

Regímenes de riego y dosis de polímero hidrorretenedor sobre características morfológicas y fisiológicas de plantas de *Cordia trichotoma*

Irrigation regime and water retaining polymer doses in morphological and physiological characteristics of *Cordia trichotoma* seedlings

Mônica Brucker Kelling ^{a*}, Maristela Machado Araujo ^b, Enrique Benítez León ^c,
Suelen Carpenedo Aimi ^b, Felipe Turchetto ^b

* Autor de correspondencia: ^a Universidade Federal de Santa Maria, Colegio Politécnico da UFSM, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria, Brasil, tel.: +55 -55-32208273, mbk@politecnico.ufsm.br

^b Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Florestais, Santa Maria, Brasil.

^c Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Campus San Lorenzo, Paraguay.

SUMMARY

The objective of this research was to define which irrigation regime, whether or not combined with water retaining polymer doses added to the substrate, is recommended in the production of *Cordia trichotoma* seedlings. The substrate was used with different dosages of water retaining polymers (0, 1.5, 3.0 and 4.5 g L⁻¹). After emergence the seedlings were subjected to different irrigation regimes (4-4-4, 4-8-8, 4-8-12, 8-8-8, 8-12-12 and 12-12-12 mm day⁻¹, alternating them every 60 days). The experiment was conducted in a completely randomized design in a split plot scheme, where the main plot was formed by the different irrigation regimes and subplots by doses of a hidrorretentor polymer. After 180 days of applying the irrigation blades, the following morphological and physiological variables were obtained. Seedlings are intolerant to water stress after 180 days under blade 4 or 12 mm constant irrigation. The permanent use of the 4 mm day⁻¹ blade is possible, since associated with an addition of approximately 2.4 g L⁻¹ dose of a water retaining polymer to the substrate. A suitable growth of seedlings was obtained with blades of 4-8-8 mm day⁻¹, alternating every 60 days with the possibility of using a smaller blade at the start of growth, thereby reducing water consumption.

Key words: tree species, nursery, seedling production, hydrogel, water management.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue definir el régimen de riego que combinado, o no, con dosis de polímero hidrorretenedor en el sustrato, es indicado para la producción de plantas de *Cordia trichotoma*. En el sustrato fueron agregados diferentes dosis de polímero hidrorretenedor (0, 1,5, 3,0 y 4,5 g L⁻¹). Luego de la emergencia, las plantas fueron sometidas a diferentes regímenes de riego (4-4-4, 4-8-8, 4-8-12, 8-8-8, 8-12-12 y 12-12-12 mm día⁻¹, alternados cada 60 días). El experimento fue conducido en un diseño completamente aleatorio, en esquema de parcelas subdivididas, en que la parcela principal estuvo compuesta por diferentes regímenes de riego y la subparcela por las dosis del polímero hidrorretenedor. Después de 180 días de la aplicación de las láminas de riego fueron obtenidas las variables morfológicas y fisiológicas. Las plantas presentaron estrés hídrico a los 180 días bajo la lámina de 4 o 12 mm constantes de irrigación. La utilización constante de láminas de 4 mm día⁻¹ es posible desde que sea asociada a la adición de, aproximadamente, 2,4 g L⁻¹ de polímero hidrorretenedor al sustrato. Se obtuvo crecimiento adecuado de las mudas con láminas de 4-8-8 mm día⁻¹, alternados cada 60 días, siendo posible la utilización de una menor lámina en el inicio del crecimiento, reduciendo de esta manera el consumo de agua.

Palabras clave: especie forestal, vivero, producción de plantas, hidrogel, manejo hídrico.

INTRODUCCIÓN

La especie *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud., pertenece a la familia Boraginaceae, ocurre en diferentes regiones del Brasil, desde el Estado de Amazonas hasta Rio Grande do Sul, así como en la Argentina, Bolivia y Paraguay (Sobral *et al.* 2006). Según Coradin *et al.* (2011), *Cordia trichotoma* es considerada un árbol con potencial para integrar proyectos madereros y de recuperación ambiental, posibili-

tando viabilidad económica de su cultivo o manejo, hecho que es impulsado por el crecimiento volumétrico elevado, calidad y multifuncionalidad de usos de la madera. De esta manera, en la silvicultura es creciente la necesidad de investigaciones que busquen mejorar la producción de plantas de especies forestales nativas, con calidad morfológica y fisiológica, capaces de atender los objetivos de las plantaciones.

Las variables más utilizadas para evaluar la calidad de plantas de especies forestales, generalmente son la altura,

el diámetro del cuello, la masa seca de la parte aérea, la masa seca radical y el índice de calidad de Dickson. De acuerdo a Landis *et al.* (2010), la altura y el diámetro del cuello de las plantas son las características morfológicas más comunes y son los caracteres fácilmente evaluados. Por otra parte, la fluorescencia de la clorofila *a* es una de las variables utilizada para expresar el estado fisiológico de las plantas (Ritchie *et al.* 2010).

La cantidad de agua interfiere directamente en el desarrollo de las plantas, por lo tanto, el conocimiento del manejo hídrico ideal para la fase de formación y desarrollo de las plantas en vivero es tan importante al igual que los demás procesos de producción (Novaes *et al.* 2002). Además, la falta de agua puede limitar el desarrollo de las plantas (Taiz y Zeiger 2004, Carvalho *et al.* 2011) y la irrigación excesiva puede ocasionar lixiviación de nutrientes.

En la actualidad, es creciente la necesidad de desarrollar estudios que busquen definir una lámina bruta diaria recomendada para cada especie forestal durante la fase de vivero, considerando que las exigencias varían en función de las características de las especies y del estadio de crecimiento. De esta manera, una alternativa para obtener mayor eficiencia en la irrigación en esa etapa de producción ha sido la utilización de polímeros hidroretenedores, que pueden contribuir para la mayor retención de agua y la disminución del riego, lo que puede favorecer la producción de plantas, tanto en calidad como en cantidad (Navroski *et al.* 2015).

