

Eficiencia del uso del agua transpirada (w) y normalizada (k_{Da}) en plantas jóvenes de *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.), en la región de Coquimbo, Chile

*Efficiency of the transpired (w) and normalized water (k_{Da}) in young *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) plants, in the Coquimbo region, Chile*

Cristian Kremer^{1*}, Felipe Parada, Ian Homer, Oscar Seguel

RESUMEN

El interés por el cultivo de *Jatropha curcas* L. ha aumentado en los últimos años producto de su potencial bioenergético y su eficiencia en el uso del agua. La literatura con respecto a esto último es, sin embargo, contradictoria. La eficiencia del uso del agua transpirada (w) ha sido descrita como biomasa seca (MS) / agua transpirada (T) = $k_{Da} Da^{-1}$, donde k_{Da} es una constante dependiente del cultivo y Da es el déficit de presión de vapor. Estos parámetros han sido ampliamente determinados en cereales; no obstante, existe escasa literatura específicamente en *Jatropha*, y ninguna proveniente de Chile. El objetivo de este estudio fue determinar w y k_{Da} en plantas jóvenes de *Jatropha curcas* L., y comparar los valores obtenidos con otras especies de interés reportados en la literatura. El ensayo se realizó en la región de Coquimbo, Chile, en plantas de un año. Se establecieron tres frecuencias de riego, cada 8 (T1), 14 (T2) y 24 días (T3). La transpiración se precisó a través de lisímetros y la biomasa producida se obtuvo cortando y secando las plantas cada 24 días. Los valores encontrados de w y k_{Da} fueron de 4,30 g kg⁻¹ y 3,30 g kPa kg⁻¹ respectivamente. Estos valores están dentro de los rangos reportados para cultivos tradicionales como trigo, cebada o arroz, lo que pone en duda la efectividad de *Jatropha* como un cultivo comercial en sectores de restricción hídrica.

Palabras clave: eficiencia del uso del agua, eficiencia del uso del agua normalizada, estrés hídrico, *Jatropha*.

ABSTRACT

*Interest in the cultivation of *Jatropha curcas* L. has increased in recent years. The previous is a product of its bioenergetic potential, and its efficiency in the use of water. The literature regarding the latter is however contradictory. The transpiration water use efficiency (w) has been described as dry biomass (MS) / transpired water (T) = $k_{Da} Da^{-1}$, where k_{Da} is a constant dependent on the crop and Da is the vapor pressure deficit. These parameters have been widely determined in cereals; however, there is little literature specifically on *Jatropha*, and none from Chile. In this way, the objective of this study was to determine w and k_{Da} in young *Jatropha curcas* L. plants, and to compare the values obtained with other species of interest reported in the literature. The test was carried out in the Coquimbo region, Chile, on one-year-old plants. Three irrigation frequencies were established, each: 8 (t1); 14 (t2), and; 24 days (t3). Transpiration was determined through lysimeters and the biomass produced was obtained by cutting and drying the plants every 24 days. The obtained values of w and k_{Da} were 4.30 g kg⁻¹ and 3.30 g kPa kg⁻¹ respectively, these are within the ranges reported for traditional crops such as wheat, barley or rice, questioning the effectiveness of *Jatropha* as a commercial crop in areas of water restriction.*

Keywords: water use efficiency, weighted water use efficiency, water stress, *Jatropha*.

Introducción

Chile vive una grave crisis de disponibilidad hídrica, especialmente en las zonas de clima

semiárido a árido (centro-norte del país), donde la relación demanda/disponibilidad se ve afectada por (I) la escasa precipitación recibida durante los últimos 10 años (entre un 25 y 45% menos) y (II)

¹ Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile.

* Autor por correspondencia: ckremer@uchile.cl

la alta competencia por este recurso de los distintos actores económicos y sociales (Garreaud *et al.*, 2017). Una manera de enfrentar este escenario es diversificar la matriz productiva con especies de bajos requerimientos hídricos, resistentes y resilientes a la sequía. Actualmente existe una búsqueda de nuevas especies vegetales que tengan impacto en la producción de energía y puedan ser eficientes en el uso de los recursos suelo y agua. Dentro de este contexto el cultivo de *Jatropha curcas* L. (*Jatropha*) se ha presentado como una alternativa (Siang, 2009, Divankara *et al.*, 2010).

