo que bajo esta condición hubo una mayor asignación de recursos dirigida a la raíz. Tal como fue mencionado anteriormente, los resultados obtenidos para  $\Psi$ , mostraron que *O. verbesinoides* no estuvo sometida a estrés hídrico, por lo cual el comportamiento encontrado para la R/V de VRQ podría ser una respuesta de la planta para contrarrestar la condición de humedad limitada a través de la diferencia de distribución de biomasa, sin alterar las variables asociadas al estado hídrico de la misma.

El decrecimiento en el tiempo de la R/V en relación al suelo control para las plantas del tratamiento SRQ es indicativo de que hubo una mayor asignación de recursos hacia el desarrollo del vástago. Aun cuando las comparaciones entre SR2S y SRQ no pudieron realizarse a lo largo de todo el experimento, las similitudes encontradas hasta los 90 días mostraron que la aplicación del riego quincenal no generó estrés hídrico en la planta. En el caso de SR2S, solo puede decirse que de igual manera a VR2S, hubo una mayor asignación de recursos hacia la parte aérea de la planta, respecto al control, no obstante, es preciso recordar que este riego indujo el desarrollo de hongos que causaron una alta mortalidad en las plantas. El comportamiento observado para los tratamientos con sábila es indicativo de que pese

a la disminución de la disponibilidad de agua en el suelo, no se afecta el desarrollo de *O. verbesinoides*.

### **Efecto del contenido de humedad del suelo enmendado con residuos vegetales sobre la morfología de las raíces de *Oyedaea verbesinoides***

Se ha reportado que en respuesta a ciertos factores limitantes, como por ejemplo la humedad, además de generarse cambios en la biomasa de las raíces, puede ocurrir una modificación en su morfología (Córdoba y col., 2011; Metcalfe y col., 2008; Boot y Mensink, 1990), principalmente a través de variables como la longitud total de raíz (Lt, m), longitud específica (LE, m/g), área superficial (As, m<sup>2</sup>), área superficial específica (ASE, m<sup>2</sup>/g) y el diámetro (Dp, mm).

Frente a una condición de humedad limitada, Córdoba y col. (2011) y Metcalfe y col. (2008) reportan un aumento de la Lt y As. En este estudio, la adición de vástago de cambur condujo a un incremento en ambas variables morfológicas respecto a las raíces de las plantas cultivadas en suelo control. Este comportamiento podría ser indicativo de que las plantas cultivadas bajo este tipo de residuo vegetal fueron afectadas en mayor grado en su morfología que el suelo control. Sin embargo, la similitud encontrada para estas variables entre ambos tipos de riego tanto para el control como para las plantas bajo residuo de vástago de cambur, sugiere que el cambio en la morfología de las raíces en VR2S y VRQ no es consecuencia de la variación en la disponibilidad de agua. Se propone que el aporte del contenido nutricional del vástago incrementó la biomasa de raíces lo cual a su vez incidió en su morfología, tal y como fue sugerido anteriormente para los cambios en la Bt de *Oyedaea verbesinoides*.

Para el caso de las raíces de las plantas que crecieron bajo residuos de sábila, el hecho de que tanto Lt como As resultaran significativamente menores a lo obtenido en el control en ambos tipos de riego, podría ser indicativo de que este residuo influyó notablemente en el desarrollo radicular afectando notoriamente su morfología. Este comportamiento puede estar asociado con los efectos fitotóxicos reportados para este residuo y mencionados anteriormente. Por otro lado, teniendo en cuenta que el residuo fue aplicado fresco, así como también la alta relación C/N ( $C/N= 60,4$ ) reportada para el residuo de sábila (Acosta, 2002); se propone que lo obtenido para la Lt y el As podría ser indicativo de que los microorganismos compitieron por los nutrientes del suelo para la degradación del residuo en detrimento del desarrollo de las raíces.

Aun cuando la morfología de las raíces de las plantas cultivadas bajo sábila se vio afectada en los parámetros morfológicos mencionados anteriormente, es importante destacar que tal efecto no tuvo repercusión en el desarrollo general de la planta, si se considera que la Bt en SRQ fue similar a CoRQ.