Estudios con polímeros hidroretenedores son realizados principalmente para el género *Eucalyptus* (Lopes *et al.* 2010, Navroski *et al.* 2015, Vicente *et al.* 2015), no obstante, para especies nativas como *Cordia trichotoma*, no existen en la literatura informaciones sobre la utilización de polímeros hidroretenedores incorporados en el sustrato, ni con relación a las necesidades hídricas durante el proceso de producción de plantas.

De esta manera, se plantea como hipótesis que la adición de polímero hidroretenedor en el sustrato reduce el consumo de agua, así como la utilización de láminas de riego alternadas a lo largo del periodo de producción favorecen el crecimiento de las plantas. El objetivo de este estudio es definir el régimen de riego que combinado, o no, con dosis de polímero hidroretenedor en el sustrato, es indicado para la producción de plantas de *Cordia trichotoma*.

MÉTODOS

El estudio fue desarrollado en el Laboratorio de Silvicultura y Vivero Forestal del Departamento de Ciencias Forestales (DCFL) (29° 43' 13" S e 53° 43' 17" O) de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM), ubicado en el Municipio de Santa Maria, RS, región sur del Brasil. La altitud del local es de 95 m s.n.m y el clima de la región, de acuerdo a la clasificación de Köppen, es del tipo "Cfa", subtropical húmedo, caracterizado por presentar temperatura media del

mes más frío entre -3 y 18 °C, y del mes más cálido superior a 22 °C, con lluvias bien distribuidas y precipitación media anual de 1.600 a 1.900 mm (Alvares *et al.* 2013).

Los diásporos de *Cordia trichotoma* utilizados para la producción de las plantas fueron colectados en junio de 2013, de árboles semilleros localizados en el Municipio de Santa Maria, los cuales fueron conducidos al laboratorio y colocados en bandejas de plástico, para un pre-secado natural durante 48 horas. En seguida, fueron macerados en un tamiz para retirar los pétalos persistentes, formándose el lote de diásporos que permaneció almacenado por ocho días a temperatura ambiente (temperatura y humedad relativa media de aproximadamente 14,5 °C y 90 %, respectivamente) hasta el momento de la siembra.

Las plantas fueron producidas en tubetes cilíndrico-cónicos de polipropileno con volumen de 110 cm³, acondicionados en bandejas de polipropileno con capacidad de 96 tubetes, siendo utilizado el sustrato comercial Carolina Soil®, a base de turba de *Sphagnum* sp., vermiculita expandida, calcáreo dolomítico, yeso agrícola y fertilizante NPK. En la fertilización de base fue utilizada el fertilizante de liberación controlada (FLC) Osmocote®, en la formulación NPK 18-05-09, en la dosis de 8 g L⁻¹ de sustrato. En el momento de la preparación del sustrato en una mezcladora, este y el FLC fueron mezclados y humedecidos, siendo posteriormente agregado el polímero hidroretenedor, previamente hidratado.

El llenado de los tubetes con el sustrato fue realizado en forma manual, siguiendo con la compactación del mismo sobre una mesa compactadora, completando posteriormente el llenado. La siembra fue realizada directamente en los recipientes, colocando en cada tubete de tres a cuatro diásporos y finalmente recubiertos con una fina camada del mismo sustrato.

El polímero hidroretenedor (hidrogel) utilizado fue un producto sintético mixto, de copolímero de acrilamida y acrilato de potasio que, según el fabricante, tiene la función de absorber y retener grandes cantidades de agua y nutrientes, con las siguientes características: polvo blanco insoluble en agua, con partículas de tamaño que varían de 0,3 a 1,0 mm, aniónico, con 10 % de humedad, densidad de 0,8 g cm⁻³ e índice de pH utilizable de 5 a 9, disponiendo de hasta 95 % de solución almacenada para la planta (5 % retenidos con alta tensión), capaz de absorber hasta 300 veces su masa en agua y 100 veces su volumen.

Considerando la emergencia lenta de las plántulas, las bandejas conteniendo a estas permanecieron dentro de un invernadero, posteriormente fue realizado el raleo, dejando una planta completamente desarrollada por contenedor. Pasados 140 días después de la siembra, las plantas fueron seleccionadas y clasificadas de acuerdo a su altura, y dispuestas en forma alternada en las bandejas que fueron distribuidas aleatoriamente y sometidas a las diferentes láminas de irrigación en área abierta del vivero, protegiéndolas con tela de media sombra (50 %). La protección con media sombra fue retirada en el momento de cada irrigación, y

para evitar la incidencia de precipitaciones sobre los tratamientos fueron utilizadas lonas plásticas transparentes.

De esta manera, evaluando las diferentes láminas de riego, el estudio fue desarrollado de noviembre de 2013 a mayo de 2014, siguiendo un diseño completamente aleatorio, en esquema factorial con parcela subdividida, donde en la parcela principal fueron aleatorizados seis regímenes de riego (cuadro 1) y en la subparcela, cuatro dosis del polímero hidroretenedor (0, 1,5, 3 y 4,5 g L⁻¹ de sustrato), con cuatro repeticiones por tratamiento.

Los tratamientos con regímenes de riego I-1, I-4 y I-6 permanecieron los 180 días en las mismas líneas de irrigación

y los tratamientos I-2 y I-5 pasaron por cambios de línea de irrigación a los 60 días, es decir, recibieron menor lámina (4 y 8 mm día⁻¹) durante los primeros 60 días, cuando fueron sometidos a una lámina mayor de 8 o 12 mm día⁻¹, respectivamente. El tratamiento con el régimen de riego I-3 pasó por un cambio de lámina a los 60 días y otro a los 120 días (cuadro 1).