Jatropha pertenece a la familia Euphorbiaceae, con aproximadamente 170 especies conocidas. Es un árbol pequeño o arbusto de gran tamaño (Ashwani and Satyawati, 2008) con un rango de distribución por Centro y Sudamérica (USDA, 2009). El potencial bioenergético de este cultivo se debe al alto contenido de aceite que tienen sus semillas, el cual puede llegar hasta un 35% en base peso fresco (Maes *et al.*, 2009b). A ello se agrega su alta eficiencia en el uso del agua (Achten *et al.*, 2008). Openshaw (2000) menciona que este cultivo presenta rápido establecimiento, con un alto potencial para desarrollarse en zonas áridas, habituales en suelos con limitantes severas para la producción de cultivos, ya sea por fertilidad, salinidad o escasez del recurso agua (Fujimaki and Kikuchi, 2010; Silva *et al.*, 2010; Abou Kheira y Atta, 2008). Sin embargo, la información sobre sus requerimientos hídricos es contradictoria. Ouwens *et al.* (2007) señalan que para su sobrevivencia se deben alcanzar 300 mm de precipitaciones anuales y con valores mínimos para la producción entre 500 y 750 mm al año. Su nivel óptimo productivo está en el orden de 750 a 1500 mm (Suhas *et al.*, 2016; Ouwens *et al.*, 2007; Jongschaap *et al.*, 2007; Biswas *et al.*, 2006; Gour, 2006). Maes *et al.* (2009a), al analizar la zona de origen del cultivo de *Jatropha* (Centroamérica), determinaron que el 95% de los especímenes observados crecen en zonas con 944 mm de precipitaciones al año. Agregan que es poco común encontrar *Jatropha* en zonas áridas y semiáridas, además del alto riesgo de obtener menores rendimientos bajo estas condiciones. Suhas *et al.* (2016) y Fini *et al.* (2013) destacan que *Jatropha* es tolerante a la sequía, pero al contrario de lo que se cree, no es un cultivo que requiera menos agua, lo cual plantea dudas sobre su rentabilidad en regiones áridas y semiáridas.

La eficiencia del uso del agua transpirada (w) se define como la cantidad de biomasa expresada

como materia seca producida por unidad de agua transpirada por un cultivo (Tanner y Sinclair, 1983). Sin embargo, este parámetro no posee una forma estandarizada de estimación, lo que genera diferencias significativas en el valor obtenido para la misma especie (Katerji *et al.*, 2008). Para disminuir la variabilidad de w específicamente con respecto a las diferencias climáticas, existen modelos simples para determinarla tales como: $w = k_{Da} D_a^{-1}$, donde D_a corresponde al déficit de presión de vapor y k_{Da} es un parámetro dependiente del cultivo, conocido también como eficiencia en el uso del agua normalizada. La normalización por D_a corregiría las variaciones climáticas en w , mientras que k_{Da} permanecería razonablemente constante (Kremer *et al.*, 2012).

Por lo tanto, la determinación experimental de k_{Da} permitiría proyectar el potencial de desarrollo de la *Jatropha*, en zonas climáticas distintas a aquellas donde se ha realizado la etapa experimental, disminuyendo la variabilidad ambiental asociada a la w .

En consecuencia, y en el entendido de que existe escasa información de las respuestas hídricas de este cultivo en Chile que contraste la obtenida en el extranjero, en específico en los valores de w y k_{Da} , el objetivo del trabajo fue desarrollar un ensayo que permitiera una evaluación preliminar de estas variables en plantas jóvenes de *Jatropha curcas* L. y comparar los valores encontrados con otras especies de interés reportados en la literatura.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El experimento se realizó en la Estación Experimental Las Cardas, de la Universidad de Chile, ubicada en la comuna de Coquimbo, región de Coquimbo, Chile (30° 13' y 30° 19' S y los 71° 13' a 71° 19' E). El clima se caracteriza por ser desértico con influencia marina y régimen de humedad xérico con tendencia mediterránea (Santibáñez *et al.*, 2017), con un régimen térmico caracterizado por una temperatura máxima media de enero de 30,5 °C y una mínima media de julio de 5,4 °C. Se registran anualmente 1950 días-grado y 550 horas de frío, con una alta variabilidad pluviométrica. Además las precipitaciones son de régimen frontal y se presentan en invierno, donde precipita entre el 75% y el 85% de los montos anuales. La precipitación

media anual es de 152,7 mm, con un déficit hídrico de 1.850 mm y un período seco de 9-10 meses.

