

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

**ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA (EUA) Y K_{DPV} PARA
PLANTAS JOVENES DE *Jatropha Curcas* L.**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y Grado de Magister en
Manejo de Suelos y Aguas

FELIPE AGUSTÍN PARADA MOLINA

Directores de Tesis

CRISTIÁN KREMER

IAN HOMER

Profesores Consejeros

JULIO HABERLAND

VICTOR GARCIA DE CORTAZAR

SANTIAGO DE CHILE

2014

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA (EUA) Y K_{DPV} PARA
PLANTAS JOVENES DE *Jatropha Curcas* L.**

Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Agropecuarias Manejo de Suelos y Aguas

Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

Felipe Agustín Parada Molina

	Calificación Memoria de título	Calificación Tesis de grado
Directores de Tesis		
Cristián Kremer, Ing. Agr., Ph. D.	6.7	A
Ian Homer, Ing. Agr., Dr.	7.0	A
Profesores Consejeros		
Julio Haberland, Ing. Agr., Ph. D.	7.0	A
Víctor García De Cortázar, Ing. Agr., Dr.	7.0	A

Santiago, Chile

2014

*“ ... y dejar que el porvenir
traiga flores luego ...”*

Kuervos del Sur

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a toda persona que haya depositado su fe en mí, a mi querida madre por sus incasables ánimos e incondicional apoyo, a mi hermano por su grandeza y aplomo, a toda mi familia por ser y estar en los momentos más difíciles.

A mis profesores guías, Cristian Kremer e Ian Homer, por su paciencia, y dedicación en este largo proceso, a mis profesores colaboradores Julio Haberland y especialmente a don Víctor García de Cortázar, por sus tardes discutiendo y analizando datos. A mis profesores y amigos del departamento de Ingeniería y Suelos, por haber contribuido en mi formación y desarrollo, muchas gracias Oscar, Pili, Nancy, Osvaldo, Francisco y don Manuel, además, un especial agradecimiento a la profesora Claudia Torres, por toda su ayuda y calidad humana.

A mi querida Pía, por su comprensión y apoyo. A mis grandes amigos y compañeros, Ariel, Pola, Claudio, Paula, Pablo, Fabio, María, Marco, Carlos, Oscar, Mario, Diego, Roberto, Karina, en especial a mi compadre Luis y Rodrigo, espero nunca olvidar toda la alegría que compartimos juntos, gracias a todos por su ayuda, tiempo y dedicación.

Agradecer a todas las personas que me ayudaron de una u otra forma a gestar esta investigación, a Cristina, don Aldo y esposa Rebeca, Víctor, Francisco, el profesor Nicolás F. y al profesor Manuel P.

ÍNDICE

1. Resumen	1
2. Abstract.....	2
3. Revisión bibliográfica.....	3
3.1. Contexto general	3
3.2. <i>Jatropha curcas</i> L.	3
3.3. Eficiencia del uso del agua (EUA)	6
3.1. Coeficiente de Tanner (K_{DPV}).....	9
4. Hipótesis.....	11
5. Objetivos.....	11
5.1. Objetivos generales	11
5.2. Objetivos específicos.....	11
6. Materiales y métodos.....	12
6.1. Sitio experimental	12
6.2. Diseño experimental	12
6.3. Estimación de la transpiración	15
6.3.1. Medición del contenido volumétrico de agua mediante lisímetros	15
6.4. Biomasa.....	16
6.5. Eficiencia del uso del agua	17
6.6. Coeficiente K_{DPV}	17
6.6.1. Déficit de presión de vapor (DPV).....	18
6.7. Mediciones fisiológicas	18
6.7.1. Potencial Xilemático.....	18
6.8. Mediciones de crecimiento	18

6.8.1.	Número de hojas.....	18
6.8.2.	Área de sección transversal de tronco (ASTT).....	19
6.8.3.	Altura de plantas	19
6.9.	Análisis estadístico	19
7.	Resultados.....	21
7.1.	Eficiencia del uso del agua (EUA)	21
7.2.	Coeficiente K_{DPV}	22
7.2.1.	Relación entre materia seca aérea/radical.....	23
7.3.	Variables fisiológicas	25
7.3.1.	Potencial hídrico.....	25
7.4.	Variables de Crecimiento.....	27
7.4.1.	Numero de hojas.....	27
7.4.2.	Área de sección transversal de tronco (ASTT).....	27
7.4.3.	Altura de plantas	29
8.	Discusión	31
8.1.	Eficiencia del uso del agua	31
8.2.	Coeficiente de Tanner (K_{DPV}).....	33
8.3.	Variables Fisiológicas	35
8.4.	Variables de crecimiento.....	38
9.	Conclusiones	40
10.	Bibliografía	42
11.	Apéndices	51
11.1.	Curva de retención de agua a diferentes tensiones del sustrato.....	51
11.2.	Retención de agua a diferentes tensiones del sustrato.....	51

11.3.	Regresiones respecto a los tratamientos para EUA.	51
11.4.	Regresiones para EUA de Jatropha con su origen en cero.....	52
11.5.	Regresiones por tratamiento para K_{DPV}	52
11.6.	Regresiones para K_{DPV} de Jatropha con su origen en cero.....	52

1. RESUMEN

El interés por el cultivo de *Jatropha curcas* L. ha aumentado en los últimos años. Lo anterior producto de: (1) su potencial bioenergético, y; (2) su eficiencia en el uso del agua, permitiendo su uso en zonas de escasez hídrica. La información disponible sobre este último punto es contradictoria, por esta razón el objetivo de este trabajo fue determinar la eficiencia del uso del agua (EUA) y el coeficiente propuesto por Tanner y Sinclair (1983) (K_{DPV}) en plantas jóvenes de *Jatropha curcas* L. El ensayo se realizó en la Región de Coquimbo, Chile ($30^{\circ}13' S$, $70^{\circ}15' O$), en plantas de un año. Tres frecuencias de riego fueron establecidas, cada: 8 (T1); 14 (T2), y; 24 días (T3), suministrando agua suficiente para dejar el suelo a capacidad de campo. Se cuantificó la cantidad de agua transpirada por la plantas mediante lisímetros de pesada, en los cuales se consideraron las variaciones de peso como la transpiración del cultivo. Se cuantificó la biomasa producida como materia seca, realizando cortes cada 24 días. Se recopiló la información climática necesaria para determinar el déficit de presión de vapor (DPV) y se realizaron mediciones de potencial hídrico xilemático a mediodía, y de crecimiento (altura, área de sección transversal de tronco y número de hojas). Los valores obtenidos de EUA y K_{DPV} para *Jatropha curcas* L. fueron de 4,30 g de materia seca (MS) por cada Mg de agua transpirada y 3,30 g de MS $kPa\ kg^{-1}$ de agua transpirada, respectivamente. *Jatropha curcas* L. presentó valores de - 0,92 y - 0,65 MPa de potencial hídrico xilemático para el periodo más crítico de medición. Respecto a las variables de crecimiento no se encontraron diferencias significativas que respondiesen a los tratamientos aplicados, siendo el T2 el que mostro un mayor crecimiento dentro del presente ensayo en términos de todas las variables medidas.

Palabras clave: Eficiencia del uso del agua normalizada, déficit de presión de vapor, estrés hídrico.

2. ABSTRACT

The interest in *Jatropha curcas* L. cultivation has increased in the recent years. This is product of its: (1) bioenergy potential, and, (2) efficiency in water use, allowing its use in areas with water scarcity. The literature available on this last point is contradictory, therefore, the objective of this work was to determine the water use efficiency (WUE) and the coefficient proposed by Tanner and Sinclair (1983) (K_{DPV}) in young plants of *Jatropha curcas* L. The trial was conducted in the Region of Coquimbo, Chile (30°13'S, 70°15'O), with one year old plants. Three irrigation frequencies were established every: 8 (T1), 14 (T2), and, 24 days (T3), providing enough water to reach field capacity of soil. The amount of transpired water by plants was quantified through weight lysimeters in which the variations were considered as the transpiration of the crop. Produced biomass, in terms of dry matter (DM), was obtained by cutting the plants every 24 days. Weather information was collected to determine the vapor pressure deficit (VPD). The measurements of stem water potential were performed at noon, and growth parameters (as height, cross-sectional area of stem, and number of leaves) were also measured. The obtained values of WUE and K_{DPV} for *Jatropha curcas* L. were 4.30 g of DM by each Mg of transpired water and 3.30 g of DM $kPa\ kg^{-1}$ of transpired water, respectively. *Jatropha curcas* L. showed values of - 0.92 and - 0.65 MPa of stem water potential for the most critical period of measurement. Regarding growth variables, there was no significant differences observed in the applied treatments, however, the T2 treatment showed a higher growth than other treatments in all the variables measured.

Keywords: Standardizing water use efficiency, vapor pressure deficit, water stress.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Contexto general

Actualmente la agricultura no sólo sustenta la producción para la alimentación humana, sino que cada vez se hace más partícipe en la producción de energía, esto se debe debido a una gran variedad de fuentes de biomasa, junto con un sector agrícola/forestal fuertemente desarrollado. En este contexto la producción de energía mediante biocombustibles reduce la dependencia de combustibles fósiles importados y abriendo posibilidades de desarrollo económico local (Berg *et al.*, 2013). Esto último ha motivado la búsqueda y desarrollo de cultivos bioenergéticos, los cuales se debiesen caracterizar por ser eficientes en el uso de los recursos sobre todo suelo y agua, reduciendo así la competencia por estos de parte de la agricultura alimenticia (Siang, 2009). Bajo esta visión el cultivo de *Jatropha curcas* L. (*Jatropha*) se presenta como una alternativa (Siang, 2009), ya que esta especie cumpliría las condiciones de eficiencia anteriormente expuestas (Divakara *et al.*, 2010).

3.2. *Jatropha curcas* L.

Esta especie presenta un rango de distribución natural desde México, América del Norte, pasando por Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Brasil, Bolivia, Perú hasta Argentina y Paraguay (USDA, 2009). *Jatropha* pertenece a la familia de las *euphorbiaceae* con aproximadamente 170 especies conocidas, es un árbol pequeño o arbusto de gran tamaño, que puede alcanzar una altura de tres a cinco metros, sin embargo, en condiciones favorables puede llegar a crecer de ocho a diez metros de altura (Ashwani y Satyawati, 2008; Heller, 1996), además presenta diferentes usos tales como cerco vivo, en la recuperación de cárcavas, bio-usos estéticos, sustitutos de la parafina, lubricantes,

bio-diesel, y la fabricación de jabones y velas (Tigere *et al.*, 2006). Openshaw (2000), menciona que este cultivo presenta rápido establecimiento, debido a su potencial para desarrollarse en zonas áridas, que exhiben habitualmente suelos con limitantes severas para la producción de cultivos, ya sea, en su fertilidad, salinidad y escasez del recurso agua (Fujimaki y Kikuchi, 2010; Silva *et al.*, 2010; Abou Kheira y Atta, 2008).

Por otra parte, el potencial bioenergético de este cultivo destaca, debido al alto contenido de aceite que presentan sus semillas, el cual puede llegar hasta un 35% en base a su peso fresco (Maes *et al.*, 2009), además, por una alta eficiencia en el uso del agua (Achten *et al.*, 2008).

Sin embargo la información sobre sus requerimientos hídricos es escasa y contradictoria. Ouwens *et al.* (2007), mencionaron que para su sobrevivencia se deben alcanzar 300 mm de precipitaciones anuales, por otro lado los valores mínimos para la producción se encontrarían entre 500 y 750 mm al año, con un óptimo productivo en el orden de 1000 a 1500 mm (Sutterer, 2010; Ouwens *et al.* 2007; Jongschaap *et al.*, 2007; Biswas, *et al.*, 2006, Gour; 2006). En relación a lo anterior, Maes *et al.* (2009a), plantearon una investigación que analiza la zona de origen del cultivo de *Jatropha* (Centro América), determinando que el 95% de los especímenes observados crece en zonas con 944 mm de precipitaciones al año, donde agrega, que es poco común encontrar *Jatropha* en zonas áridas y semi áridas, considerando además el alto riesgo de obtener menores rendimientos bajos estas condiciones.