Para definir el tiempo necesario de irrigación a ser aplicado en las láminas previstas en los tratamientos fue realizado una prueba de uniformidad de los aspersores, siguiendo el método descrito por Salassier *et al.* (2006). De acuerdo a esta prueba, las láminas efectivas de agua utilizadas 4; 8 y 12 mm día⁻¹, definidas con base a investigaciones desarrolladas por Lopes *et al.* (2007) y Dutra *et al.* (2016), fueron distribuidas en diferentes frecuencias y horarios diarios, buscando optimizar la automatización del sistema de irrigación (cuadro 2).

La fertilización de cobertura fue iniciada dos meses después de la aplicación de los regímenes de riego, utilizando sulfato de amonio y clorato de potasio, según la recomendación de Silva y Angeli (2006), con frecuencia quincenal.

A los 180 días después de la aplicación de los tratamientos fueron medidas las siguientes variables: altura (cm), diámetro del cuello (mm), número de hojas, materia seca de la parte aérea (g planta⁻¹), materia seca radical (g planta⁻¹), materia seca total (g planta⁻¹), área foliar (cm² planta⁻¹), índice de calidad de Dickson, calculado por medio de la fórmula descrita en Dickson *et al.* (1960) y la fluorescencia de la clorofila *a*.

La altura de la planta fue obtenida con la ayuda de una regla milimetrada, tomándose como padrón la yema apical de la misma, el diámetro del cuello con un calibre digital (precisión de 0,01 mm), siendo evaluadas 16 plantas por cada tratamiento. Para la obtención de materia seca, las

Cuadro 1. Regímenes de riego utilizados, considerando las diferentes fases de desarrollo (0-60, 61-120 y 121-180 días después de la aplicación de los tratamientos), en la producción de plantas de *Cordia trichotoma*.

Irrigation regime used, considering the different stages of development (0-60, 61-120 and 121-180 days after application of treatments), the production of *Cordia trichotoma* seedlings.

Regímenes de riego	Tiempo (días)		
	0 a 60	61 a 120	121 a 180
	Láminas de irrigación (mm día ⁻¹)		
I-1	4	4	4
I-2	4	8	8
I-3	4	8	12
I-4	8	8	8
I-5	8	12	12
I-6	12	12	12

Cuadro 2. Lámina de agua, frecuencia diaria, cantidad, horarios y tiempo de irrigación utilizados en la producción de plantas de *Cordia trichotoma*.

Water blade, daily attendance, amount, schedules and time of irrigation used in the production of *Cordia trichotoma* seedlings.

Lámina de agua (mm día ⁻¹)	Frecuencia (veces/día)	Cantidad (mm) en cada aplicación/ Horario de irrigaciones	Duración de cada irrigación (min.)
4	3	2 /10 h	6
		1 /13 h	3
		1 /16 h	3
8	3	4 /10 h 08 min.	15
		2 /13 h 05 min.	7
		2 /16 h 05 min.	7
12	3	4 /10 h 25 min.	10
		4 /13 h 14 min.	10
		4 /16 h 14 min.	9

raíces y la parte aérea de las plantas fueron seccionadas con la ayuda de una tijera de podar en la zona del cuello. La parte radical fue lavada sobre tamiz (mallas n° 4; 16 y 20), buscando retirar el sustrato retenido en las raíces. Las muestras de cada repetición fueron acondicionadas separadamente en bolsas de papel Kraft, identificadas y colocadas en estufa con circulación forzada de aire a 60 °C, hasta alcanzar peso constante. Después del secado, fueron pesadas en balanza digital de precisión (0,001 g), para la determinación de la materia seca de la parte aérea y de las raíces. Para los análisis destructivos fueron utilizadas dos plantas por repetición (ocho por tratamiento), totalizando 192 plantas.

El área foliar fue obtenida paralelamente con la materia seca aérea, utilizando las mismas muestras, siendo estas procesadas antes del secado del material. Las hojas fueron retiradas con la ayuda de una tijera de podar, siendo fijadas sobre papel blanco (hoja A4) y cubiertas por vidrio transparente. Fue utilizada una regla milimetrada para el dimensionamiento, y las muestras fueron fotografiadas con el uso de una cámara digital, marca Sony, modelo DSC T-100, apoyada sobre una estructura con altura fija de 0,50 m y zoom de 1,4x. Posteriormente, las imágenes fueron procesadas en el *software* de análisis de imágenes UTHSCSA *Image Tool for Windows* versión 3.00, obteniéndose el área foliar.

La fluorescencia de la clorofila *a* fue medida por medio de un fluorómetro de pulso modulado JUNIOR-PAM (Walz, Alemania), siendo determinadas las características fisiológicas: fluorescencia inicial (F_0), eficiencia fotoquímica máxima del PSII (F_v/F_m) y la tasa de transporte de electrones (*ETR*). La medición fue realizada entre 07:30 y 10:00, en cuatro plantas por tratamiento.

Los datos obtenidos fueron, inicialmente, evaluados en cuanto a las presuposiciones de normalidad y homogeneidad de varianza, las cuales, cuando no se cumplieron fueron transformados por medio del suplemento "Action" del Excel, para entonces realizarse el análisis de varianza. Cuando fue observada diferencia entre tratamientos por la prueba F, los mismos tuvieron sus medias comparadas por la prueba de Tukey y/o regresión polinómica, a 5 % de probabilidad de error. En el caso de efecto significativo de las ecuaciones cuadráticas, se determinó la dosis de máxima eficiencia técnica (DMET). En el análisis de los datos fue utilizado el paquete estadístico SISVAR (Ferreira 2011).

RESULTADOS

Se constató interacción significativa ($P < 0,05$) entre los tratamientos (regímenes de riego x dosis de polímero hidroretenedor) para altura de la parte aérea, mientras que para el diámetro del cuello (3,88 mm), no hubo interacción ni efecto significativo para los factores independientes.

De forma general, cuando las plantas fueron sometidas al régimen de riego I-6 (12 mm día⁻¹ constante), asociado con 4,5 g L⁻¹ de polímero hidroretenedor se observó menor

crecimiento en altura, comportamiento similar al régimen de riego I-1 (4 mm día⁻¹, constante), sin adición de polímero o con 1,5 g L⁻¹ de sustrato. Además, en los tratamientos sin adición del polímero hidroretenedor, el mayor crecimiento en altura fue observado en el tratamiento I-5 (figura 1).