Diseño experimental

Se utilizaron 120 plantas jóvenes de *Jatropha curcas* L., de 12 meses, obtenidas de semilla y germinadas en invernaderos propios del sitio de estudio (3 tratamientos de disponibilidad hídrica, con 40 plantas cada uno). Cada planta fue trasplantada a un contenedor de 20 litros con perforaciones en su base para un drenaje libre del agua. Se utilizó un sustrato correspondiente a 30% de arena y 70% de tierra vegetal. Cada contenedor fue cubierto con polietileno de 1 mm de espesor de color negro para evitar la evaporación. Se utilizó una fertilización proporcional a 180 unidades de nitrógeno y 130 unidades de fósforo por hectárea (N_2 y P_2O_5 respectivamente), dividida en 2 aplicaciones, al inicio y mediados del ensayo. Esto con el fin de homogenizar el factor de fertilidad y evitar cualquier deficiencia nutricional. El experimento tuvo una duración de 6 meses (diciembre a mayo), durante los cuales se realizaron 7 evaluaciones, en las fechas indicadas en la Tabla 1.

Dado que la w puede variar en función de la disponibilidad hídrica del cultivo, con el fin de abarcar un mayor rango de respuestas se aplicaron 3 tratamientos de déficit hídrico, los cuales se definieron como frecuencias de riego, y se detallan en la Tabla 2. Cada tratamiento constó de 35 plantas, de las cuales se utilizaron 5 para cada fecha de medición.

Como se indica en la Tabla 2, cada tratamiento tuvo dos frecuencias de riego: la primera responde al período de mayor demanda hídrica (diciembre-enero) y la segunda al período en que hay una disminución sistemática de esta (febrero-mayo). Los tratamientos fueron dispuestos con orientación

Tabla 1. Fechas de mediciones de biomasa.

Medición	Fecha
1	18 de diciembre*
2	11 de enero
3	23 de enero
4	16 de febrero
5	12 de marzo
6	5 de abril
7	5 de mayo

* Comienzo del ensayo.

Tabla 2. Frecuencia de riego de los tratamientos.

Tratamiento	Diciembre-enero	Fin Enero a mayo
	Frecuencia de riego en días	
1	6	8
2	8	12
3	14	24

norte-sur, y cada uno de ellos se ordenó en dos hileras. La ubicación de cada par de hileras fue efectuada al azar. En cada tratamiento las plantas se distribuyeron en un marco de 0,6 x 1,2 metros, y con un camino de 2 metros entre cada tratamiento.

Estimación de la transpiración

El agua transpirada se determinó a través de lisímetros de masa donde la unidad a masar correspondió al contenedor de 20 litros. La transpiración del cultivo se consideró igual a la variación de la masa del contenedor ocurrida entre cada evento de riego, una vez drenado el exceso de agua. Para su determinación, previo a un riego, se masó cada contenedor por medio de una balanza de terreno (Izetta, modelo PK60). Posteriormente se aplicó una carga de agua de 4,5 litros (correspondiente al 90% de la humedad aprovechable del sustrato), y se dejó que el agua drenara libremente por un período aproximado de 4 horas para luego volver a masar los contenedores. La transpiración del período (At) fue determinada como:

$$At = Mdr - Mar - Cr \quad (1)$$

Donde:

At = Agua transpirada (kg).

Mar = Masa contenedor previo al riego (kg).

Mdr = Masa contenedor después del riego (kg).

Cr = Factor de crecimiento del cultivo (kg).

El factor de crecimiento (Cr) se determinó como la regresión lineal entre la sumatoria de días transcurridos del ensayo y la sumatoria de biomasa acumulada para el mismo periodo. Con esta información, se descontó la masa fresca promedio acumulada para cada periodo de medición.