Por el contrario, estudios realizados en la Zona mediterránea de Egipto (Abou Kheira y Atta, 2008), muestran que plantas de *Jatropha* de 3 años de edad obtuvieron mejores resultados, bajo riego con una aplicación total de $44,5 \text{ mmha}^{-1}$, (100% de ET_0 del sitio de estudio), considerando un periodo de crecimiento de 208 días (desde el 1 de Febrero del 2005 hasta el 12 de septiembre del mismo año) y

un área de cobertura del 30%. Adicionalmente a partir del trabajo realizado por Abou Kheira y Atta (2008) en función de los rendimientos obtenidos, es posible desprender aproximaciones de la constante de cultivo K_c (Allen *et al.*, 2006), cuyo valor se encontraría entre 100 a 75 % de la evapotranspiración de referencia (ET_0), esto podría traducirse en ahorros de hasta un 25% de agua anual. Por otra parte, Sutterer (2010) plantea 3 diferentes K_c utilizados dentro de su investigación, con valores de 60%, 120% y 40% para periodo inicial, medio y final, en términos de manejo, este valor último presenta mayores ventajas en términos de ahorro de agua y manejos productivos.

Si se consideran valores desde 300 a 1500 mm año⁻¹ (valores mínimos y máximos planteados para el cultivo de *Jatropha*) y se trasladaran a una condición de clima árido o semiárido (con un $K_c= 1$) el consumo de agua de riego por temporada variaría entre los 3.000 a 15.000 m³ ha⁻¹. En este contexto, en una condición productiva la demanda total de agua (riego más precipitaciones) estaría en rangos similares a cultivos más intensivos como el Olivo en climas mediterráneos, lo cuales presentan consumos de agua del orden de 6.930 a 10.000 m³ ha⁻¹ (Wiesman *et al.* 2004; Beede y Goldhamer, 1994; Barrata *et al.*, 1986 citado por Ghrab *et al.*, 2013). Por su parte el, trigo presenta consumos de 3.700 a 6.500 m³ ha⁻¹ (Minhas *et al.*, 2007; Brouwer y Heibloen, 1986). Valores publicados por Teixeira *et al.* (2007) en Brasil para plantas de vid en zonas áridas oscilan entre 3.520 y 5.170 m³ ha⁻¹ por temporada. Por último, el palto puede llegar a consumir entre 6.000 y 12.000 m³ ha⁻¹ (Razeto, 2008; Hoffman y Plessis, 1999).

Achten *et al.* (2008), realizaron un catastro con la información disponible sobre el cultivo de *Jatropha*, en función de lo encontrado sostienen que: (1) los periodos críticos de manejo del cultivo son inciertos, y; (2) la información que se maneja hasta el momento es insuficiente para elaborar planes de negocio que sean realistas y coherentes. Por otra parte, su comportamiento productivo en condiciones de riego deficitario no está bien documentado, y la mayoría de las

investigaciones disponibles no posee las referencias adecuadas para validar sus resultados. Considerando que el potencial productivo de *Jatropha* está lejos de alcanzarse, ya sea por motivos técnicos u económicos (Siang, 2009; Francis *et al.*, 2005) nace la necesidad de recabar información relacionada con parámetros de rendimiento y producción que permitan generar un protocolo de manejo agronómico adecuado para esta especie.

3.3. Eficiencia del uso del agua (EUA)

La eficiencia del uso del agua se define como la tasa de acumulación de biomasa por unidad de agua consumida (Ecuación 1), ya sea evapotranspirada y/o transpirada por las plantas (Tanner y Sinclair, 1983). Además la EUA se utiliza como un índice que permite estimar el impacto que pueden tener diferentes condiciones de riego limitadas, en la producción de cultivos en una zona geográfica determinada (Fairweather *et al.*, 2003). En relación a lo anterior, la interpretación del aumento de la EUA, según Tanner y Sinclair (1983), se entiende por un ahorro en el agua utilizada por el cultivo, o bien, por el aumento de la producción por unidad de agua transpirada.

Sin embargo, la falta de consistencia de valores EUA bajo condiciones climáticas distintas no ha permitido su uso como parámetro transferible. (Kremer y Stöckle, 2012).

$$EUA = \frac{\partial B}{\partial A} \quad (1)$$

Donde:

EUA = Eficiencia del uso del agua

∂B = Unidad de biomasa producida

∂A = Unidad de agua utilizada o consumida

Diversas controversias se han generado en torno a este índice, ya que no existe una metodología única para determinarlo, pudiendo encontrar diferencias en escalas temporales (instantánea, diarias, semanales, por temporada, anuales, etc.) y espaciales (cuencas hidrográficas, campos agrícolas, plantas individuales, hojas individuales). Esto ha determinado que la información con respecto a la EUA de un cultivo no sea fácilmente comparable.

En el Cuadro 1 es posible encontrar diferentes valores de EUA para trigo y avena (cultivos C3 más utilizados en Chile), donde se aprecia la variabilidad de la EUA para estos cultivos, asociada a la zona climática, dejando de lado la variabilidad metodológica.

Cuadro 1. Valores de EUA para Trigo y Avena, obtenidos por diversos autores.

Cultivo	Sitio	Variedad	EUA g kg ⁻¹
Trigo ¹	Moombooldool, Australia	Gutha	7,10
		Quarrion	5,87
	Pullman, USA	WB926R	4,59
		Bushland, USA	WB926R
			4,38
	Aleppo, Syria	Cham1	4,45
		Huarina	4,64
Avena ²	Chinchilla, Australia	Taipan	1,40
			0,40
	Roma, Australia	Taipan	1,50
	Toobeach, Australia	Taipan	1,50
		Genie	2,80
	Condamine, Australia	Taipan	2,10
			0,60

Fuente: ¹Kremer, 2006 (Modificado); ²Bell *et al.*, 2012 (Modificado).

En cuanto a los factores que afectan a la EUA, se ha observado que la fertilidad del suelo tiene una relación positiva con este parámetro, (Tinglu Fan *et al.*, 2005).

Sin embargo, Tanner y Sinclair (1983) plantean que la eficiencia de transpiración no tendría una variación significativa mientras el suelo se encuentre con una fertilidad moderada.

Otro factor relevante que puede afectar la EUA es el estrés abiótico producido por sequía o salinidad, lo que provocaría pérdidas de un 50% de la producción del cultivo (Boyer, 1982; Chaves y Oliveira, 2004). En relación con el estrés hídrico, se han generado diversos debates, donde principalmente se discute si la EUA es una propiedad que aumenta, disminuye o se mantiene, bajo condiciones de estrés. Algunos autores plantean que este es un valor constante que no se ve afectado por la situación hídrica de la planta (Tinglu Fan *et al.*, 2005). Por otra parte, autores mencionan que la EUA disminuye a medida que se somete a la planta a déficit hídrico (Silva y Acevedo, 1995). En contraste con lo anterior, diversos autores muestran que plantas sometidas a déficit hídrico aumentan su EUA (Chaves *et al.*, 2004), dada esta condición se plantea el presente ensayo el cual considera estas tres situaciones hídricas.

Actualmente la información relativa a la EUA de *Jatropha* es escasa, en este contexto, a partir de lo realizado por Abou Kheira y Atta (2008) se pueden extraer valores entre 0,6 y 1,2 gramos de materia seca (MS) por kilogramos de agua aplicada, donde es importante considerar que para su cálculo, se utilizó agua aplicada y no transpirada, generando una sobre estimación del valor real.

A pesar de las limitantes planteadas, la EUA ha sido usada como una guía para evaluar el rendimiento de los cultivos bajo condiciones de restricción hídrica, dentro de zonas climáticas contrastantes. En cuanto al uso como indicador, presenta una gran dispersión al momento de hacer el análisis del mismo cultivo en diferentes zonas climáticas, por lo que la comparación entre cultivos producidos en diferentes condiciones no es posible. La variabilidad de los resultados experimentales de EUA para una misma especie ha derivado que el uso de este

parámetro sea utilizado como un valor referencial más que un predictor (Kremer *et al.*, 2008).

3.1. Coeficiente de Tanner (K_{DPV})

Existen modelos simples que se superponen a las variaciones presentes en la EUA, un ejemplo de esto es el modelo desarrollado por Tanner y Sinclair (1983), (ecuación 2);

$$K_{DPV} = \frac{EUA}{DPV} \quad (2)$$

Donde:

EUA = Eficiencia del uso del agua.

K_{DPV} = Coeficiente de Tanner.

DPV = Déficit de presión de vapor.

El K_{DPV} o coeficiente de Tanner, es un parámetro dependiente del cultivo, en donde, la normalización por DPV absorbería el efecto del clima en la determinación de EUA, permaneciendo razonablemente constante bajo diferentes zonas climáticas (Kremer *et al.*, 2008). De esta forma se aumenta la transferibilidad de mediciones experimentales de EUA en diferentes zonas climáticas, permitiendo la utilización de este parámetro dentro de modelos simples de predicción de la EUA. Esto abre la posibilidad de comparación entre los valores experimentales de K_{DPV} haciendo posible la proyección potencial de *Jatropha* bajo diversas condiciones hídricas.

Teniendo en consideración la falta de información alusiva a las respuestas hídricas de *Jatropha*, referente a la EUA y K_{DPV} , nace la necesidad de implementar metodologías claras y precisas, que permitan definir éstos parámetros, considerando además diferentes regímenes hídricos, de manera tal de abarcar

ampliamente las respuestas de este cultivo. Por otro lado, se deben considerar las respuestas fisiológicas y de crecimiento, esto para determinar el efecto de los distintos escenarios hídricos, y analizar su incidencia, tanto en desarrollo como en crecimiento en aras de la producción de biomasa.

De esta forma la implementación de modelos simples, como el de Tanner y Sinclair (1983), permitirán dar respuesta a las necesidades actuales, relacionadas con las políticas y manejos hídricos bajo diferentes zonas climáticas, y así contribuir a lineamientos base para el progreso de este cultivo.

4. HIPÓTESIS

La eficiencia en el uso del agua de *Jatropha curcas* L. es mayor que lo informado por la literatura para otros cultivos con metabolismo C₃.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivos generales

- Determinar la eficiencia del uso del agua y el coeficiente de Tanner (K_{DPV}) para el cultivo de *Jatropha curcas* L.

5.2. Objetivos específicos

- Determinar la respuesta fisiológica del cultivo a diferentes condiciones hídricas por medio de mediciones de potencial xilemático.
- Determinar la respuesta de crecimiento del cultivo a diferentes condiciones hídricas mediante 3 parámetros (altura, número de hojas, área de sección transversal de tronco)

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. 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 mediterráneo subtropical semiárido (Novoa y Villaseca,1990), 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, siendo la precipitación media anual de 152,7 mm, un déficit hídrico de 1.850 mm y un período seco de 9-10 meses.

6.2. Diseño experimental

Se utilizaron 120 plantas jóvenes de *Jatropha curcas* L., de aproximadamente 12 meses, obtenidas de semilla y germinadas en invernaderos propios del sitio de estudio. Las plantas fueron trasplantadas a contenedores de 20 litros con perforaciones en su base para un drenaje libre del agua (1 planta por contenedor). Se utilizó un sustrato correspondiente a 30% de arena y 70% tierra vegetal. Cada contenedor fue cubierto con polietileno de 1 mm de espesor de color negro para evitar la evaporación. Se aplicó una fertilización proporcional a 180 unidades de nitrógeno y 130 unidades de fósforo por hectárea (N₂ y P₂O₅ respectivamente) dividido en 2 aplicaciones, al inicio y mediados del ensayo esto con el fin de homogenizar el factor de fertilidad y además evitar cualquier deficiencia nutricional. El experimento tuvo una duración de 6 meses (de Diciembre del 2009

a Mayo del 2010), realizándose mediciones periódicas de los parámetros a evaluar (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fechas de mediciones fisiológicas y crecimiento durante el ensayo.