Para materia seca de la parte aérea y materia seca total, los regímenes de riego y las dosis de polímero presentaron efecto significativo del factor independiente y, para materia seca radical e índice de calidad de Dickson, el análisis demostró efecto solamente para regímenes de riego ($P < 0,05$). El número de hojas (6,10) y el área foliar (38,50 cm² planta⁻¹) no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (cuadro 3).

La mayor materia seca de la parte aérea y materia seca total fueron obtenidos con la dosis de 2,42 y 2,37 g L⁻¹ de polímero hidroretenedor agregado al sustrato, respectivamente (figura 2A y 2B).

La materia seca de la parte aérea fue semejante en los regímenes de riego I-1, I-2, I-3 e I-4 (cuadro 3), mientras que en las mayores láminas de irrigación (I-5 e I-6) se registraron las menores medias. La materia seca radical y materia seca total fueron menores solamente en el régimen de riego I-6, no difiriendo estadísticamente de los tratamientos I-2, I-3, I-4 e I-5. El índice de calidad de Dickson observado en el régimen de riego I-1 (4 mm día⁻¹, constante) fue influenciado expresivamente por la materia seca radical y materia seca total.

Por medio del análisis de varianza, para los datos de fluorescencia de la clorofila *a*, se pudo verificar que para la variable fluorescencia inicial (F_0) hubo interacción significativa entre los tratamientos, siendo que los menores valores se verificaron en los regímenes de riego I-1, I-2 e I-4 (sin la aplicación de lámina de 12 mm día⁻¹), con poca influencia de la dosis del polímero hidroretenedor (figura 3). Con la aplicación de la lámina de 12 mm día⁻¹, desde los 120 hasta los 180 días de crecimiento de las plantas, en I-3, existe un aumento de F_0 cuando el polímero es utilizado en dosis superiores a 3 g L⁻¹.

Los tratamientos no presentaron efecto significativo sobre el rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (F_v/F_m), no obstante, para la tasa de transporte de electrones (*ETR*) hubo efecto significativo solamente para el factor régimen de riego ($P < 0,05$), lo que demostró superioridad del régimen de riego I-2 (cuadro 4). Los regímenes de riego I-3, I-5 e I-6 demostraron menor *ETR*, principalmente, observando la lámina constante de 12 mm día⁻¹, indicando la menor calidad del tratamiento.

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados se puede observar que las menores tasas de crecimiento en altura de las plantas de *Cordia trichotoma* se presentaron con el régimen de riego I-1 (4 mm día⁻¹ constante), sin la adición de polímero o con la dosis de 1,5 g L⁻¹, indicando el efecto de la limitación hí-

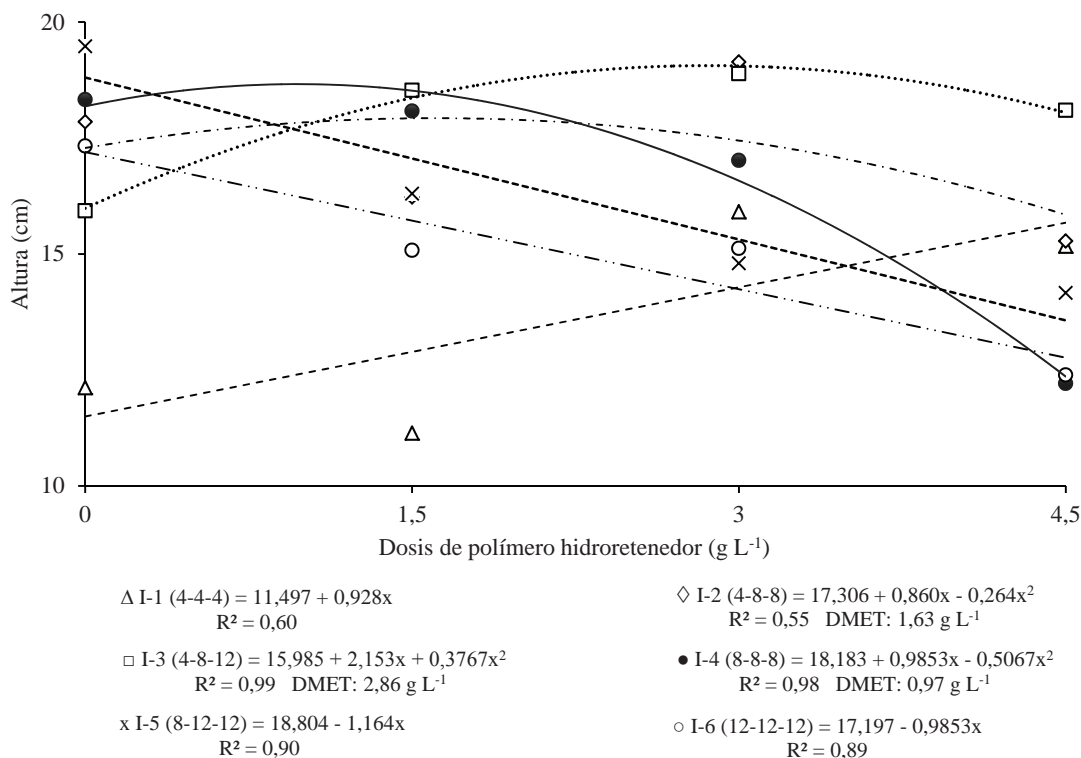


Figura 1. Crecimiento en altura de plantas de *Cordia trichotoma* en función de las dosis de polímero hidroretenedor, 180 días después de la aplicación de diferentes regímenes de riego.

Growth in height *Cordia trichotoma* seedlings according to water retaining polymer doses, 180 days after the application of different irrigation regimes.