Se conoce que las plantas pueden alterar la relación costo-beneficio en la raíz modificando características morfológicas a nivel individual o a nivel de todo el sistema radical (Leuschner y col. (2004). A nivel de la raíz, pueden incrementar el área superficial específica (ASE,  $m^2/g$ ), al producir más raíces finas; así como también la (LE,  $m/g$ ) (Leuschner y col., 2004 y Metcalfe y col., 2008), en vez de incrementar su crecimiento. Esta estrategia permite aumentar la absorción de agua y nutrientes sin un requerimiento extra de fotosintatos para la construcción de mayor biomasa radical, por otro lado, este mecanismo se ha encontrado asociado con condiciones de estrés

hídrico (Metcalf y col., 2008). En este estudio, el hecho de que las relaciones ASE y LE, en general se mantuvieran estables en el tiempo bajo el riego quincenal, tanto para el control como para el suelo con residuos vegetales, es indicativo por un lado de que la raíz no sufrió cambios frente a esta condición hídrica y por otro, que la aplicación del riego quincenal no generó condiciones de sequía en el suelo que condujeran a dicho cambios, a pesar de las diferencias encontradas en el %Hs cuando los riegos fueron comparados.

Otra de las variables de la morfología de la raíz sujeta a cambios según las condiciones ambientales (humedad, nutrientes) es el diámetro de las raíces (Dp) (Boot y Mensink, 1990; Forde y Lorenzso, 2001; Cortina y col., 2008). En algunos estudios se ha encontrado relación entre la disponibilidad de nutrientes y el diámetro de las raíces. Al respecto, Robinson y Rorison, (1983), reportaron para algunas especies que una mayor disponibilidad de nitrógeno y fósforo incrementa el diámetro de las raíces. Asimismo, Cuevas (1983) y Kalinoff y col., (2009) mencionan que en condiciones de baja fertilidad, existe una mayor proporción de raíces finas en el sistema radical, es decir, que bajo esta condición predominan raíces con diámetros pequeños. El hecho de que el Dp de las raíces de las plantas cultivadas bajo residuos vegetales resultara mayor que el control, puede ser indicativo de un mejor estatus nutricional del suelo producto de la incorporación de los residuos. Es ampliamente conocido que la adición de materia orgánica al suelo, mejora, entre varios aspectos, la biodisponibilidad de nutrientes en el mismo, gracias a que favorece el aporte de nutrientes en su proceso de mineralización (ej. Hernández y col., 1995; Navarro y col., 1995, Julca-Otiniano, 2006, Nagase y col., 2011).

El hecho de que la diferencia en la frecuencia de riego no condujera a cambios en el Dp, tanto para las raíces cultivadas bajo suelo con residuos vegetales como para el control, podría ser otro indicativo de que la limitación de humedad producto del riego quincenal no indujo cambios morfológicos en las raíces de *Oyedaea verbesionoides*. Cabe destacar, que dentro de las variables morfológicas, el diámetro es el que presenta menor plasticidad (Boot y Mensink, 1990) por lo que su respuesta está determinada estrictamente por la variable que le induce el cambio.

Por otra parte es importante señalar que los resultados encontrados para el Dp de las plantas que crecieron bajo influencia de residuos de sábila, sugieren un eficiente funcionamiento de las raíces de las mismas, el cual les permitió alcanzar una Bt similar al de las plantas bajo suelo control, aun cuando las otras variables morfológicas (Lt y As) mostraran ser significativamente menores.

#### **Efecto del contenido de humedad del suelo enmendado con residuos vegetales sobre el contenido de N en las hojas *Oyedaea verbesionoides***

Los tratamientos con suelo control y con residuo de vástago de cambur describieron el patrón común conocido para el comportamiento del nitrógeno en la parte aérea de la planta, donde a medida que aumenta la edad de la planta, se genera el efecto de dilución de nitrógeno, producto del incremento de biomasa de la misma o bien de la translocación de N desde las hojas maduras y senescentes a las más jóvenes (Marschner, 1995; Thompson y Troeh, 2002). El hecho de que el Ntf de las plantas que crecieron bajo residuo de vástago de cambur haya resultado significativamente más alto al del suelo control, es otro indicativo de un mejor contenido nutricional del suelo debido a la adición de vástago de cambur.

Las diferencias en el Ntf entre VR2S y VRQ, se encontraron asociadas a las diferencias de la Bt entre ambos tratamientos, debido a que el efecto de dilución es más marcado en las plantas con una mayor biomasa aérea, como fue lo obtenido para VR2S.

Para el caso del residuo de sábila, la diferencia en el Ntf respecto al control es indicativo de un mejor estado nutricional de *Oyedaea verbesinoides* con la adición del residuo al suelo. Sin embargo el efecto típico de dilución de nitrógeno en la planta, no fue observado. La similitud del Ntf en el tiempo tanto en SR2S como en SRQ, sin aumento de la Bt respecto al control, podría estar relacionado con un consumo de lujo de este nutriente.