La transpiración diaria ($T_{día}$) se determinó utilizando un factor de ajuste (F) como se representa en la ecuación 2.

$$T_{día} = At_i \times F \quad (2)$$

Donde:

$T_{día}$ = Transpiración al día (kg).

At_i = Agua transpirada en el periodo i (kg).

F = Factor de ajuste diario (%).

La utilización del factor asume que la $T_{día}$ tiene un comportamiento o tendencia similar a las variaciones de la evapotranspiración de referencia diaria (ET_0). De esta forma el factor de ajuste diario se estimó mediante la relación entre ET_0 y la ET_0 acumulada para el mismo periodo de transpiración entre mediciones como:

$$F = \frac{ET_0}{\sum_{i=1}^{i=n} ET_{oi}} \quad (3)$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración de referencia diaria (mm día⁻¹)

$\sum_{i=1}^{i=n} ET_{oi}$ = Evapotranspiración de referencia para el periodo i (mm día⁻¹) para n días.

Biomasa

La biomasa se determinó como masa de materia seca utilizando una balanza de precisión (Precisa modelo 3100 c; precisión de 0,01 g). Se seleccionaron 5 plantas al azar por tratamiento. Cada una fue sacada de su contenedor y dividida en parte aérea y radical. Cada muestra se llevó a un horno de secado a 65 °C hasta peso constante. Se analizó de forma conjunta e independiente la acumulación de materia seca aérea y radical. El promedio de las 5 muestras representó la acumulación de materia seca del tratamiento dentro del intervalo de medición.

Eficiencia del uso del agua

La eficiencia en el uso del agua (w) se determinó como la primera derivada de la recta ajustada de la materia seca acumulada, en función de la transpiración acumulada (Ecuación 4):

$$w = dB/dT \quad (4)$$

Donde:

dB = Materia seca acumulada (g).

dT = Transpiración acumulada (kg).

Eficiencia en el uso del agua normalizada (k_{Da})

La k_{Da} se determinó como la primera derivada de la recta ajustada de la materia seca y la integración diaria del cociente entre la transpiración y el déficit de presión de vapor (Ecuación 5):

$$k_{Da} = \frac{dB}{d\left(\frac{T_{día}}{Da}\right)} \quad (5)$$

Donde:

Da : Déficit de presión de vapor (kPa).

Para el cálculo Da se utilizaron los datos de humedad relativa máxima y mínima (HR (max) y HR (min)) y temperatura máxima y mínima (T(max) y T(min)) de una estación climática cercana al sitio del estudio, siguiendo la metodología descrita en FAO-56 (2006).

Análisis estadístico

Para la estimación de la w y el k_{DA} se realizaron regresiones lineales, con un valor crítico de P-value inferior al 5%. Se compararon las pendientes mediante la prueba t de *student*, con un nivel de confianza del 95%. Los resultados de biomasa fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA), bajo un nivel de confianza de un 95%. De esta forma, al presentarse diferencias significativas, se realizó la prueba de comparaciones de rangos múltiples de Tukey, al 5% de significancia.

Resultados y discusión

Eficiencia del uso del agua (w)

Se realizó un análisis estadístico de la regresión lineal obtenida para cada uno de los tratamientos, donde ninguno de los interceptos presentó significancia estadística. Sobre esta base se recalcularon las regresiones de los tratamientos con su origen en cero, donde cada una de ellas presentó significancia estadística. Con esta información se realizó una prueba t , con el fin de comparar la w de cada tratamiento, sin encontrar diferencias significativas entre ellas. Se determinó una w general de *Jatropha* (Figura 1) en la cual se incluyen los datos de los tres tratamientos, y el valor de la pendiente de la recta ajustada fue de 4,30 g de