Cuadro 3. Materia seca de la parte aérea (MSPA), materia seca radical (MSR), materia seca total (MST), índice de calidad de Dickson (ICD), número de hojas (NH) y área foliar (AF) de plantas de *Cordia trichotoma*, 180 días después de la aplicación de diferentes regímenes de riego.

Biomass of the aerial part (BAP), biomass of root (BR), total biomass (TB), Dickson quality index (DQI), leaf number (LF) and leaf area (LA) of *Cordia trichotoma* seedlings, 180 days after the application of different irrigation regimes.

Regímenes de riego (mm día ⁻¹)	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	ICD	NH	AF (cm ²)
I-1 (4 - 4 - 4)	0,547 a*	0,645 a	1,193 a	0,263 a	6,38 ^{ns}	45,63 ^{ns}
I-2 (4 - 8 - 8)	0,477 ab	0,423 ab	0,899 ab	0,160 b	6,63	38,08
I-3 (4 - 8 - 12)	0,489 ab	0,464 ab	0,952 ab	0,168 b	5,67	37,37
I-4 (8 - 8 - 8)	0,493 ab	0,506 ab	0,999 ab	0,182 b	6,79	41,94
I-5 (8 - 12 - 12)	0,460 b	0,429 ab	0,880 ab	0,170 b	5,75	32,71
I-6 (12-12-12)	0,373 c	0,387 b	0,760 b	0,159 b	5,38	35,29
Media	-	-	-	-	6,10	38,50
CV (%)	-	-	-	-	27,66	17,33

I: Irrigación (0-60 días; 61 a 120 días; 121 a 180 días en la fase de crecimiento). CV: Coeficiente de variación. * Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren entre sí por el test de Tukey, a 5 % de probabilidad de error. ^{ns} F no significativo a 5 % de probabilidad.

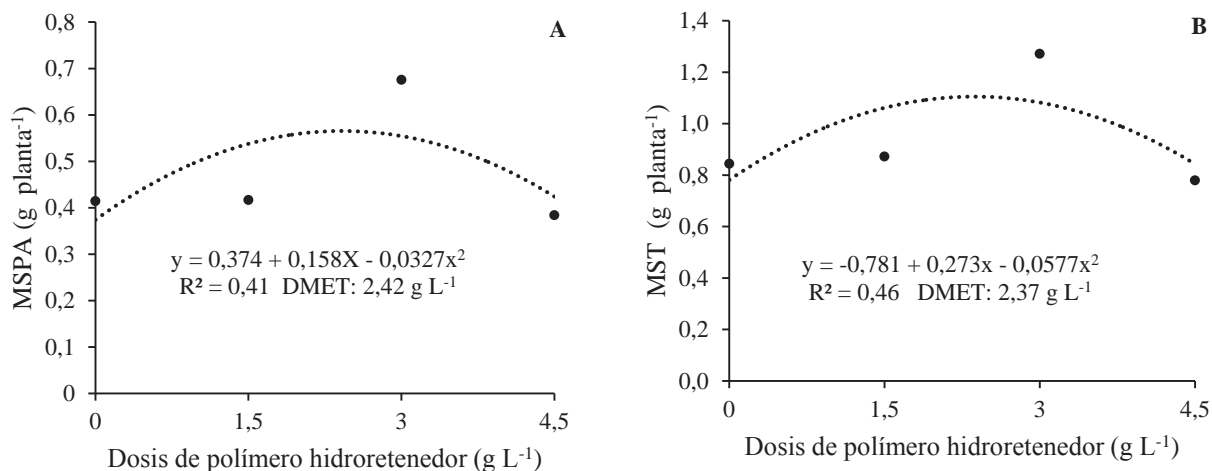


Figura 2. A - Materia seca de la parte aérea (MSPA) y B - materia seca total (MST) de plantas de *Cordia trichotoma*, 180 días en función de las dosis de polímero hidroretenedor.

A) Biomass of the aerial part (BAP) and B) total biomass (TB) seedlings of *Cordia trichotoma* 180 days retaining polymer doses.