## CONCLUSIONES

En conjunto los resultados de este estudio mostraron que la incorporación de los residuos de vástago de cambur y sábila al suelo no condujo a un mejoramiento en el contenido de humedad del mismo, por lo cual la hipótesis planteada fue rechazada.

La combinación del riego más frecuente y el residuo de vástago de cambur, fue la que más favoreció la producción de biomasa. Por el contrario, en el tratamiento con residuo de sábila dicha combinación condujo a la mortalidad de las plantas.

La aplicación del riego quincenal no causó diferencias en el estado hídrico de *Oyedaea verbesinoides*, por lo cual, diferencias en las variables susceptibles a cambios de humedad no pudieron en su mayoría ser comprobados, exceptuando la respuesta encontrada para la relación raíz-vástago.

Aun cuando el contenido de humedad del suelo no se vio favorecido con el uso de los residuos vegetales, los resultados obtenidos en este estudio indican que el efecto del uso de dichos materiales se encuentra asociado con importantes aportes nutricionales al suelo, principalmente respecto al uso del vástago de cambur.

Por otro lado la respuesta encontrada en cuanto al uso del residuo de sábila, permite destacar la importancia de conocer la naturaleza del material con la finalidad de prevenir efectos perjudiciales en el empleo de estos materiales.

## RECOMENDACIONES

A continuación se señalan algunas recomendaciones que se consideran útiles para futuros trabajos relacionados con este estudio:

- Para conocer con exactitud los aportes de nutrientes de los residuos vegetales, es oportuno realizar el análisis nutricional de los mismos, así como también realizar el análisis nutricional del suelo tras la adición de estos materiales.
- Con la finalidad de prevenir la inhibición del desarrollo de las plantas, se recomienda realizar análisis fitotóxicos, en particular del residuo de sábila y a su vez, ensayos previos de germinación con diferentes dosis del residuo y niveles humedad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. 1979. Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. *Bol. Tec. Fac. Agron. Univ. Chile*. **44**: 17-25.
- Acosta, Y. 2002. Mineralización del carbono, actividad enzimática y biomasa de un suelo de la región semi-árida de Venezuela, enmendado con residuos orgánicos. Tesis de Doctorado. IVIC. Caracas, Venezuela.
- Acosta, Y., Paolini, J., Benítez, E. 2004. Índice de humificación y prueba de fitotoxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. *Rev. Fac. Agron.* **21**: 383-394.
- Acosta, Y., Paolini, J., Flores, S., Benzo, Z., El Zahuare, M., Toyo, L. Senior, A. 2006. Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. *Multiciencias*, **3(1)**: 1-15.
- Acosta, Y., Zárraga, A., Rodríguez, L., El Zauahre, M. 2012. Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Multiciencias*. **12**.
- Altamirano, A., Lara, A. 2010. Deforestación en ecosistemas templados de la precordillera andina del centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, **31(1)**: 53-64.
- Ampueda, J., Rivero, C., Torres, A., Cabrera, E. 2006. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y fertilizante químico sobre la dinámica del nitrógeno en el suelo. *Rev. Fac. Agro.* **32**:14- 26.

- Álvarez-Sánchez, E., Vázquez-Alarcón, A., Castellanos, J. Z. Cueto-Wong, J. 2006. Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo. *Terra Lat.* **24(2)**: 261-268.
- Arrigo, N. M., Jiménez, M. D. L. P., Palma, R. M., Benito, M., y Tortarolo, M. F. 2005. Residuos de poda compostados y sin compostar: uso potencial como enmienda orgánica en suelo. *Cienc. Suelo.* **23(1)**: 87-92.
- Balaguera, H.E., Álvarez-Herrera, J.G., Rodríguez, J.D. 2008. Efecto del déficit de agua en el trasplante de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agron. Colom.* **26(2)**: 246-255.
- Boot, R. G., y Mensink, M. 1990. Size and morphology of root systems of perennial grasses from contrasting habitats as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil.* **129(2)**: 291-299.
- Bravo, M., Pérez, P., González, E., Ramos, A., Salazar, Y. Ramos, M., Sánchez, J., Muñoz, B., Flores, S. y Herrera, F. 2012. Uso de sustratos orgánicos como estrategia potencial para el establecimiento de la especie pionera *Oyedaea verbesinoides* en programas de recuperación de ecosistemas.
- Casanova, E. Introducción a la ciencia del suelo. 2005. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela. Segunda Edición. Caracas, Venezuela.
- Castro, A., Henríquez, C., Bertsch, F. 2008. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agron. Costarric.* **33(1)**: 31-43.