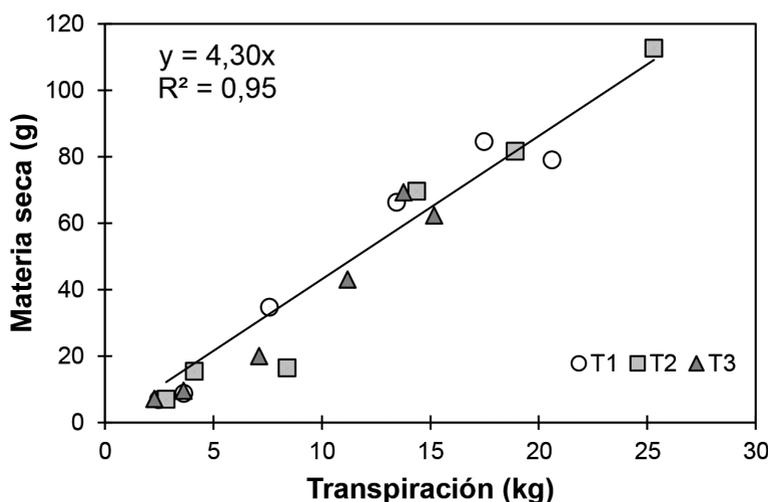


Figura 1. Estimación de la eficiencia del uso del agua de *Jatropha curcas* L. mediante la recta ajustada.

materia seca por cada kg de agua transpirada. Se observa la respuesta lineal y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,95.

Abou Kheira y Atta (2008) obtuvieron valores de eficiencia del uso del agua para semillas de *Jatropha* entre 0,21 y 0,44 g kg⁻¹. Si se considera un valor de índice de cosecha de 0,35 (Jongschaap *et al.*, 2007), es posible estimar valores de eficiencia del uso del agua del cultivo (sin contemplar la parte radical) de 0,6 a 1,25 g kg⁻¹. La diferencia con los valores obtenidos aquí se podría explicar a través de las distintas metodologías realizadas. Abou Kheira y Atta (2008) determinaron la w por medio del agua aplicada, y no del agua transpirada, considerando dentro de su cálculo hídrico un monto mayor de agua, correspondiente a una fracción de lavado. Por otro lado, la estimación de w con el índice de cosecha solo considera la parte aérea, mientras que en este ensayo se contempló la planta completa. Esto aumenta aproximadamente en un 20% la w de Santana *et al.* (2015), quienes obtuvieron en tratamientos con plantas jóvenes de *Jatropha* valores de w entre 6,2 y 7,3 g kg⁻¹, con una respuesta distinta en tratamientos con estrés y sin estrés hídrico. La literatura menciona la baja transferibilidad climática de los valores de w (Katerji *et al.*, 2008), por lo que son esperables valores de w distintos para una misma especie que crece en condiciones climáticas diferentes. Kremer *et al.* (2012) desarrollaron más esta idea y encontraron correlaciones en las que muestran esa dependencia climática, específicamente a valores de Da , donde en climas de mayor Da se obtienen menores valores

de w . Los experimentos de Santana *et al.* (2015) se realizaron en la región de Bahía, Brazil, bajo invernadero, y es muy posible que los valores de Da medio diario hayan sido menores a los utilizados aquí, lo que podría explicar las diferencias encontradas.

Eficiencia en el uso del agua normalizada (k_{Da})

Se realizó un análisis estadístico de la regresión lineal obtenida para cada uno de los tratamientos, donde ninguno de los interceptos presentó significancia estadística. Igualmente se recalcularon las regresiones de k_{Da} de los tratamientos con su origen en cero, donde cada una de ellas mostró significancia estadística. Se realizó una prueba t , para comparar las pendientes entre tratamientos, donde no se encontraron diferencias significativas, por lo cual se ajustó una regresión lineal, la cual mostró un coeficiente de determinación (R^2) de 0,94. Por medio de la pendiente de esta recta se determinó el k_{Da} con un valor de 3,30 kPa g kg⁻¹ (Figura 2).