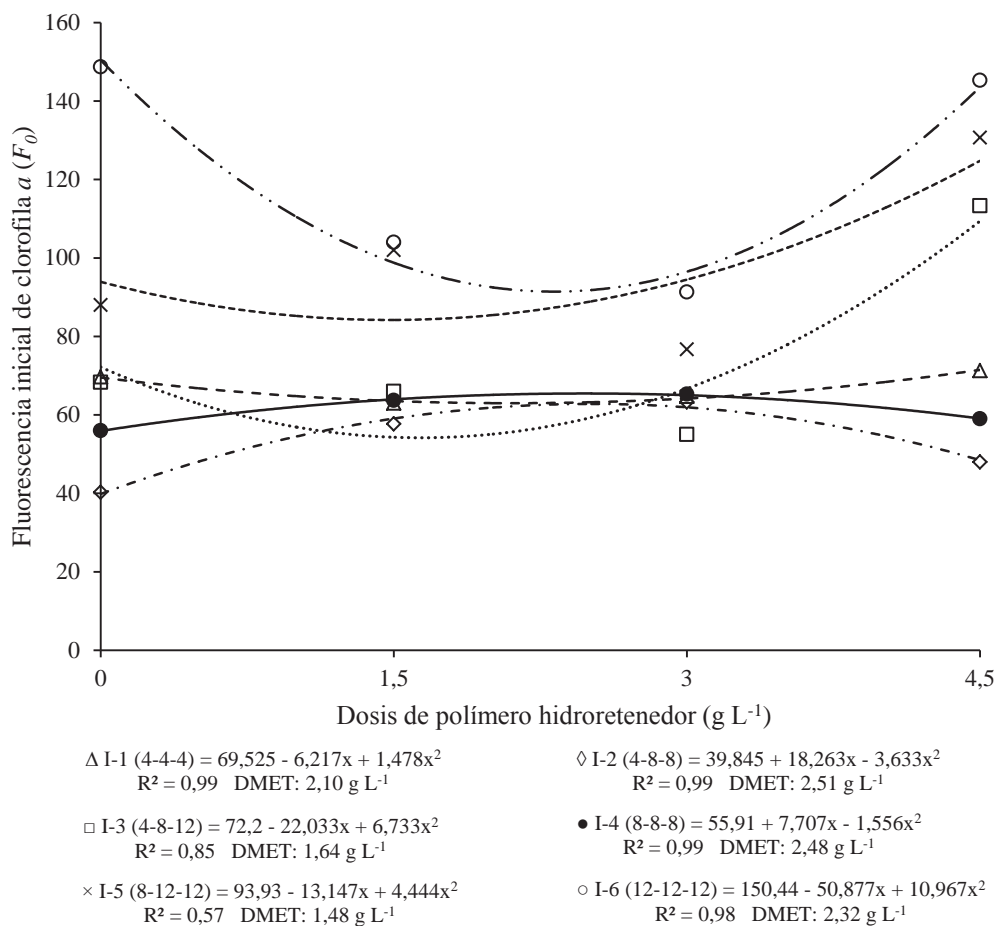


Figura 3. Fluorescencia inicial de la clorofila a (F_0) de plantas de *Cordia trichotoma*, 180 días después de la aplicación de diferentes regímenes de riego.

Initial chlorophyll fluorescence (F_0) of *Cordia trichotoma* seedlings 180 days after the application of different irrigation regimes.

Cuadro 4. Rendimiento cuántico máximo del fotosistema II (F_v/F_m) y tasa de transporte de electrones (ETR) de plantas de *Cordia trichotoma*, 180 días después de la aplicación de diferentes regímenes de riego.

Maximum quantum yield of photosystem II (F_v/F_m) and electron transport rate (ETR) of *Cordia trichotoma* seedlings 180 days after the application of different irrigation regimes.

Regímenes de riego (mm día ⁻¹)	F_v/F_m	ETR
I-1 (4 - 4 - 4)	0,6550 ^{ns}	54,77 b*
I-2 (4 - 8 - 8)	0,7358	85,06 a
I-3 (4 - 8-12)	0,6800	43,17 cd
I-4 (8 - 8 - 8)	0,6975	51,86 bc
I-5 (8 -12-12)	0,6108	42,85 d
I-6 (12-12-12)	0,6833	21,58 e
Media	0,6771	49,88
CV%	13,63	16,64

I: Irrigación (0-60 días; 61 a 120 días; 121 a 180 días en la fase de crecimiento). CV: Coeficiente de variación. ^{ns} F no significativo al 5 % de probabilidad. * Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren entre sí por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

drica en el crecimiento de las plantas (figura 1). Ese resultado puede ser explicado por Taiz y Zeiger (2004), quienes describieron que el estrés hídrico disminuye la actividad fotosintética. Conforme Pallardy (2008), el déficit hídrico reduce las actividades fisiológicas relacionadas con la división y el crecimiento de las células, mientras que la fotosíntesis, por el cierre de las estomas, reduce la fijación de carbono, la formación y expansión foliar, pudiendo, inclusive, inducir a la caída de hojas.

Cuando el polímero hidrotetenedor es asociado, se puede observar que las menores láminas de agua favorecen el crecimiento de las plantas de *Cordia trichotoma* (figura 1). Por otra parte, se constató disminución en la altura de las plantas cuando ese insumo fue utilizado con mayores láminas (inclusión de 12 mm día⁻¹ en el riego). Eso ocurrió porque el exceso de agua también puede provocar una disminución del crecimiento, hecho también destacado por Navroski *et al.* (2015), quienes verificaron que una mayor lámina de irrigación (20 mm) y el uso del hidrogel provocaron disminución en el crecimiento de plantas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Según Pallardy (2008), la fotosíntesis es mucho más sensible a la disponibilidad de agua, tanto en suelos secos, así como en suelos encharcados, lo que repercute directamente sobre el crecimiento de las plantas. Las raíces de las plantas producidas con exceso de humedad reducen la capacidad de las mismas de realizar intercambios gaseosos y de absorber agua y nutrientes, una vez que la planta reduce la transpiración y, consecuentemente, el metabolismo es

perjudicado, habiendo reducción de su crecimiento (Medri *et al.* 2011).

Buscando identificar el régimen de riego que proporcionó crecimiento adecuado para plantas de *Cordia trichotoma* sin desperdicio de agua, fue posible verificar que I-2 (4-8-8 mm día⁻¹) proporcionó una altura semejante a las combinaciones con láminas mayores, I-4 (8-8-8 mm día⁻¹) e I-6 (12-12-12 mm día⁻¹), inclusive sin adición de polímero hidrotetenedor. Considerando esa variable, sería posible una mayor economía de agua con la adición de alrededor de solamente 3 g L⁻¹ del polímero hidrotetenedor, utilizando I-1 (4 mm día⁻¹ constante) (figura 1), lo que posibilitaría una economía de, aproximadamente, 50 % de agua en relación al régimen I-4.

Diferentes resultados son observados en la literatura en cuanto a la influencia de la utilización de polímeros hidrotetenedores en el crecimiento de plantas. Maldonado-Benitez *et al.* (2011) encontraron mayores alturas y diámetro de cuello en la producción de plantas de *Pinus greggii* Engelm utilizando la dosis de 4 g L⁻¹ de hidrogel. Vicente *et al.* (2015) observaron que la utilización de hidrogel proporcionó mayor crecimiento de las mudas de *Eucalyptus* sp., así como Navroski *et al.* (2015) verificaron que, además de obtener mejor crecimiento y calidad de plantas, el uso de hidrogel posibilitó la reducción de las láminas de irrigación en la producción de plantas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

Regímenes de riego con mayores láminas (I-5 e I-6) demostraron menor incremento de la materia seca (cuadro 3). No obstante, a pesar del reducido coeficiente de determinación observado (figura 2A y 2B), dosis intermedia del polímero (aproximadamente 2,4 g L⁻¹) aumentó la materia seca aérea y, consecuentemente, la total. Esto sugiere que *Cordia trichotoma* es una especie de demanda hídrica intermediaria. La mayor materia seca de la parte aérea (cuadro 3), demuestra que el exceso de humedad ocasionado por la utilización de la lámina de 12 mm día⁻¹, perjudicó el desempeño de las plantas.