Medición	Fecha
1	18 de Diciembre del 2009
2	11 de Enero de 2010
3	23 de Enero de 2010
4	16 de Febrero de 2010
5	12 de Marzo de 2010
6	5 de Abril de 2010
7	5 de Mayo de 2010

Dado que la EUA puede variar en función de la disponibilidad hídrica del cultivo, con el fin de abarcar un mayor rango de respuestas (fisiológicas, de crecimiento y productivas), se aplicaron 3 tratamientos de déficit hídrico, los cuales se definieron como frecuencias de riego, éstos se detallan en el Cuadro 3. Cada tratamiento constó de 40 plantas, 30 se destinaron para la determinación de biomasa, y 10 para el seguimiento de características fisiológicas y de crecimiento.

Cuadro 3. Frecuencia de riego de los tratamientos.

Tratamiento	18/12/2009 – 23/01/2010	23/01/2010 – 05/05/2010
	Frecuencia de riego en días	
1	6	8
2	8	12
3	14	24

Como se indica en el Cuadro 3, se utilizaron dos frecuencias de riego, la primera responde al período de mayor demanda hídrica (Diciembre-Enero), y la segunda al período que incluye una disminución sistemática de esta última (Febrero-Mayo). De esta forma desde el inicio del ensayo hasta la tercera fecha de medición se utilizaron intervalos de 14 días, desde ésta medición en adelante, se utilizaron intervalos de 24 días entre cada medición.

El ensayo se estableció en una superficie limpia y plana de 140 m², donde los tratamientos fueron dispuestos con orientación norte-sur, cada tratamiento se ordenó en dos hileras, la ubicación de cada par de hileras fue efectuada al azar. Dentro de cada tratamiento las plantas se distribuyeron en un marco de 0,6 x 1,2 metros, con un camino de 2 metros entre cada tratamiento, como se aprecia en la Figura 1.

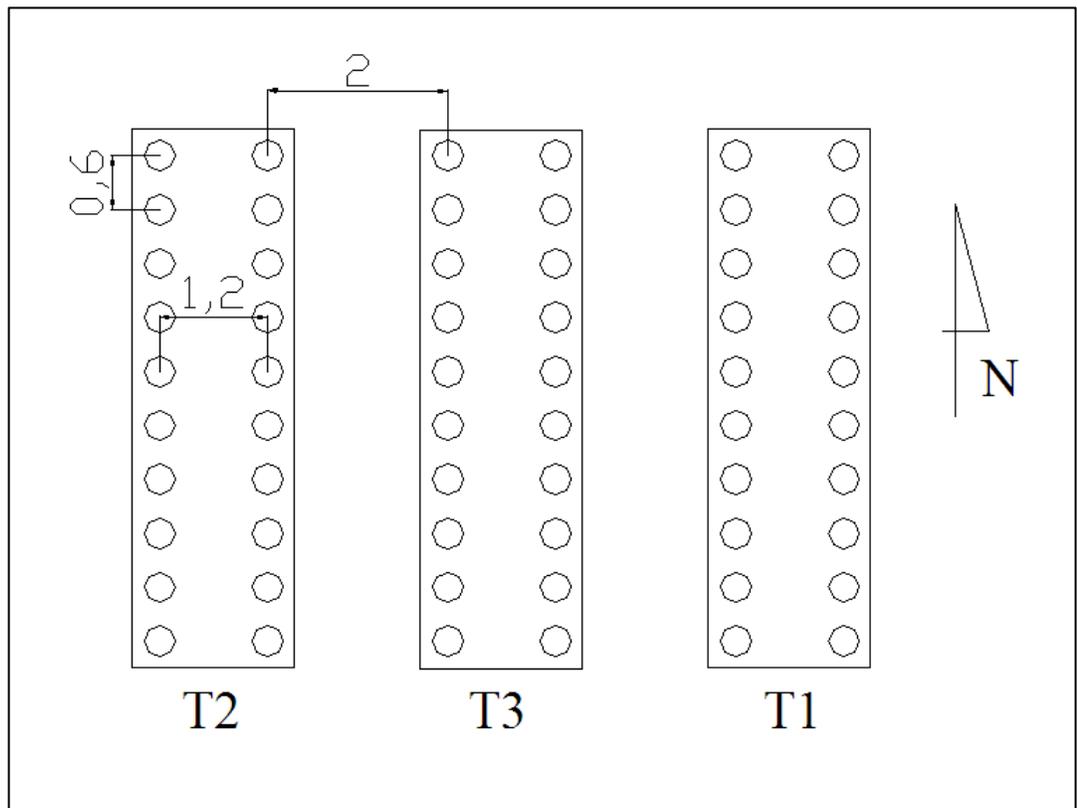


Figura 1. Esquema de distribución y orientación de los tratamientos.

6.3. Estimación de la transpiración

El agua transpirada se determinó a través de lisímetros, donde se asumió que la transpiración del cultivo es igual a la variación del contenido volumétrico de agua en el contenedor, ocurrida entre cada evento de riego, una vez drenado el exceso de agua.

6.3.1. Medición del contenido volumétrico de agua mediante lisímetros

Previo a cada riego se masó cada contenedor. Posteriormente, aplicó una carga de agua de 4,5 litros (Valor obtenido por medio de la curva de retención de agua del sustrato (Apéndice 1 y 2), siendo este un valor cercano al 90% de la humedad aprovechable), se dejó que el agua drenara libremente por un período aproximado de 4 horas para volver a pesar los contenedores, registrando esta información (Ecuación 3).

$$At = Mdr - Mar - Cr \quad (3)$$

Donde:

At = Agua transpirada [kg]

Mar = Masa antes del riego [kg]

Mdr = Masa después del riego [kg]

Cr = Factor de crecimiento del cultivo [kg]

Para determinar el factor de crecimiento (Cr) se hizo una regresión lineal entre la sumatoria de días transcurridos del ensayo y la sumatoria de biomasa acumulada para el mismo periodo de días, con esta información, se descontó el peso fresco promedio acumulado para cada periodo de medición. De esta forma el promedio del agua transpirada entre las submuestras de cada tratamiento representó la transpiración entre riegos (At), la sumatoria de los valores de transpiración entre

riegos se utilizó para obtener la transpiración total ocurrida durante la duración del ensayo.

Para la estimación de la transpiración diaria (T_{diaria}) se utilizó un factor de ajuste (F) como se representa en la ecuación 4.

$$T_{diaria} = \Sigma T_{pi} * F \quad (4)$$

Donde:

T_{diaria} = Transpiración por día [kg]

ΣT_{pi} = Transpiración acumulada en el periodo i [kg]

F = Factor de ajuste diario [%]

La utilización de factor asume que la transpiración del cultivo diaria tiene un comportamiento o tendencia similar a las variaciones de ET_0 diaria. De esta forma el factor de ajuste diario se estimó mediante la relación entre la ET_0 diaria y la ET_0 acumulada para el mismo periodo de transpiración entre mediciones (Ecuación 5).

$$F = \frac{ET_0 \text{ diaria}}{\Sigma ET_0 pi} \quad (5)$$

Donde:

$ET_0 \text{ diaria}$ = Evapotranspiración de referencia diaria [mm dia^{-1}]

ΣET_0 = Evapotranspiración de referencia para el periodo i [mm]

6.4. Biomasa

La biomasa se determinó como materia seca, En cada medición se seleccionaron 4 plantas al azar por tratamiento. Cada una fue sacada cuidadosamente de su contenedor, para posteriormente ser dividida en 2 partes (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 4 muestras representó la acumulación de materia seca del tratamiento dentro del intervalo de medición.

6.5. Eficiencia del uso del agua

La eficiencia en el uso del agua se obtuvo como la primera derivada de la recta ajustada de la materia seca producida [g], en función de la transpiración acumulada [kg]. (Ecuación 6):

$$EUA = \frac{\delta B}{\delta T} \quad (6)$$

Donde:

δB = Biomasa [g]

δT = Transpiración acumulada [kg]

6.6. Coeficiente K_{DPV}

El valor de K_{DPV} se obtuvo como la primera derivada de la recta ajustada de la materia seca producida [g] en función de la transpiración acumulada dividida por el déficit de presión de vapor promedio diario acumulado. (Ecuación 7).

$$K_{DPV} = \frac{B}{\frac{T}{DPV}} \quad (7)$$

Donde:

EUA: Eficiencia del uso del agua [g] [kg]⁻¹

DPV: Déficit de presión de vapor [kPa]

6.6.1. Déficit de presión de vapor (DPV)

Para la determinación del DPV, se registraron cada 15 minutos valores de temperatura y humedad relativa, mediante una estación agroclimática (Davis instruments, California, EE.UU) cercana al ensayo en el periodo en el cual existía luz disponible (entre las 7:00 y las 21:00 horas)

6.7. Mediciones fisiológicas

6.7.1. Potencial Xilemático

Previo a determinación de la biomasa se realizaron las mediciones de potencial xilemático. Esto se llevó a cabo a 4 plantas por tratamiento, de las cuales se midió el potencial xilemático a 4 hojas por planta. Las mediciones se llevaron a cabo por medio de una cámara de presión tipo Scholander (M 600, Oregon, EE.UU) al mediodía solar, desde aproximadamente las 13:00 hasta las 14:00 horas. Dos horas antes de cada medición, se cubrieron las hojas con papel aluminio y una bolsa plástica, con el fin de estabilizar el potencial de la hoja con el potencial hídrico xilemático, siguiendo la metodología descrita por Turner (1981).

6.8. Mediciones de crecimiento

Las mediciones de crecimiento se realizaron cada 24 días, en 10 plantas por tratamiento, las cuales consistieron en:

6.8.1. Número de hojas

Se contabilizó el número total de hojas que presentaba cada planta al momento de la medición, sin considerar los cotiledones.

6.8.2. Área de sección transversal de tronco (ASTT)

Se midió el ASTT a 10 cm sobre la superficie del suelo, con un pie de metro se obtuvo el diámetro de cada planta en 2 direcciones, el promedio de éstas se ingresó a la Ecuación 8.

$$ASTT = \frac{D^2 * \pi}{4} \quad (8)$$

Donde:

D = Diámetro del tallo a 10 cm de altura [cm]

ASTT = Área de sección transversal de tronco [cm²]

6.8.3. Altura de plantas

Se determinó la altura de plantas por medio de una huincha métrica, considerándose la altura desde la superficie del sustrato hasta el ápice de crecimiento de cada planta.

6.9. Análisis estadístico

- En el ensayo se utilizaron 120 plantas en total, distribuidas en 3 tratamientos (40 plantas por tratamiento). Las plantas de cada tratamiento fueron tomadas al azar desde el vivero, siendo la planta la unidad experimental.

- Para la estimación de la EUA y el K_{DPV} , entre otros, se realizaron regresiones lineales, con un valor crítico de P-value inferior al 5%.
- Para encontrar diferencias significativas entre datos (pendientes), se utilizó la prueba *t* de *student*, con un nivel de confianza del 95%.
- Por otro lado los resultados de las mediciones fisiológicas y de crecimiento, fueron sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA), bajo un nivel de confianza de un 95%, de esta forma, al presentarse diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparaciones de rangos múltiples de Tukey, al 5% de significancia.

7. RESULTADOS

7.1. Eficiencia del uso del agua (EUA)

El Cuadro 4 presenta la información obtenida para determinar la EUA de *Jatropha*, considerando los valores de transpiración (T), transpiración normalizada ($T \text{ DPV}^{-1}$) y materia seca (MS).