En un análisis comparativo (Tabla 3), es posible concluir que el valor de w obtenido está dentro de los rangos reportados para distintos cultivos de importancia agrícola tradicionales con metabolismo C3 y por debajo de los valores reportados para maíz. La misma tendencia se observa al comparar los valores de k_{Da} encontrados para *Jatropha* con los de otros cultivos tradicionales. Estos resultados muestran que *Jatropha* no es más eficiente en el uso del agua que cultivos tradicionales, lo que pone en

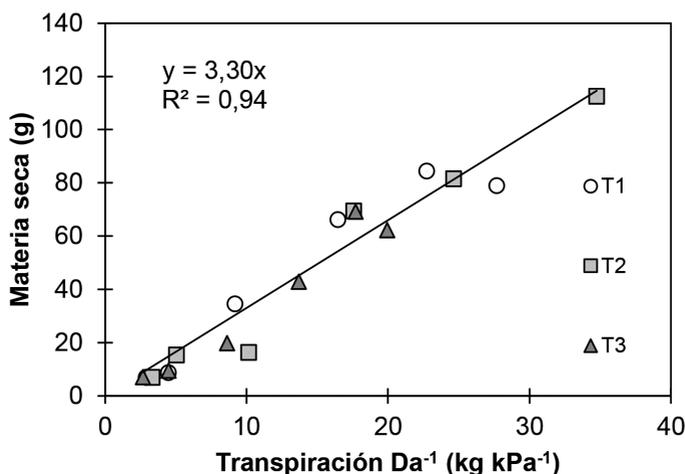


Figura 2. Coeficiente k_{Da} estimado para *Jatropha curcas* L. mediante la recta ajustada.

Tabla 3. Eficiencia del uso de agua transpirada (w) y k_{Da} para distintas especies reportadas en la literatura.

Metabolismo fotosintético	Nombre común	especie	w	k_{Da}	Fuente
			g kg^{-1}	g kPa kg^{-1}	
C4	Maíz	<i>Zea mays</i>	2-8,25	6,06-13,83	a ¹
		<i>Miscanthus</i>	11,5-14,2	6,6	b ¹
	Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i> L.	4,1-4,85	8,6-10	c ²
	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	4,1	4,3	d ¹
C3	Cebada	<i>Hordeum vulgare</i> L.	3,2-5,69	3,0-6,9	e ¹
	Trigo	<i>Triticum aestivum</i> L.	3,1-9,2	2,7-6,7	f ¹
	Arroz	<i>Oryza sativa</i> L.	2,2-4,0	1,3-5,0	g ¹

a: Tanner and Sinclair (1983); Howell *et al.* (1988); Kremer *et al.* (2015); b: Clifton-Brown and Lewandowski (2000); c: Thapa *et al.* (2017); d: Tanner and Sinclair (1983); e: Kemanian *et al.* (2005); f: Kemanian *et al.* (2005); Kremer *et al.* (2015); g: Haefele *et al.* (2009). w y k_{Da} fueron estimadas con la misma metodología utilizada en este estudio, $2w$ y k_{Da} fueron estimados considerando la transpiración total y la biomasa para el período completo y D_a es el promedio para el mismo período (Kemanian *et al.*, 2005).

duda su capacidad de ser un cultivo rentable bajo condiciones de restricción hídrica. Por otro lado, la normalización por D_a no aumentó el coeficiente de determinación (R^2) respecto al obtenido con la estimación de w , y esto se debería a que el régimen climático fue el mismo para los 3 tratamientos. Al someterse al mismo déficit de presión de vapor, el efecto de la normalización se vio disminuido, debido a que la magnitud de variación fue la misma para todos los tratamientos. Esto incidió ligeramente en el ajuste de los datos y, por tanto, en el coeficiente de determinación (R^2).

Relación entre materia seca aérea/radical

Se ajustó una recta a los valores de materia seca aérea versus materia seca radical, y mostró una relación lineal entre ambos factores. El intercepto de las rectas ajustadas no fue significativo, por lo cual se recalcularon haciendo pasar su origen por cero, y todas las pendientes resultaron significativas. Posteriormente se compararon las pendientes mediante una prueba t , y no se encontraron diferencias significativas. Esto indica que no existió un efecto

de los tratamientos aplicados, con una relación promedio MS aérea MS radical⁻¹ de 3,73 (ó 0,27 MS radical MS aérea⁻¹). Achten *et al.* (2010) plantean el mismo valor para la relación MS radical MS aérea⁻¹, para su tratamiento de riego más abundante.

Al no haber un efecto en los tratamientos, se ajustó una recta general a todos los datos, independientemente del tratamiento aplicado (Figura 3).