- Córdoba-Rodríguez, D. 2010. Crecimiento y estructura de la raíz en plantas de *Pinus pinceana* sometidas a dos condiciones de humedad del suelo. Tesis de Maestría. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Córdoba-Rodríguez, D; Vargas-Hernández, J; López-Upton, J; Muñoz-Orozco, A. 2011. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia*. **45**: 493-506
- Cortina, J., Green J.J., Baddeley, J.A., Watson, C.A.. 2008. Root morphology and water transport of *Pistacia lentiscus* seedlings under contrasting water supply: A test of the pipe stem theory. *Environ. Exp. Bot.* **62**: 343–350.
- Covarrubias Robles, A. 2007. Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. *Biotecnología*. **14**: 253-262.
- Cuevas Viera, E. 1983. Crecimiento de raíces finas y su relación con los procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de nutrientes en bosques del alto río Negro en el Territorio Federal Amazonas. Tesis de grado. IVIC. Caracas, Venezuela.
- De Santa Olalla, F., López Fuster, P., Calera Belmonte, A. 2005. Agua y agronomía. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Defrieri, R. L.; Jimenez, M. P., Efron, D., Palma, M. 2005. Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje. *Agriscientia*. **22 (1)**: 25-31.

- Flores, C. y Cuenca, G. 2004. Crecimiento y dependencia micorrízica de la especie pionera y polenectarífera *Oyedaea verbesinoides* (Tara Amarilla), Asteraceae. *Interciencia*. **29(11)**: 632-637.
- Flores, C. 2008. Respuesta micorrízica de siete especies leñosas pertenecientes a diferentes etapas sucesionales del bosque nublado de Altos de Pipe, estado Miranda. Tesis de Doctorado. IVIC. Caracas, Venezuela.
- Forde, B., Lorenzo, H. 2001. The nutritional control of root development. *Plant and soil*. **232**: 51-68.
- Gallardo, J.F. 1994. Dinámica de la descomposición orgánica en sistemas conservacionistas. En: Memorias VII Congreso, Conferencia Magistrales. Salamanca, España. pp. 31-37.
- Galván, A. 2009. Importancia de la elaboración de composta y vermicomposta a partir de residuos agrícolas. Tesina. Universidad autónoma de Nayarit. Xalisco, México.
- Garcés, H. 2010. Comparación de la calidad y efectos de lixiviados obtenidos a partir de raquis de banano (*Musa acuminata*) y plátano (*Musa balbisiana*) mediante transformación aeróbica y anaeróbica en condiciones de invernadero. Tesis de Ingeniería. Escuela Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Rodríguez, F., García-Orenes, F., Gómez, I. Moral, R. 2003. Carbono microbiano edáfico en suelos afectados por fuego y enmendados con diferentes residuos orgánicos. *Edafología*, **10(2)**: 185-190.

- Hernández, I., Medina, E., López, H. D. 1995. Respiración edáfica y aportes de materia orgánica por las raíces y la hojarasca en un cultivo de caña de azúcar. *Agronomía Trop.* **45(1)**: 121-142.
- Joslin, J.D.; Wolfe, M. H. y Hanson, P.J. 2000. Effects of altered water regimes on forest root systems. *New. Phytol.* **147**: 117–129.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., Bello-Amez, S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia.* **24(1)**: 49-61.
- Kalinhoff, C., Cáceres, A., Lugo, L. 2009. Cambios en la biomasa de raíces y micorrizas arbusculares en cultivos itinerantes del Amazonas Venezolano. *Interciencia.* **34(8)**: 571-576.
- Kass D. 1998. Fertilidad de suelos. EUNED. Primera Edición. San José, Costa Rica.
- Kramer, P., Boyer, J. 1995. Water relations of plants and soils. Academic Press. Londres, Inglaterra.
- Leuschner, C., Hertel, D., Schmid, I., Koch, O., Muhs, A.Hölscher, D. 2004. Stand fine root biomass and fine root morphology in old-growth beech forests as a function of precipitation and soil fertility. *Plant and Soil.* **258(1)**: 43-56.
- Lopushinsky, W. 1990. Target Seedling Symposium. En: Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. United States Department of Agriculture. Oregon, E.U.A.