Cuadro 4. Información para estimación de la EUA de *Jatropha curcas* L

Tratamiento	Periodo	Transpiración normalizada kg kPa ⁻¹	Materia seca g	Transpiración Kg
1	1	2,92	6,85	2,47
	2	4,47	8,68	3,64
	3	9,18	34,60	7,59
	4	16,46	66,21	13,45
	5	22,73	84,47	17,47
	6	27,68	78,92	20,61
2	1	3,34	6,93	2,83
	2	5,05	15,35	4,12
	3	10,17	16,29	8,41
	4	17,58	69,48	14,38
	5	24,64	81,55	18,91
	6	34,75	112,53	25,31
3	1	2,68	7,10	2,27
	2	4,48	9,58	3,62
	3	8,61	19,92	7,09
	4	13,69	42,99	11,18
	5	17,70	69,29	13,75
	6	19,93	62,29	15,16

En el Apéndice 3 se presentan las EUA para cada uno de los tratamientos aplicados junto a los análisis estadísticos de la regresión, donde es posible apreciar que ninguno de los interceptos presenta significancia estadística. En base

a lo anterior, se recalcularon las regresiones de los tratamientos con su origen en cero, donde cada una de éstas presentaron significancia estadística (Apéndice 4). Con ésta información, se realizó una prueba *t* de Student, con el fin comparar la EUA de cada tratamiento, no encontrando diferencias significativas entre ellas. Posteriormente, se determinó una EUA general de *Jatropha* (Figura 2) en la cual se incluyen los datos de los tres tratamientos, siendo el valor de la pendiente de la recta ajustada de 4,30 g de materia seca por cada kg de agua transpirada. Se aprecia la respuesta lineal y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,95.

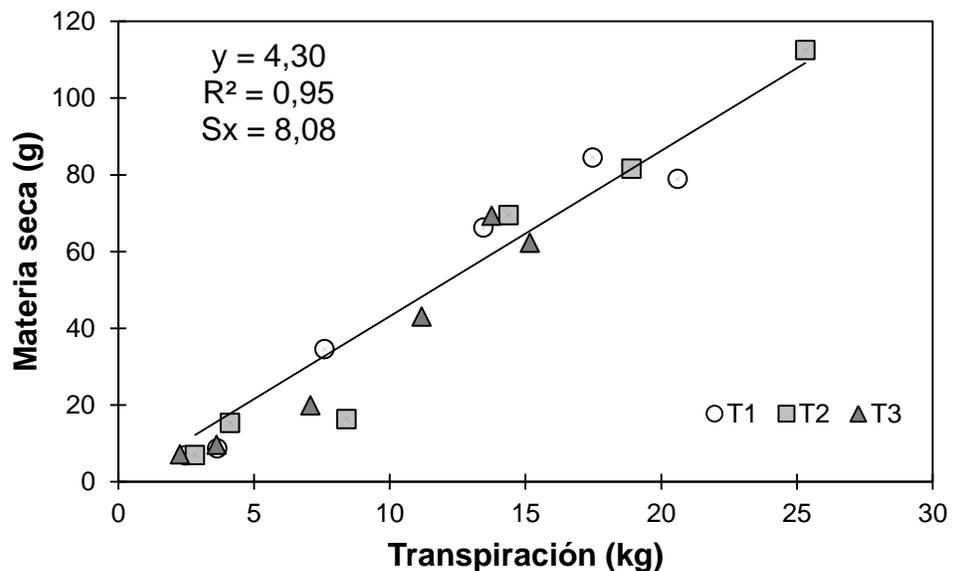


Figura 2. Estimación de la Eficiencia del uso del agua de *Jatropha curcas* L mediante la recta ajustada.

7.2. Coeficiente K_{DPV}

Para la estimación del K_{DPV} se utilizó la misma metodología aplicada para la EUA para los interceptos donde no se encontraron diferencias estadísticas dentro de éstos (Apéndice 5), igualmente se recalcularon las regresiones del K_{DPV} de los tratamientos con su origen en cero, donde cada una de éstas presentaron

significancia estadística (Apéndice 6). Se realizó una prueba *t* de Student, 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_{DPV} con un valor de $3,30 \text{ kPa g kg}^{-1}$ (Figura 3).

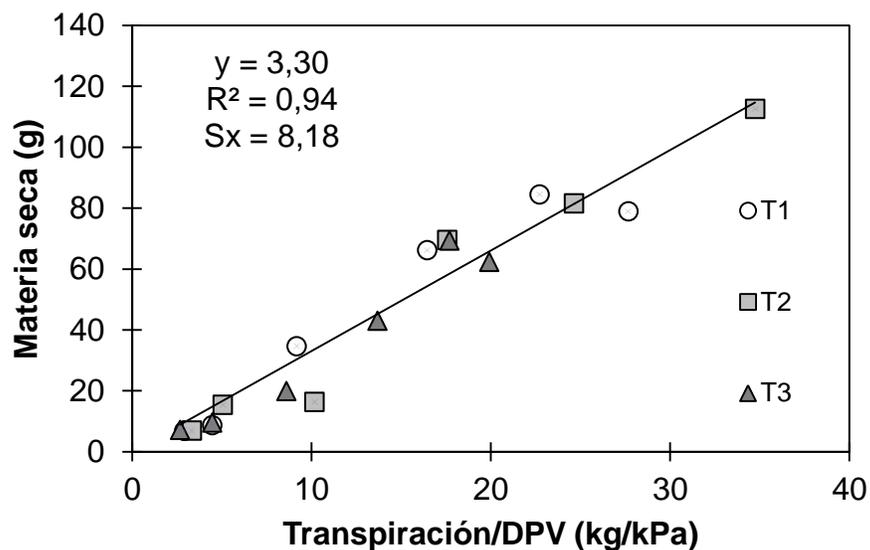


Figura 3. Coeficiente K_{DPV} general estimado para *Jatropha curcas* L. mediante la recta ajustada.

7.2.1. Relación entre materia seca aérea/radical

Se ajustó una recta a los valores de materia seca aérea versus materia seca radical, esta 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, resultando todas las pendientes significativas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resumen de las regresiones entre materia seca aérea y radical.

Tratamiento	Relación A/R		Error Típico	R ²
	Valor	P-value		
1	4,07	* <0,0005	6,78	0,78
2	3,71	* <0,0005	6,13	0,79
3	3,37	* <0,0005	5,53	0,78
General	3,73	* <0,0005	6,57	0,92

* Significancia estadística de las pendientes

Posterior a esto se compararon las pendientes mediante una prueba *t* de Student, no encontrándose diferencias significativas, esto indica que no existió un efecto de los tratamientos aplicados, por lo cual se ajustó una recta general a todos los datos, indiferente al tratamiento aplicado (Figura 4).

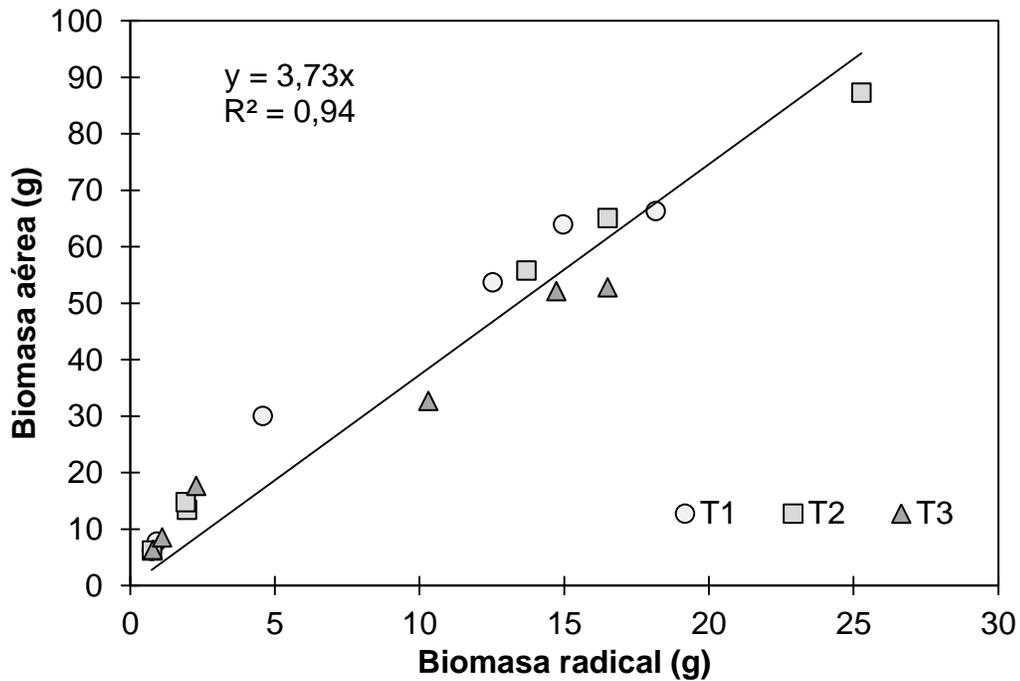


Figura 4. Relación entre materia seca aérea y radical de *Jatropha curcas* L mediante la recta ajustada.

Por otra parte se hizo un análisis de la relación de materia seca aérea versus radical en el tiempo, donde todos los tratamientos siguen el mismo patrón. (Figura 5).

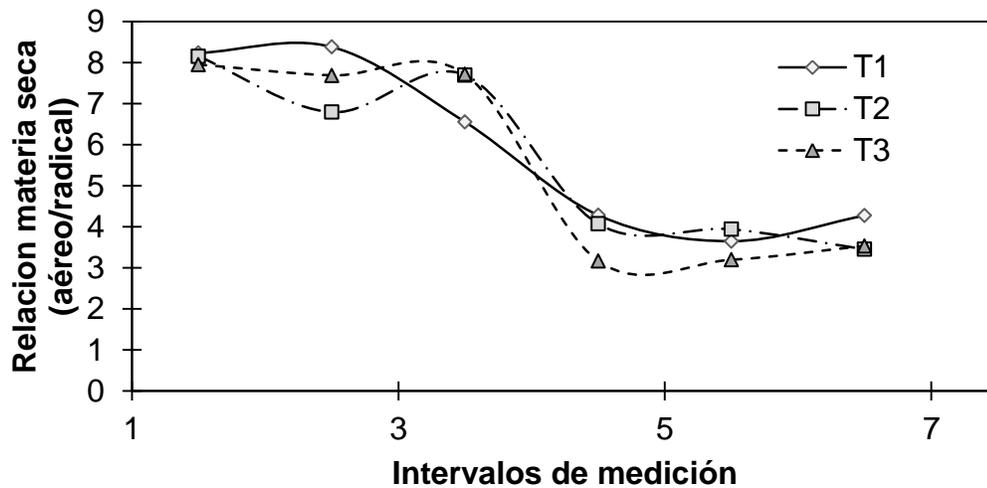


Figura 5. Relación aérea y radical dentro de cada intervalo de medición de *Jatropha curcas* L.

Si bien no existen diferencias significativas entre las pendientes, es posible apreciar en el Cuadro 5, 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 por objetivo generar un equilibrio entre la transpiración y el volumen de suelo explorado, en otras palabras el mecanismo lo que buscaría sería el equilibrio entre la demanda y la oferta respectivamente.

7.3. Variables fisiológicas

7.3.1. Potencial hídrico

Dentro del periodo número 1 no se realizaron mediciones de potencial xilemático. En la Figura 6 se desprende que para el periodo 2 y 3 no se encontraron

diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que desde el periodo 4 y hasta el 5 comienza a acentuarse el efecto de los tratamientos sobre el potencial hídrico, encontrándose diferencias significativas entre el tratamiento 1 y 3. Los valores mínimos registrados fueron -0,9 y -0,8 MPa para el tratamiento 3 y 1 respectivamente, en el periodo 4 de medición. En el periodo 7 se produjo una lluvia de 5 mm, previo a la medición de potencial xilemático, esto dio como resultado un aumento de los potenciales, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 3, donde los valores registrados fueron de -0,6 ; -0,5; y -0,25 MPa para el tratamiento 1, 2 y 3 respectivamente.