Si bien no existen diferencias significativas entre las pendientes, es posible apreciar una tendencia del tratamiento 3 a generar una mayor cantidad de raíces que parte aérea. La redistribución de fotosintatos en favor de las raíces puede ser un mecanismo adaptativo, el cual tenga como objetivo producir un equilibrio entre la transpiración y el volumen de suelo explorado.

Conclusiones

Los valores de w y k_{Da} que se extraen de este estudio son útiles como una aproximación preliminar

para su uso en zonificación agrícola y sirven de comparación con otros cultivos. *Jatropha curcas* L. no mostró ser un cultivo eficiente en el uso del agua. Los resultados obtenidos de 4,3 g kg⁻¹ y 3,3 g kPa kg⁻¹ para w y k_{Da} respectivamente están dentro de los rangos reportados para cultivos tradicionales con metabolismo C3, lo que pone en duda su uso como un cultivo comercial en zonas con restricción hídrica. Esto confirma los resultados de distintos autores que manifiestan que los requerimientos de agua de *Jatropha* para ser un cultivo comercial son elevados. No existieron diferencias significativas entre la relación de materia seca aérea/radical para los distintos tratamientos y una relación promedio de 3,73. Ello podría ser un indicador de que dentro de este ensayo las plantas nunca sufrieron un estrés hídrico importante.

Se requiere un estudio a largo plazo y una combinación de distintos ambientes de D_a para establecer una mejor estimación de w y k_{Da} .

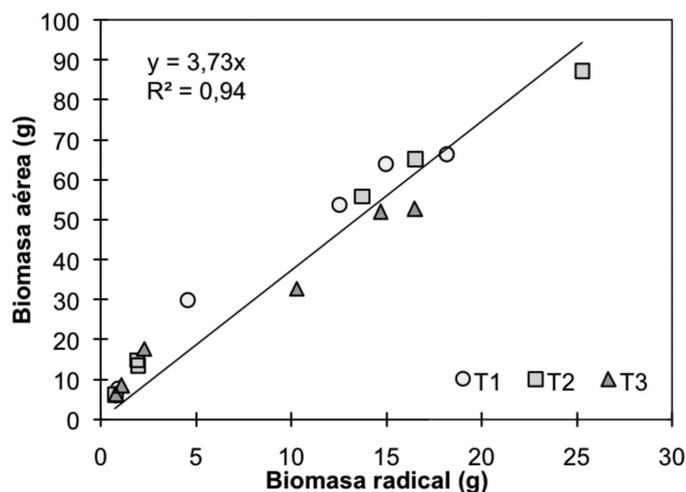


Figura 3. Relación entre materia seca aérea y radical de *Jatropha curcas* L mediante la recta ajustada.

Literatura citada

- Abou Kheira, A.A.; Atta, N.M.M.
2008. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy*, 33 (10): 1343-1350.
- Achten, W.M.J.; Maes, W.H.; Reubens, B.; Mathijs, E.; Singh, V.P.; Verchot, L.; Muys, B.
2010. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Biomass and Bioenergy*, 34: 667-676.
- Achten, W.M.J.; Verchot, L.; Franken, Y.J.; Mathijs, E.; Singh, V.P.; Aerts, R.; Muys, B.
2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, 32(12): 1063-1084.
- Ashwani, K.; Satyawati, S.
2008. An evaluation of multipurpose of seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial crop and products*, 28(1): 1-10.