- López, J.D., Díaz Estrada, A., Martínez Rubin, E., Valdez Cepeda, R. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra*. **19(4)**: 293-299.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. Segunda edición. San Diego, E.U.A.
- Martínez-Trinidad, T., Vargas-Hernández, J.J., López-Upton, J. Muñoz-Orozco, A. 2002. Respuesta al déficit hídrico en *Pinus leiophylla*: acumulación de biomasa, desarrollo de hojas secundarias y mortandad de plántulas. *Terra* **20(3)**: 291-301.
- Medrano, H. M., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., Gulías, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Invest. geogr.* **43**: 63-84.
- Metcalfe, D., Meir, P., Aragao, L., Da Costa, A., Braga, A., Goncalves, P., Silva, J. y colaboradores.. 2008. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. *Plant Soil*. **311**: 189-199.
- Mohapatra, D., Mishra, S., Sutar, N. 2010. Banana and its by-product utilization: an overview. *J. Sci. Ind. Res.* **69(5)**: 323-329.
- Moreno, L. P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agron. Colomb.* **27(2)**: 179-191.
- Nagase, A., Dunnett, N. 2011. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape Urban. Plan.* **103**: 230– 236.

- Negro, M., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R., Ciria, P., De Benito, A., García, G. y colaboradores. 2005. Producción y gestión del compost. Centro de Técnicas Agrarias de Zaragoza, España.
- Navarro Pedreno, J., Moral, H., Gómez, L., Mataix Beneyto, J. 1995. Residuos orgánicos y agricultura. Secretariado de Publicaciones. Universidad de Alicante, España.
- Ortiz, M., Silva, H., Silva, P., Acevedo, E. 2003. Estudio de parámetros hídricos foliares en trigo (*Triticum aestivum* L.) y su uso en selección de genotipos resistentes a sequía. *Rev. Chil. Hist. Nat.* **76(2)**: 219-233.
- Peña Calzada, K., Rodríguez Fernández, J.C., Olivera Viciado, D. 2013. Coberturas muertas y regulación de arvenses en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agric. Organ.* **2**:32-35.
- Rivero, C., Paolini, J. 2011. Efecto de la incorporación de residuos vegetales sobre algunas propiedades físicas de tres suelos venezolanos. *Venesuelos.* **2(1)**: 26-31.
- Rivero, C., Lobo, D., Pérez, A. L. 2011. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un Alfisol degradado. *Venesuelos.* **6**: 29-33.
- Robinson, D., Rorison, I. H. 1983. Relationships between root morphology and nitrogen availability in a recent theoretical model describing nitrogen uptake from soil. *Plant. Cell. Environ.* **6**: 641-647.
- Rosabal Ayan, L., Martínez González, L., Reyes Guerrero, Y., Dell'Amico Rodríguez, J., Núñez Vázquez, M. 2014. Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes

en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cult. Trop.* **35(3)**: 24-35.

Sahnoune, M., Adda, A., Soualem, S., Kaid Harch, M., Merah, O. 2004. Early water-deficit effects on seminal roots morphology in barley. *C. R. Biologies.* **327**: 389–398.

Sánchez, C. 1988. Descomposición de residuos vegetales en un suelo cultivado de la provincia de Buenos Aires. *Cienc. Suelo.* **6(2)**: 93-102.

Sánchez Chávez, E., Soto Parra, J., Ruiz Sáez, J. 2006. Biomasa, actividad enzimática y compuestos nitrogenados en plantas de frijol ejotero bajo diferentes dosis de potasio. *Agric. Téc. Méx.* **32(1)**: 27-37.

Sevilla, V., Mijares, R., Rodríguez, R., & Abreu, X. 1996. Efecto del uso de coberturas vegetales y abonos orgánicos sobre pérdidas de suelo y agua en dos suelos agrícolas venezolanos. *Venesuelos.* **4**: 14-19.

Sobrado, M. A. 2003. Hydraulic characteristics and leaf water use efficiency in trees from tropical montane habitats. *Trees.* **17(5)**: 400-406.

Taiz, L., Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. Tercera edición, Sinauer Associates, Inc., Sunderland, EUA.

Thompson L.M., Troeh, F.R. 2002. Cuarta edición. Editorial Reverté. Barcelona, España.

Thornley, J.H.M. 1972. A balance quantitative model for root:shoot ratio in vegetative plants. *Ann. Bot.* **(36)**: 431-441.

Varnero, M. T., Rojas, C., y Orellana, R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* **7(1)**: 28-37.

Waisel, Y.; Eshel, A. y Kafkafi, U. 1996. *Plan Roots, The hidden half*. Segunda Edición. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, E.U.A.

Zebarth, B.J., Neilsen, G.H., Hogue, E., Neilsen, D. 1999. Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties. *Can. J. Soil. Sci.* **79**: 501-504.