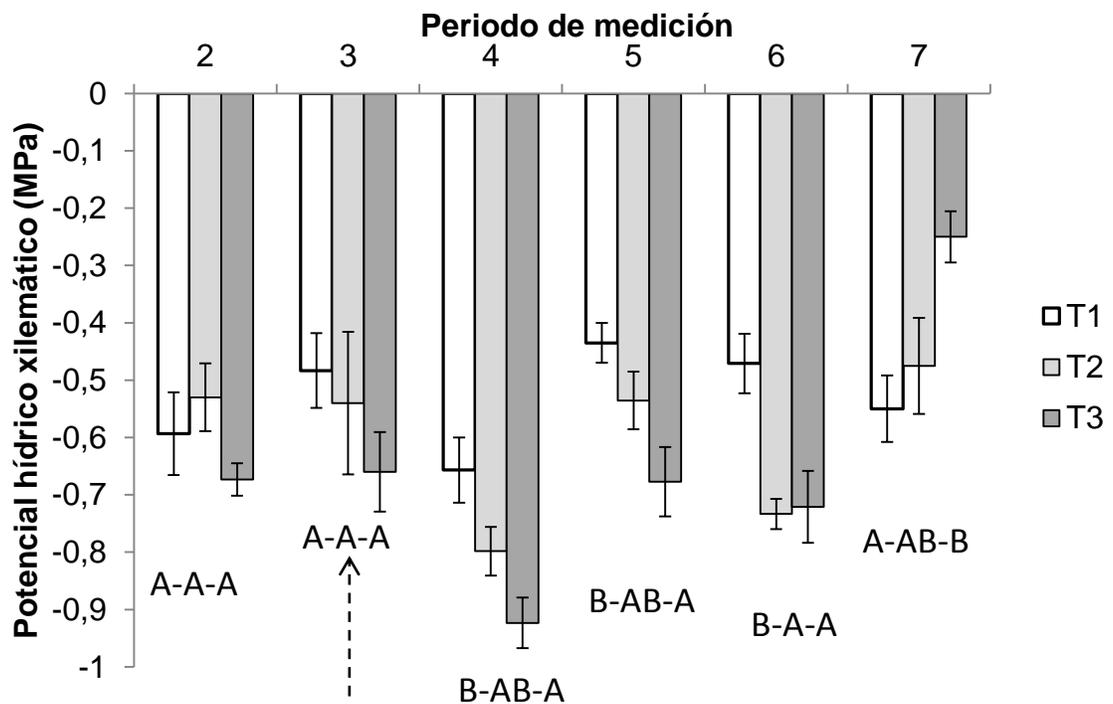


Figura 6. Resultados de potencial hídrico xilemático de *Jatropha curcas* L. Barras de error representan el error estándar; Las letras representan los resultados del test de Tukey. La flecha punteada indica cambio de frecuencia de riego.

7.4. Variables de Crecimiento

7.4.1. Numero de hojas

En la Figura 7 se presentan los resultados respecto al número de hojas en cada tratamiento. Al analizar cada una de las fechas de medición, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Inicialmente se observó un aumento en el número de hojas en T1 y T2 hasta el final del ensayo, el tratamiento 3 mostro un menor número de hojas e incluso disminuyó su promedio dentro del último periodo de medición.

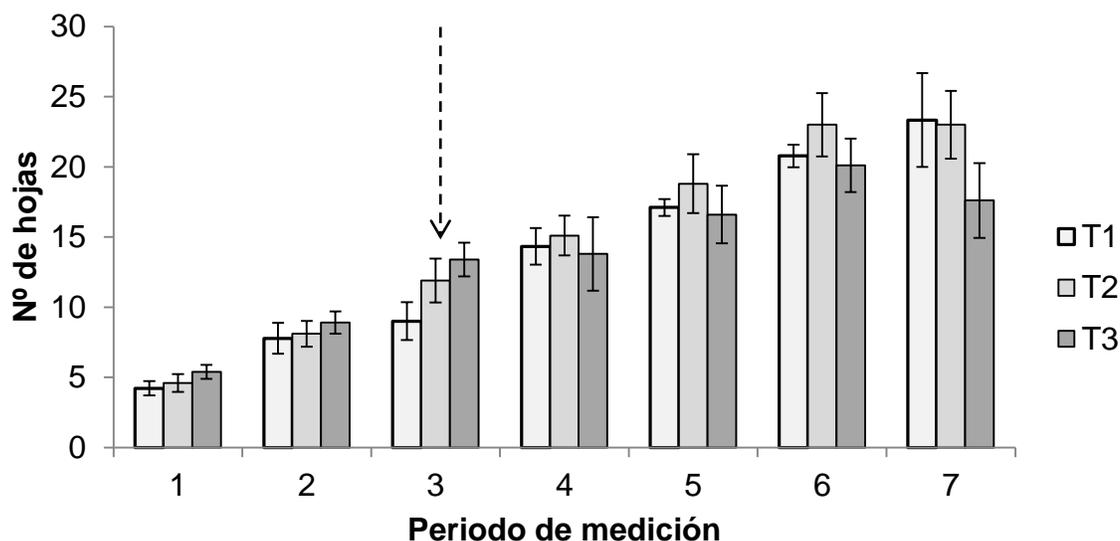


Figura7. Número de hojas por tratamiento de *Jatropha curcas* L. en cada intervalo de medición. Barras de error representan el error estándar. La flecha punteada indica cambio de frecuencia de riego.

7.4.2. Área de sección transversal de tronco (ASTT)

En la Figura 8 se presentan los resultados de ASTT para cada tratamiento en cada fecha de medición. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos solo para el último periodo de medición del ensayo. Estas diferencias no fueron

percibidas por el test de Tukey. A partir del periodo 4, el tratamiento 2 muestra una tendencia a un mayor ASTT.

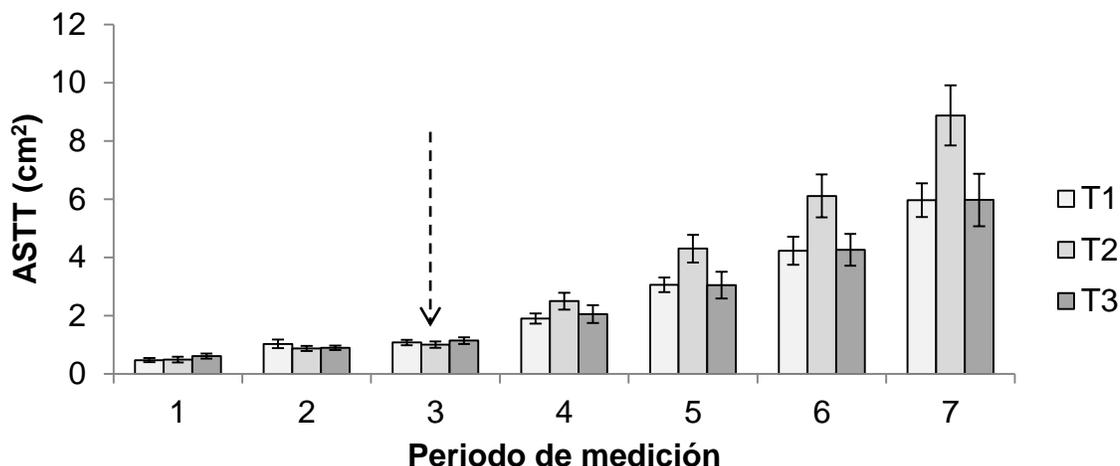


Figura 8. ASTT por tratamiento de *Jatropha Curcas* L. para cada intervalo de medición. Barras de error representan el error estándar. La flecha punteada indica cambio de frecuencia de riego.

En la Figura 9 se presentan los resultados de la tasa de crecimiento promedio diario de ASTT por tratamiento, donde es posible apreciar una estabilización del crecimiento de este cultivo desde el periodo 4 en adelante para el tratamiento 1 y 3, en el caso del tratamiento 2 la estabilización se produjo a partir del periodo 4.

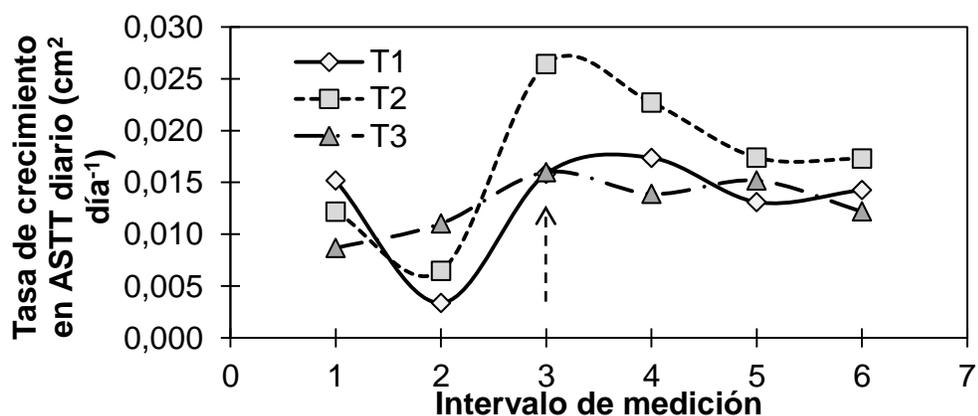


Figura 9. Tasa de crecimiento promedio diario de ASTT por tratamiento de *Jatropha curcas* L. para cada intervalo de medición. La flecha punteada indica cambio de frecuencia de riego.

7.4.3. Altura de plantas

En la Figura 10 se presentan los resultados de altura de plantas para cada tratamiento, de los cuales se desprende que el tratamiento 2 fue el que obtuvo un mayor crecimiento con 60,10 cm, seguido por los tratamientos 3 y 1 con 50,30 cm y 46,94 cm de altura respectivamente. En el periodo 1 se encontraron diferencias significativas para el tratamiento 3. Sin embargo, este efecto no fue relevante dado que desde el periodo 2 hasta el periodo 4 de medición no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

Desde el periodo 4 de medición, el tratamiento 2 comenzó a mostrar un mayor crecimiento en comparación con los otros tratamientos, esta tendencia se vio reflejada hasta el final del ensayo. Para el periodo 5 se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento 1 y 2, en cambio para el periodo 6 de medición no se encontraron diferencias significativas.

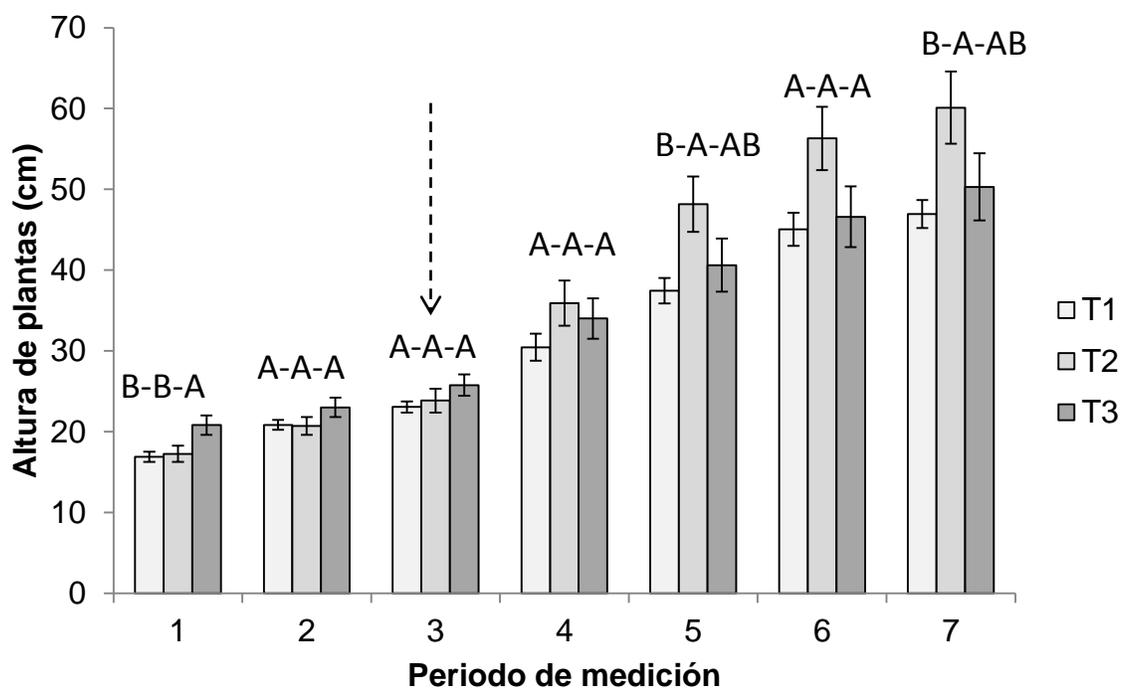


Figura 10. Resultados de crecimiento en altura por tratamiento de *Jatropha curcas* L. para cada intervalo de medición. Barras de error representan el error estándar;

letras representan los resultados del test de Tukey. La flecha punteada indica cambio de frecuencia de riego.