El mayor valor del índice de calidad de Dickson observado para el régimen de riego I-1 (4 mm día⁻¹ constante) (figura 3) fue fuertemente influenciado por la materia seca radical, lo que posiblemente esté asociado a la necesidad de expansión de las raíces en función de la restricción hídrica.

Fisiológicamente la menor fluorescencia de la clorofila *a* (F_0) observada en el régimen de riego I-2 (4-8-8 mm día⁻¹) (figura 3), en la ausencia del polímero hidrotetenedor, demuestra las mejores condiciones de las plantas en relación a los demás tratamientos. De acuerdo con Prado y Casali (2006), menores valores de F_0 son favorables, pues en la ausencia de luz, el aparato fotosintético de una planta que no esté bajo condiciones de estrés se encuentra totalmente oxidado. Esta condición refleja que la mayor cantidad de energía esté siendo direccionada a la etapa fotoquímica de la fotosíntesis, y no perdida por fluorescencia.

Los regímenes de riego con lámina de agua de 12 mm dia^{-1} (I-3, I-5 e I-6) en alguna de las fases de crecimiento presentan valores superiores de F_0 , indicando reducción de la capacidad fotosintética de las plantas. De acuerdo con Medri *et al.* (2011), plantas sometidas al exceso de humedad presentan reducción en la tasa de crecimiento relativo, en función de la caída en la tasa fotosintética, con la consecuente reducción en la producción de fotoasimilados.

Tatagiba y Pezzopane (2007) observaron mayores valores de F_0 en plantas establecidas en campo de dos clones de *Eucalyptus* sp., durante la época seca, en relación a la lluviosa, lo que puede indicar que el sistema de absorción de luz del PSII actuó más eficientemente en la época lluviosa, en relación a la época seca. Esto sugiere que los clones de *Eucalyptus* sp. presentan demanda hídrica diferente al de *Cordia trichotoma*, y que la especie del presente estudio es menos exigente en agua y más tolerante a ambientes más secos, de que los clones de *Eucalyptus* sp., hecho confirmado por Lopes *et al.* (2007) y Navroski *et al.* (2015).

Considerando la tasa de transporte de electrones, se puede considerar que la lámina de 4 mm dia^{-1} (I-1), presentó resultado inferior al régimen I-2 (4-8-8 mm dia^{-1}), lo que posiblemente significa una reacción negativa de las plantas al déficit de humedad. De esta manera, atendiendo que por medio de la ETR es posible observar que láminas conteniendo 12 mm dia^{-1} de irrigación son inadecuadas, indicando la baja demanda hídrica de esta especie.

Los resultados de esta variable divergen de los observados por Mantoan (2013), que no encontró diferencia entre los tratamientos, al analizar la capacidad de recuperación de *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer después de una condición de estrés hídrico.

Así, con base a estos resultados de las variables de fluorescencia, se presupone que la distribución de energía entre los complejos colectores de luz del PSII, los centros de reacción y el aceptor final del PSII presentaron diferencias entre tratamientos utilizados, pudiendo las variables evaluadas por la emisión de fluorescencia ser utilizadas para estudios del comportamiento del crecimiento de plantas en viveros.

En el caso específico de *Cordia trichotoma*, los resultados que demostraron diferencias significativas entre las variables de fluorescencia de la clorofila *a* analizadas, indican que en la producción de plantas esta especie es sensible a los diferentes regímenes de riego, bien como a las dosis de polímero hidroretenedor. La sensibilidad de la especie puede ser percibida por la intolerancia al estrés hídrico, causado principalmente por el exceso de agua en la irrigación.

En el análisis de crecimiento de las plantas de *Cordia trichotoma* en vivero, dados los resultados observados, las variables que más contribuyeron en las condiciones del régimen de riego y dosis de polímero hidroretenedor a ser agregado en el sustrato fueron altura, fluorescencia inicial y tasa de transporte de electrones. Las variables materia seca de la parte aérea, área foliar e índice de calidad de

Dickson fueron importantes en la constatación de la habilidad de la especie en modificar el direccionamiento de los fotoasimilados. Los resultados de materia seca radical evidenciaron la estrategia de la especie en aumentar el sistema radical en busca de agua, hecho constatado en el menor régimen de riego (4 mm dia^{-1}) constante a lo largo del tiempo. De esta forma, se entiende que dicho aumento no indica calidad superior de las plantas, pero sí respuesta a una situación de estrés ambiental (menor disponibilidad de agua).

El sistema radical de la planta es un factor de calidad post plantación. Una planta con un buen sistema radical tiene mayor sobrevivencia que una planta con un sistema radical pobre (Haase 2008).

La supervivencia y el crecimiento inicial de especies forestales en campo son desempeños posibles de prever por medio de la observación de características morfológicas de las plantas, como la altura y el diámetro del cuello (Ritchie *et al.* 2010). El diámetro del cuello de una planta en envase es el mejor predictor de supervivencia. La altura de las plantas suele no tener relación con la supervivencia cuando las condiciones del sitio son buenas. Sin embargo, las plantas altas pueden tener menor supervivencia en sitios rigurosos (Mexal y Landis 1990). En general, a medida que aumenta el diámetro del cuello de la planta, aumenta la supervivencia en plantación. Las prácticas de manejo que reducen el crecimiento en altura (leve estrés hídrico, poda aérea) pueden minimizar este riesgo.

Las variables diámetro de cuello y número de hojas, no se mostraron adecuadas para la selección del mejor tratamiento, a pesar de algunas investigaciones (Maldonado-Benitez *et al.* 2011, Bernardi *et al.* 2012) haber constatado respuestas indicativas por medio de esas variables para otras especies arbóreas.