- Biswas S.; Kaushik, N.; Srikant. G.
2006. Biodiesel: technology and business opportunities-an insight. In: Singh B.; Swaminathan, R.; Ponraj, V (eds). Biodiesel Conference Towards Energy Independence - Focus on Jatropha. pp. 233-251.
- Clifton-Brown, J.; and Lewandowski, I.
2000. Water use efficiency and biomass partitioning of three different Miscanthus genotypes with limited and unlimited water supply. *Annals of Botany*, 86: 191-200.
- de Santana, T.; Oliveira, S.; Silva, L.; Laviola, B.; de Almeida, A.; Gomes, F.
2015. Water use efficiency and consumption in different Brazilian genotypes of *Jatropha curcas* L. subjected to soil water deficit. *Biomass and Bioenergy*, 75: 119-125.
- Fini, A.; Bellasio, C.; Pollastri, S.
2013. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. *Journal of Arid Environment*, 89: 21-29.
- Fujimaki, H.; Kikuchi, N.
2010. Drought and salinity tolerances of young *Jatropha*. *International Agrophysics*, 24(2): 121-127.
- Garreaud, R.; Álvarez-Garretón, C.; Barichivich, J.; Boisier J.P.; Christie, D.; Galleguillos, M.; LeQuesne, C.; McPhee, J.; Zambrano-Bigiarini, M.
2017. The 2010-2015 mega drought in Central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences (Discuss)*, 98: 1-37.
- Haefele, S.; Siopongco, J.; Boling, A.; Bouman, B.; Tuong, T.
2009. Transpiration efficiency of rice (*Oryza sativa* L.). *Field Crops Research*, 111: 1-10.
- Gour, V.K.
2006. Production Practices Including Post Harvest Management of *Jatropha Curcas*. In: Singh B.; Swaminathan R.; Ponraj, V. (eds). Biodiesel Conference Towards Energy Independence - Focus on Jatropha. pp. 233-251.
- Howell, T.; Tolk, J.; Schneider, A.; Evett, S.
1988. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. *Agronomy Journal*, 90: 3-9.
- Jongschaap R.E.E.; Corré, W.J.; Bindraban, P.S.; Brandenburg. W.A.
2007. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. In: Claims and Facts on *Jatropha curcas* L. Plant Research International B.V., Wageningen. 66 p.
- Katerji, N.; Mastrorilli, M.; Rana, G.
2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28: 493-507.
- Kemalian, A.; Stockle, C.; Huggins, D.
2005. Transpiration-use efficiency of barley. *Agricultural Forest Meteorology*, 130: 1-11.
- Kremer, C; Stöckle, C.
2012. Assessing the transferability of transpiration-use efficiency models of biomass production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(1): 10-15.
- Kremer, C.; Homer, I.; Haberland, J.; García de Cortázar, V.
2015. Evaluation of simulation-based methods for estimating transpiration-use efficiency of wheat and maize. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 4: 73-85.
- Maes, W. H.; Achten, W. M. J.; Reubens, B.; Raes, D.; Samson, R.; Muys, B.
2009b. Plant-water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. *Journal of Arid Environments*, 73(10): 877-884.
- Maes, W.H.; Trabucco, A.; Achten, W.M.J.; Muys, B.
2009a. Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. *Biomass and Bioenergy*, 33 (10): 1481-1485.
- Openshaw K.
2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy*, 19 (1): 1-15.
- Ouwens, D.K.; Francis, G.; Franken, Y.J.; Rijssenbeek, W.; Riedacker, A.; Foidl, N.; Jongschaap, R.; Bindraban, P.
2007. Position paper on *Jatropha curcas*. State of the art, small and large scale project development. Fact Foundation. Wageningen, Netherlands. 7 p.
- Santibáñez, F.; Santibáñez, P.; Caroca, C.; González, P.
2017. Atlas Agroclimático de Chile. Tomo II: Regiones de Atacama y Coquimbo. 1era Ed. Santiago, Chile. 178 p.
- Siang, C.C.
2009. *Jatropha curcas* L.: Development of a new oil crop for biofuel. New and Renewable Energy Group. The Institute of Energy Economics. 21 p.
- Silva, E.N.; Ferreira-Silva, S.L.; Viégas, R.A.; Silveira, J.A.
2010. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. *Environmental and Experimental Botany*, 69(3): 279-285.
- Tanner C.B.; T.R. Sinclair.
1983. Efficient water use in crop production: research or re-research: p. 1-27. In: Taylor H.M. et al. Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. 583 p.
- Thapa, S.; Stewart, B.; Xue, Q.
2017. Grain sorghum transpiration efficiency at different growth stages. *Plant, Soil and Environment*, 63: 70-75.
- USDA.
2009. Germplasm Resources Information Network - (GRIN). Disponible en: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?20692>, Consultado: 15/jul/2013.
- Wani, S.; Garg, K.; Chander, G.
2016. Water needs and productivity of *Jatropha curcas* in India: myths and facts. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 10: 240-254.