En la Figura 11 se observan las tasas de crecimiento promedio de altura diaria, en donde se observa que entre el periodo 3 y 4, hay una ligera disminución de la tasa de crecimiento, cayendo drásticamente a partir de la quinta fecha de medición en adelante.

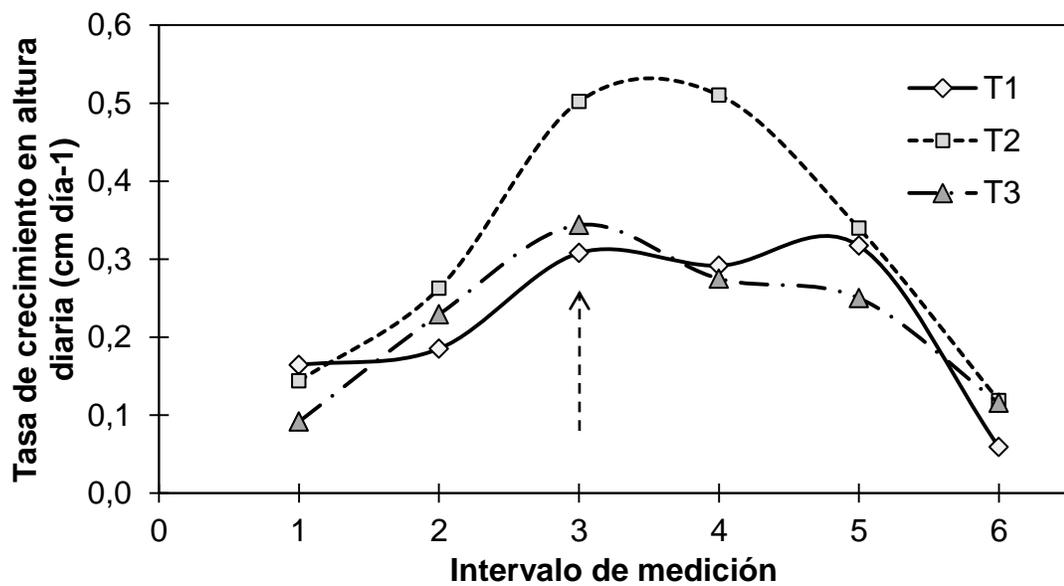


Figura 11. Tasa de crecimiento promedio de altura diaria de *Jatropha curcas* L. en cada intervalo de medición. La flecha punteada indica cambio de frecuencia de riego.

8. DISCUSIÓN

8.1. Eficiencia del uso del agua

Dada la variabilidad de la Eficiencia del uso del agua (EUA) asociada a la condición climática donde se establece el cultivo, la información que se presenta a continuación, busca mostrar valores de los cultivos más utilizados en Chile, de esta forma, plantear un escenario que permita dilucidar en que rangos de eficiencia varia el cultivo de *Jatropha*.

Abou Kheira y Atta (2008), obtuvieron valores de eficiencia del uso del agua para semillas de *Jatropha*, entre 0,21 y 0,44 g de materia seca por kg de agua aplicada. Si consideramos un valor de índice de cosecha de 0,35 (Jongschaap *et al.*, 2007) (donde este parámetro corresponde a la relación entre la materia seca del producto esperado por el total de la biomasa aérea producida) 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, en este contexto los valores del presente ensayo son ostensiblemente mayores. Esta diferencia es posible explicarla por varios motivos, en primer lugar, Abou Kheira y Atta (2008) determinaron la EUA por medio del agua aplicada, y no del agua transpirada. Además, dentro del cálculo hídrico consideraron mayores montos de agua aplicada, correspondiente a una fracción de lavado por las condiciones de salinidad del agua, por lo tanto, estos 2 factores influyen disminuyendo la EUA. Por otro lado, la estimación de EUA con el índice de cosecha solo considera la parte aérea, mientras que en el presente ensayo se contempló la planta completa, esto aumenta en un 20% la EUA.

Según los valores del presente estudio se determinó el intervalo de confianza en el cual es posible encontrar los valores de EUA para *Jatropha*. Esto se hizo mediante la prueba *t* de Student al 95% de confianza, donde el límite inferior y superior

presentaron un valor de 0,3 y 8,3 g kg⁻¹, respectivamente. Con la información anterior, se generó un Cuadro comparativo para la EUA de diferentes cultivos (Cuadro 6) donde se consideró un valor crítico de *t* igual a $\pm 2,12$.

Cuadro 6. Comparación de la EUA en Trigo y Avena respecto a *Jatropha curcas* L.

Cultivo	Sitio	Variedad	EUA g kg ⁻¹	Valor T
Jatropha	Las Cardas	Curcas	4,30	-
Jatropha ¹	Egipto	Curcas	0,90	1,80
Trigo ²	Moombooldool, Australia	Gutha	7,10	-1,48
		Quarrion	5,87	-0,83
	Pullman, USA	WB926R	4,59	-0,15
		Bushland, USA	WB926R	5,10
	Aleppo, Syria			3,94
			4,38	-0,04
		Cham1	4,45	-0,08
		Huarina	4,64	-0,18
Avena ³	Chinchilla, Australia	Taipan	1,40	1,54
			0,40	2,07
	Roma, Australia	Taipan	1,50	1,48
	Toobeach, Australia	Taipan	1,50	1,48
	Condamine, Australia	Genie	2,80	0,80
		Taipan	2,10	1,17
			0,60	1,96

Fuente: ¹.Abou Kheira y Atta, 2008 (Modificado); ² Kremer, 2006 (Modificado); ³ Bell *et al.*, 2012 (Modificado).

El amplio rango de EUA obtenido en la prueba *t*, se atribuye al bajo número de muestras, lo cual limita los grados de libertad para el análisis estadístico, junto con un bajo valor para el *t* calculado. Por otra parte el alto valor del error típico también influyó dentro de la prueba *t* ampliando el intervalo de confianza. Con esta

información no es posible apreciar una diferencia clara entre los cultivos C3 más utilizados en Chile.

Dentro de la literatura se mencionan una serie de mecanismos fisiológicos los cuales se relacionan con la eficiencia del uso del agua, Maes *et al.* (2009) plantean que el tallo suculento de *Jatropha* participa en la economía del agua, produciendo un efecto “buffer” al momento de enfrentar las pérdidas de agua. Los mismos autores agregan que *Jatropha* no posee un mecanismo fotosintético netamente C3, sino un metabolismo CAM en el tallo, con hojas C3. Este mecanismo se activaría en periodos de sequía. Si bien este proceso no está estudiado en profundidad, podría explicar la capacidad de adaptación y mayor eficiencia del uso del agua reportada para este cultivo.

8.2. Coeficiente de Tanner (K_{DPV})

Se utilizó la misma metodología de la EUA para determinar el rango de confianza en el que se encuentran los valores de K_{DPV} de *Jatropha*, donde el límite inferior y superior presentaron valores de 0 y 7,64 g kPa kg⁻¹, respectivamente. Con la información anterior, se generó un Cuadro comparativo para la K_{DPV} de diferentes cultivos (Cuadro 7) donde se consideró un valor crítico de t igual a $\pm 2,12$.

Cuadro 7. Comparación del K_{DPV} Trigo y Avena con *Jatropha curcas* L.

Cultivo	Sitio	Variedad	K_{DPV} g kPa kg ⁻¹	Valor T	
Jatropha Trigo	Las Cardas	Curcas	3,30	-	
	Moombooldool	Gutha	3,80	-0,24	
		Quarrion	4,79	-0,73	
		Pullman, WA	WB926R	5,90	-1,27
		Bushland, TX	WB926R	5,30	-0,98
				4,32	-0,50
				4,00	-0,34
			4,55	-0,61	
	Aleppo, Syria	Cham1	5,53	-1,09	
		Huarina	6,00	-1,32	
Avena ²	Göttingen, Alemania (1976)	-	4,2	-0,44	
	Göttingen, Alemania (1977)	-	3,5	-0,10	
	Göttingen, Alemania (1982)	-	2,9	0,20	
	Göttingen, Alemania (1983)	-	3,5	-0,10	

Fuente: ¹Kremer, 2006 (Modificado); ²Ehlers y Goss, 2003 (Modificado).

Incluso si se comparase con otros cultivos C3, *Jatropha* no presenta diferencias significativas, tal como se aprecia en el Cuadro 8, en este sentido *Jatropha* no tendría una eficiencia mayor que cultivos con sistema fotosintéticos C3.

Cuadro 8. Comparación del K_{DPV} para diferentes cultivos con *Jatropha curcas* L.

Cultivo	Nombre científico	K_{DPV} g kPa kg ⁻¹	Valor T
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i> L.	4,00	-0,34
Papa	<i>Solanum tuberosum</i> L.	6,20	-1,42
Soja	<i>Glycine max</i> (L). Merrill	4,00	-0,34
Poroto	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	3,80	-0,24

Fuente: Ehlers y Goss, 2003 (Modificado).

En relación a lo expuesto, es posible desprender que el K_{DPV} de *Jatropha* no es mayor que el Trigo y la Avena, estando incluso por debajo del promedio de este tipo de metabolismo ($4,20 \text{ kPa g kg}^{-1}$). Por otro lado, la normalización por DPV no aumentó el coeficiente de determinación (R^2) respecto a la EUA (Figura 2), esto se debería al régimen climático igual para los 3 tratamientos. Al someterse al mismo déficit de presión de vapor, el efecto de la normalización se vio mermado, esto debido a que la magnitud de variación fue la misma para todos los tratamientos, lo anterior incidió ligeramente en el ajuste los datos, por tanto en el coeficiente de determinación (R^2).

Lo ideal en este contexto, hubiera sido tener el mismo ensayo replicado en diferentes zonas climáticas, lo que permitiría una variación entre los datos de biomasa, transpiración y DPV. Con lo anterior sería posible una mayor variabilidad en los datos de EUA, y posiblemente un mejor ajuste normalizando por DPV. En este sentido Stedutto *et al.* (2007) plantean que la normalización por el flujo de transpiración o evapotranspiración de referencia (ET_0), es más preciso como predictor respecto al DPV, dado que la ET_0 es un indicador que integra diferentes factores para su estimación. No obstante, esta metodología en las condiciones evaluadas (datos no mostrados), no presentó un mejor ajuste que permitiese afirmar su eficacia como normalizador.