De forma general, se puede inferir que, un crecimiento adecuado de las plantas de *Cordia trichotoma* a nivel de vivero se puede obtener, con una variación de la lámina de agua a lo largo del periodo, con 4-8-8 mm dia^{-1} , modificados bimensualmente. Por lo tanto, es posible la utilización de una mejor lámina en el inicio del crecimiento, cuando las plantas todavía presentan menores dimensiones, reduciendo así el consumo de agua. La utilización de lámina de 4 mm dia^{-1} en la producción de plantas es posible, desde que sea asociada con la adición de la dosis de, aproximadamente, 2,4 g L^{-1} de polímero hidroretenedor.

CONCLUSIONES

La hipótesis formulada: la adición de polímero hidroretenedor en el sustrato reduce el consumo de agua en el riego de plantas de *Cordia trichotoma* es confirmada, al igual que la utilización de láminas de riego alternadas a lo largo del periodo de producción favorece el crecimiento de las plantas.

La utilización de láminas de riego con variación bimensual de 4-8-8 mm dia^{-1} presenta, de manera general,

en las condiciones en que este trabajo fue conducido, los mejores resultados para las variables morfológicas (altura) y fisiológicas evaluadas.

La utilización del polímero hidrorretedor, en aproximadamente 2,4 g L⁻¹ de sustrato, puede permitir la utilización continua de una lámina de riego de 4 mm día⁻¹.

REFERENCIAS

- Alvares CA, JL Stape, PC Sentelhas, JLM Gonçalves, G Sparovek. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6): 711-728.
- Bernardi MR, MJ Sperotto, O Daniel, ACT Vitorino. 2012. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. *Cerne* 18 (1): 67-74.
- Carvalho J de A, RF Aquino, GL Mesquita, FC Rezende, GM Pereira. 2011. Utilização de polímero hidro retentor no plantio de mudas de cafeeiro. *Engenharia na Agricultura* 19(2): 164-171.
- Coradin L, A Siminski, A Reis. 2011. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro-região Sul. Brasília, Brasil. Ministerio do Meio Ambiente. 934 p.
- Dickson A, AL Leaf, JF Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36:11-13.
- Dutra AF, MM Araujo, F Turchetto, DG Rorato, SC Aimi, DR Gomes, T Nishijima. 2016. Substrate and irrigation scheme on the growth of *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho) seedlings. *Ciência Rural* 46(6): 1007-1013.
- Ferreira DF. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* 35(6): 1039-1042.
- Haase DL. 2008. Understanding forest seedling quality: measurements and Interpretation. *Tree Planters' Notes* 52: 24-30.
- Landis TD, RK Dumroese, DL Haase. 2010. Seedling processing, storage, and outplanting. Washington DC, USA. Department of Agriculture Forest Service. 200 p.
- Lopes JLW, IA Guerrini, JCC Saad. 2007. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. *Revista Árvore* 31(5): 835-843.
- Lopes JLW, MR Silva, JCC Saad, TS Angélico. 2010. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. *Ciência Florestal* 20(2): 217-224.
- Maldonado-Benitez KR, A Aldrete, J López-Upton, H Vaquera-Huerta, VM Cetina-Alcalá. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato com hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia* 45: 389-398.
- Mantoan LPB. 2013. Recuperação das trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de *Ammona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer submetidas a estresse hídrico. Master Thesis (Mestrado em Ciências Biológicas). Botucatu, Brasil. Universidade Estadual Paulista. 123 p.
- Medri C, ME Medri, EA Ruas, LA Souza, PS Medri, S Sayhun, E Bianchini, JA Pimenta. 2011. Morfoanatomia de órgãos vegetativos de plantas juvenis de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) submetidas ao alagamento do substrato. *Acta Botanica Brasilica* 25(2): 445-454.
- Mexal JG, TD Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In Rose R, SJ Campbell, TD Landis eds. Target Seedling Symposium, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RM-200. p. 17-35.
- Navroski MC, MM Araujo, CS Fior, FS Cunha, ALP Berghetti, MO Pereira. 2015. Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Scientia Forestalis* 43(106): 467-476.
- Novaes AB, JGA Carneiro, DG Barroso, PSS Leles. 2002. Avaliação do potencial de regeneração de raízes de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em diferentes tipos de recipientes, e o seu desempenho no campo. *Revista Árvore* 26(6): 675-681.
- Pallardy SG. 2008. Physiology of woody plants. 3 ed. San Diego, USA. Academic Press. 454 p.
- Prado CHBA, CA Casali. 2006. Fisiologia vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral. Barueri, SP, Brasil. Editora Manole. 466 p.
- Ritchie GA, TD Landis, RK Dumroese, DGA Haase. 2010. Assessing Plant Quality. Cap. 2. In Landis TD, RK Dumroese, DL Haase. The Container Tree Nursery Manual. Agriculture Handbook. 674. Washington DC, USA. Department of Agriculture Forest Service. p. 15-81.
- Salassier B, AA Soares, EC Mantovani. 2006. Manual de irrigação. 8 ed. Viçosa, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 625 p.
- Silva PHM, A Angeli. 2006. Implantação e Manejo de Florestas Comerciais. Piracicaba, Brasil. IPEF. 14 p. (Documentos Florestais, 18).
- Sobral M, JA Jarenkow, P Brack, B Irgang, J Larocca, RS Rodrigues. 2006. Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil. São Carlos, Brasil. RiMA/Novo Ambiente. 350 p.
- Taiz L, E Zeiger. 2004. Fisiologia vegetal. 4 ed. Porto Alegre, Brasil. Artmed. 720 p.
- Tatagiba SD, JEM Pezzopane. 2007. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas em dois clones de *Eucalyptus*. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal* 10(12): 1-14.
- Vicente MR, AA Mendes, NF Silva, FR Oliveira, MG Motta Júnior, VOB Lima. 2015. Uso de gel hidrorretentor associado à irrigação no plantio do eucalipto. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 9(5): 344-349.

Recibido: 14.09.16

Aceptado: 05.01.17