8.3. Variables Fisiológicas

Dentro de los 2 primeros intervalos de medición no se encontraron diferencias significativas (Figura 6). A partir del tercer intervalo de medición el efecto de los tratamientos se acentuó y se empezaron a marcar diferencias entre tratamientos. Maes *et al.* (2009), presentan tendencias diferentes a las vistas en la Figura 6 (sin considerar el último periodo de medición alterado por el evento de lluvia), donde el tratamiento sin riego presenta un mayor valor de potencial (más cercano a 0), en relación a los otros tratamientos (regados a capacidad de campo y 40% de la

humedad aprovechable). Lo anterior se explicaría debido a la menor área foliar del tratamiento sin riego (Figura 7), respecto a los otros tratamientos dentro del ensayo de Maes *et al.* (2009).

Dentro de la Figura 6 es posible apreciar como a partir del periodo 3 hasta el periodo 6 se acentúa el efecto de los tratamientos de riego, acorde con la intensidad de estos. En el periodo 6 el tratamiento 2 equiparó al tratamiento 3, con valores de - 0,73 y - 0,72 MPa. Este efecto se explicaría debido a que el tratamiento 2 presentó un mayor número de hojas, lo que implicaría una mayor superficie foliar y capacidad transpiratoria, esto genera una disminución en el potencial hídrico, para diferentes frecuencias de riego. En contraste dentro del periodo 7, posterior a la lluvia, el potencial hídrico del tratamiento 3 (regado cada 24 días) cayó drásticamente, muy por debajo del tratamiento 1 y 2 (regado cada 8 y 12 días respectivamente). Si se analiza este hecho de forma aislada, se reafirma el comportamiento anterior, entre el número de hojas (área foliar) y el potencial hídrico, debido a que ante una menor superficie de transpiración, el cultivo responde con un aumento de potencial, lo cual podría traducirse en un comportamiento isohídrico. Sumado a lo anterior, Díaz-López *et al.* (2012) determinaron que el cultivo de *Jatropha* bajo estrés hídrico presenta un cierre estomático. Ambas estrategias estarían enfocadas a mantener el estatus hídrico de la planta mediante la disminución de las pérdidas de agua por transpiración, siendo este un comportamiento isohídrico. Por otra parte, el potencial hídrico de la planta si disminuye en el tratamiento de menor frecuencia este comportamiento es propio de plantas anisohídricas.

Dada esta controversia, no se tiene claridad actualmente de cuáles son los mecanismos específicos que utiliza *Jatropha* ante el déficit hídrico. Sin embargo, en función de los resultados obtenidos, una posible estrategia para tolerar la falta de agua, sería disminuir el área foliar con el fin mantener el potencial hídrico.

Henson *et al.* (1989), presentan valores del orden de - 1,2 MPa para trigo bajo riego, y de - 3 MPa para trigos con restricción hídrica, comparado con *Jatropha* son diferentes considerando que el mínimo valor registrado fue de - 0,45 MPa (Periodo 5, tratamiento 1) y el valor máximo de - 0,92 MPa (Periodo 4, Tratamiento 3). Siddique *et al.* (2000) plantean valores de - 0,6 MPa para trigo bajo riego y de - 2 MPa para trigo en condiciones de estrés, en base a esto el comportamiento de *Jatropha* sería al de trigo bien regado, ya que, en función de las respuestas de crecimiento obtenidas, no se encontraron diferencias significativas.

Silva *et al.* (2010) plantearon que *Jatropha* tiene la capacidad de adaptarse a condiciones de estrés hídrico y salinidad, debido a un ajuste osmótico producido en hojas y raíces, lo que le permite, por medio del cierre estomático, disminuir de forma significativa la pérdida de agua. Además, mencionan el costo energético de este proceso, que impacta sustancialmente en el intercambio gaseoso, disminuyendo la tasa fotosintética. Sumado a lo anterior, Fujimaki y Kikuchi (2010), llegaron a resultados similares en términos de la resistencia de la salinidad, mencionando que *Jatropha* es capaz de absorber agua mediante un ajuste osmótico.

Por otro lado, dentro del presente ensayo no existieron diferencias significativas entre la relación de materia seca aérea/radical, con una relación promedio de 3,73 (ó 0,27 MS radical MS aérea⁻¹) (Cuadro 5), Achten *et al.* (2010), plantea el mismo valor para la relación MS radical/ MS aéreo, para su tratamiento de riego más abundante. Esto apuntaría que dentro del presente ensayo las plantas nunca sufrieron un estrés hídrico importante.

Por otra parte las diferencias observadas dentro de los parámetros de crecimiento no guardan relación con las respuestas esperadas a mayores niveles de estrés hídrico. El tratamiento de frecuencia intermedia (T2) fue el que obtuvo mayor altura de planta, ASTT y número de hojas, mientras que los tratamientos 1 y 3 se

comportan de forma similar en las variables antes mencionadas. Por lo cual, se puede inferir que los órdenes de magnitud del estrés hídrico, monitoreado como potencial hídrico xilemático, aplicado por medio de frecuencias de riego, no fue lo suficientemente significativo para generar respuestas en el crecimiento de *Jatropha curcas* L.

8.4. Variables de crecimiento

No se encontraron diferencias significativas para ninguno de los parámetros de crecimiento, al igual que en el ensayo Behera *et al.* (2010), el cual tampoco presentó diferencias significativas en crecimiento para sus tratamientos (frecuencias de riego, similares a los aplicados en este estudio). Por otra parte estos autores agregan que la aplicación de un riego cada 30 días, es el óptimo para la producción de biomasa en *Jatropha*, a diferencia de lo obtenido dentro de este ensayo, donde el óptimo se obtuvo con riegos cada 15 días. Esta diferencia se explicaría debido a que los contenedores utilizados en el presente ensayo eran de menor capacidad (20 L) respecto a los del ensayo mencionado anteriormente (90 L), lo que tendría un impacto en la capacidad total de almacenamiento de agua en el suelo, ya que a mayor volumen de suelo mayor cantidad de agua disponible para el cultivo. Sumado a lo anterior, las plantas de Behera *et al.* (2010) presentan 3 temporadas de crecimiento, a diferencia de las del presente ensayo con solo una, además, la magnitud de lluvias presentes en el sitio de estudio fue cerca de 4 veces mayor, estos factores explicarían por qué la menor frecuencia de riego (30 días) obtuvo los mejores resultados.

Por otro lado Achten *et al.* (2010), aplicaron tratamientos que se basaron en contenidos de agua en el suelo donde T1 se mantuvo a capacidad de campo, T2 al 40% de la humedad aprovechable y T3 sin riego, estos autores muestran tendencias diferentes a las de este ensayo, donde el tratamiento de mayor agua aplicada (T1) es el que obtiene los mejores resultados, en todo ámbito de

crecimiento (Nº de hojas, ASTT, altura de plantas). Los resultados del presente ensayo muestran tendencias disimiles, donde el tratamiento 2 (regado cada 15 días) fue el que obtuvo mejores resultados en todo aspecto, como se mencionó anteriormente esto puede deberse a que con el tratamiento T2 se dieron mejores condiciones para el crecimiento de la raíz, y esto tuvo un efecto en el crecimiento total de la planta a diferencia del tratamiento 3 que era una cantidad muy baja de agua, y el T1 una cantidad alta.

Respecto al ASTT, Achten *et al.* (2010), muestran valores de muy similares a los planteados en el presente ensayo para el tratamiento 1, a diferencia del 2 y 3, donde las tendencias son totalmente distintas, en el caso del T2 y T3 de Achten son menores a su T1, a diferencia del este ensayo donde el T3 y T1 son los que presentan menores valores. Por otro lado la altura de plantas del T1 de Achten *et al.* (2010), obtuvo valores de 90 cm, muy por sobre los valores de T2 de 60,10 cm de este ensayo, esto explicaría por qué éstas últimas presentan mayores valores de ASTT, fomentando un desarrollo longitudinal más que en altura.

Relativo al número de hojas Achten *et al.* (2010), presentan tendencias similares a la de este ensayo, donde todos los tratamientos presentan un periodo de aumento en el número de hojas hasta un peak, para un posterior decaimiento y estabilización. Este mismo efecto es posible apreciarlo en la relación de materia seca aérea y radical, donde posterior a la fecha 3 de medición el cultivo tiende a disminuir la parte aérea y favorecer la parte radical (Figura 5).

Behera *et al.* (2010), muestra incrementos de ASTT promedio de los 3 tratamientos del orden de $7,05 \text{ cm}^2$ comparado con el valor promedio obtenido para este ensayo fue de $6,38 \text{ cm}^2$, si bien son valores similares las condiciones climáticas son totalmente distintas (con diferencias de 700 mm de precipitaciones anuales, respecto a los 200 mm reportados por Novoa y Villaseca, 1990).

9. CONCLUSIONES

- La eficiencia del uso del agua y el K_{DPV} de *Jatropha curcas* L. no es mayor a la reportada por la literatura.
- El K_{DPV} no reportó mejor ajuste respecto a la EUA de *Jatropha curcas* L.
- No existió un efecto significativo de los tratamientos de estrés, en términos de fisiológicos y de crecimiento.
- Bajo las condiciones del ensayo el tratamiento 2 no generó respuesta de estrés hídrico.
- La respuesta en términos del número de hojas del tratamiento 3, podría explicarse como un comportamiento isohídrico.

10. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma. 332 p

Abou Kheira, A. A. and N.M.M Atta. 2008. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. Biomass and Bioenergy (33) 10: p: 1343-1350.

Achten W.M.J., W.H. Maes, B. Reubens, E. Mathijs, V.P. Singh, L. Verchot, B. Muys. 2010. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. Biomass and Bioenergy (34) p: 667 - 676.

Achten. W.M.J., L. Verchot, Y.J. Franken, E. Mathijs, V.P. Singh, R. Aerts and B. Muys, 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. Biomass and Bioenergy (32)12: p: 1063-1084.

Beede R., D. Goldhamer. 1994. Olive irrigation management. In: Ferguson L., G. Sibbett, G. Martin (Eds.). Olive Production Manual. University of California. N° 3353. P: 61-68.

Bell L. W., J. Lawrence, B. Johnson, A. Whitbread. 2012. Exploring short-term ley legumes in subtropical grain systems: production, water-use, water-use efficiency and economics of tropical and temperate options. Crop & Pasture Science. (63) p: 819 – 832.

Behera S. K., P. Srivastava, R. Tripathi, J.P. Singh, N. Singh. 2010. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass: A case study. *Biomass and Bioenergy*. 34(2010) p: 30–41

Berg, A., C. Bidart, D. Espinoza, M. Flores, A. Moraga, N. Müller, C. Segura. 2013. Informe Final Estudio “Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía”. Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción. 190 p.

Biswas S., N. Kaushik, G. Srikant. 2006. In: Singh B., R. Swaminathan and V.Ponraj (eds). *Biodiesel Conference Towards Energy Independence – Focus on Jatropha*. 233-251p.

Boyer, J.S., 1982. Plant productivity and environment. *Science* 218, 443–448

Brouwer C., M. Heibloem. 1986. *Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs*. Training manual N°3. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 102 p.

Chaves, M.M., Oliveira, M.M., 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* (55)407, 2365–2384.

Chaves MM, Osorio J, Pereira JS. 2004. Water use efficiency and photosynthesis. In: Bacon M, ed. *Water use efficiency in plant biology*. Oxford: Blackwell Publishing, 42–74

Díaz-López, L., Gimeno, V., Simón, I., Martínez, V., Rodríguez-Ortega, W.M., García-Sánchez, F., 2012. *Jatropha curcas* L. seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. *Agricultural Water Management* 105, 48–56.

Divankara B.N., H.D. Upadhyaya, S.P. Wani, C.L. Laxmipathi Gowda. 2010. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. *Applied Energy*. (87)3: p: 732-742.

Ehlers W. and M. Gross. 2003. *Water Dynamics in Plant Production*. Centre for Agricultural Bioscience International. London, United Kingdom. 288p.

Francis G, Edinger R, Becker K. 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum*. (29):12–24. 8p.

Fairweather H., N. Austin, M. Hope. 2003. *Water use efficiency, an information package*. Land & Water Australia. 71p.

Fujimaki H. & Kikuchi N. 2010. Drought and salinity of Young *Jatropha*. *International Agrophysics*. 9p.

Fischer, R.A. and Turner N.C.. 1987. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology*. 41.p

Ghrab M., K. Gargouri, H. Bentaher, K. Chartzoulakis, M. Ayadi, M. B. Mimoun, M. M. Masmoudi, N. B. Mechlia, G. Psarra. 2013. (123) p 1-11.

Gour, V.K. 2006. Production Practices Including Post Harvest Management of *Jatropha Curcas*. In: Singh B., R. Swaminathan and V.Ponraj (eds). Biodiesel Conference Towards Energy Independence – Focus on *Jatropha*. 233-251p.

Heitholt J.J. 1989. Water Use Efficiency and Dry Matter Distribution in Nitrogen- and Water-Estressed Winter Wheat. American Society of Agronomy. 6p.

Heller J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben. International Plant Genetic Resources Institute. Rome.

Henson I.E., C.R. Jensen, N.C. Turner. 1989. Leaf Gas Exchange and Water Relations of Lupins and Wheat. I. Shoot Responses to Soil Water Deficits. *Plants Physiol.* (16)p:401 – 413.

Hoffman J.E., S.F. du Plessis. 1999. Seasonal water requirements of avocado trees grown under subtropical conditions. *Revista Chapingo Serie Horticultura* (5) p: 191-194.

Hussain G., and A. A. Al – Jaloud. 1997. Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of barley in Saudi Arabia. *Research Institute of Natural Resources and Environment.* (36) 1: p_55-70. .

Novoa R y S. Villaseca. 1990. Mapa agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2)

Jongschaap R.E.E.,W.J. Corré, P.S. Bindraban, and W.A. Brandenburg. 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.

Keller A and Seckler D. 2005. Limits to the productivity of water in crop production. Department of water resource, California. 20p.

Kremer. C. and C. Stöckle, R. 2012. Assessing the transferability of transpiration-use efficiency models of biomass production. Chilean Journal of Agricultural Research. (72)1: p: 10-15.

Kremer. C., C. Stöckle, R. Kemanian, T. Howell. 2008. A canopy transpiration and photosynthesis model for evaluating simple crop productivity model. In Ahuja, A. *et al.* (Ed) Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling water stress effects on plants growth processes. American Society of Agronomic Inc., Crop Science Society Inc. and Soil Science Society Inc., Madison, USA. 435p.

Kremer C. 2006. Response of Crops to Limited Water: Understanding and Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Ph. D. Washington State University. Department of Biological System Engineering. Washington, USA. 133 p.

Kumar S., S. Sharma. 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.). Industrial crop and products. (28); 1 – 10.

Maes, W. H., W. M. J. Achten, B. Reubens, D. Raes, R. Samson, and B. Muys., 2009. Plant–water relationships and growth strategies of *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. Journal of Arid Environments 73 (73) 10: p: 877–884.

Maes W.H., A. Trabucco, W.M.J. Achten, B. Muys. 2009 (a). Climatic growing conditions of *Jatropha curcas* L. Biomass and Bioenergy.(33) 10: p: 1481-1485.

Minhas P.S., S.K. Dubey, D.R. Sharma. 2007. Comparative affects of blending, intera/inter-seasonal cyclic uses of alkali and good quality waters on soil properties and yields of paddy and wheat. *Agricultural water magnagement*. (87)1: p: 83-90.

Openshaw K. 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulled promise. *Biomass and Bioenergy* (19) 1: p: 1-15.

Ouwens, D.K., G. Francis, Y.J. Franken, W. Rijssenbeek, A. Riedacker, N. Foidl, R. Jongschaap, P. Bindraban. 2007. Position paper on *Jatropha curcas*. State of the art, small and large scale project development. Fact Foundation. Wageningen, Netherlands. 7 p.

Razeto B. 2008. El palto (aguacate). Bruno Razeto, Edición y comercialización de libros. 242 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.

Siddique, M.R.B.A. Hamid, M.S. Islam. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. (41)p: 35 – 39.

Siddique. K.H.N.1., Tennant. D..Beldford, R.K.. Peny, M.W. 1990. Water Use and - Water Efficiency Wheat in a Mediterranean—Type Environment. *Aust. J. Agric. Res.* 41:431-447. Citadopor Kremer C., 2006. Evaluating simple transpiration-based model of crop productivity. Washington State University. Department of Biological System Engineering. 133p.

Silva E.N., S.L. Ferreira-Silva, R. A. Viégas, J.A. Silveira 2010. The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants. *Environmental and experimental botany*. 7p.

Silva H. y Acevedo E. 1995. Eficiencia en el uso del agua en diez taxa de *Opuntia* introducidas en la región mediterránea de Chile. Departamento de producción agrícola, centro de estudios de zonas áridas CEZA. 11p.

Sing P.N. and S.C. Mohan. 2007. Water use and yield response of sugarcane under different irrigation schedules and nitrogen levels in a subtropical región. *Agricultural Water Management*.90; 1–2, 5p.

Sutterer N. 2010. *Jatropha* cultivation using treated sewage effluent “Water requirements and environmental risks (a case of southern morocco)”. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirement for the award of Master of Science degree in Agricultural Sciences. Faculty of Agricultural Sciences. University of Hohenheim. 69 p.

Steduto P., T.C. Hsiao and E. Fereres. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*. 25: 189-207.

Taiz L. and E. Zeiger. 2002. Water Balance of Plants. In: *Plant Physiology*, Third Edition. Sinauer Associates, Sunderland, MA.690 pp.

Tanner C.B. and T.R Sinclair. 1983. Efficient water use in crop production: research or re-search: p.1–27. In: Taylor H.M., *et al.*; *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. 583 p.

Teixeira A.H. de C., W.G.M. Bastiaanssen, L.H. Basso. 2007. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis

in the São Francisco river basin, Brazil. *Agricultural Water Management*. (94)1-3: p: 31-42.

Tigere T.A, T.C. Gatsi, I. I. Mudita., T.J. Chikuvire., S. Thamangani., and Z. Mavunganidze (2006). Potential of *Jatropha curcas* in Improving Smallholder Farmers' Livelihoods in Zimbabwe: An Exploratory Study of Makosa Ward, Mutoko District. *Journal of Sustainable Development Africa*. 9p.

Tinglu Fan, Stewart B.A., Yong W., Junjie L., GuangyeZ.. 2005. Long-term fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dryland of Loess Plateau in China. *Agriculture Ecosystem & Environment*. 17p.

Turner N.C. 1981. Correction of flow resistances of plants measured from covered and exposed leaves. *Plant Physiology*. 68; 1090 - 1092.

Van Duivenboodew N., Paln M., Studer C., Bielders C.L., BeukesD.J.. 2000. Cropping systems and crop complementarity in dryland agriculture to increase soil water use efficiency: a review. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 24p.

Vijaya Kumar, P., N.N. Srivastava, U.S. Victor, D. Gangadhar Rao, A.V.M. Subba Rao, Y.S. Ramakrishna, B.V. Ramana Rao. 1996. Use of remote sensing for drought stress monitoring, yield prediction and varietal evaluation in castor beans (*Ricinus communis* L.). Central Research Institute for Dryland Agriculture, Santoshnagar, Hyderabad. 12p.

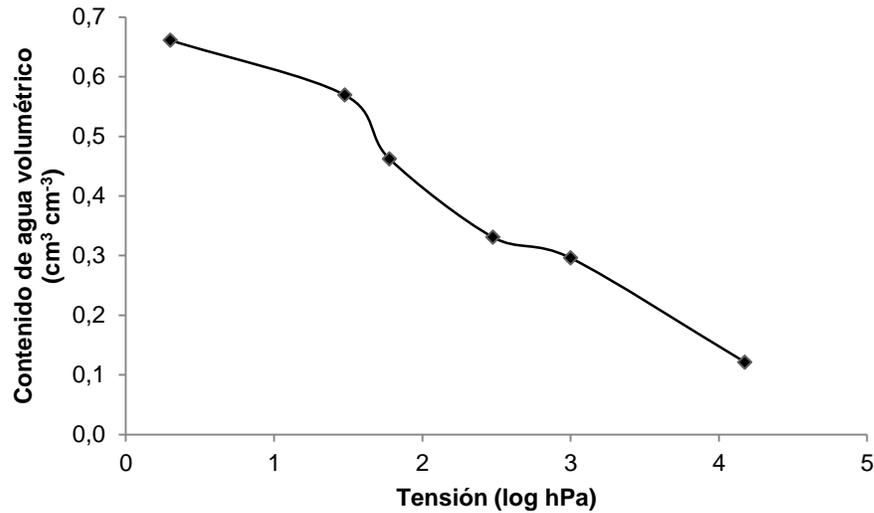
Walker G.K. 1986. Transportation efficiency of field-grown maize. *Field Crops Research*. 14:29-38.

Wiesman Z., D. Itzhak, N. B. Dom. Optimization of saline water level for sustainable Barnea olive and oil production in desert conditions. 2004. *Scientia Horticulturae*. (100) 1-4: p: 257-266.

USDA, 2009. Germplasm Resources Information Network - (GRIN). Disponible en: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?20692>, Consultado: 15 de Julio del 2013

11. APÉNDICES

11.1. Curva de retención de agua a diferentes tensiones del sustrato



11.2. Retención de agua a diferentes tensiones del sustrato

Retención de Agua (kPa)						Densidad aparente
2	30	60	330	1000	15000	
cm³ cm⁻³						Mg m⁻³
0,66	0,57	0,46	0,33	0,30	0,12	1,15

11.3. Resumen de regresiones respecto a los tratamientos para EUA.

Tratamiento	EUA g kg⁻¹			Intercepto		Error Típico g kg⁻¹	R²
	Valor	*	P-value	Valor	P-value		
1	4,53	*	<0,005	-2,66	0,71	8,70	0,94
2	4,85	*	<0,005	-9,36	0,25	9,25	0,95
3	4,91	*	<0,005	-8,22	0,23	6,90	0,93
General	4,74	*	<0,005	-6,52	0,06	7,44	0,95

* Significancia estadística de las pendientes.

11.4. Resumen de regresiones respecto a los tratamientos aplicados para EUA de Jatropha con su origen en cero.

Tratamiento	Valor	EUA g kg ⁻¹		Error Típico g kg ⁻¹	R ²
		*	P-value		
1	4,36	*	<0,005	7,94	0,78
2	4,31	*	<0,005	9,99	0,78
3	4,20	*	<0,005	7,55	0,92
General	4,30	*	<0,005	8,08	0,92

* Significancia estadística de las pendientes.

11.5. Resumen de regresiones por tratamiento para K_{DPV}.

Tratamiento	K _{DPV} g kPa kg ⁻¹			Intercepto		Error Típico g kPa kg ⁻¹	R ²
	Valor	*	P-value	Valor	P-value		
1	3,32	*	<0,005	0,43	0,96	10,55	0,91
2	3,50	*	<0,005	-5,31	0,49	9,93	0,95
3	3,73	*	<0,005	-6,48	0,30	6,60	0,94
General	3,47	*	<0,005	-3,32	0,35	8,19	0,94

* Significancia estadística de las pendientes.

11.6. Resumen de regresiones respecto a los tratamientos aplicados para K_{DPV} de Jatropha con su origen en cero.

Tratamiento	Valor	K _{DPV} g Kpa kg ⁻¹		Error Típico g Kpa kg ⁻¹	R ²
		*	P-value		
1	3,34	*	<0,005	9,44	0,78
2	3,27	*	<0,005	9,49	0,78
3	3,29	*	<0,005	6,89	0,78
General	3,30	*	<0,005	8,18	0,92

* Significancia estadística de las pendientes.

