

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



RESULTADOS DE ENSAYOS CON *JATROPHA CURCAS L.*
EN CUATRO LOCALIDADES DE LA REGIÓN DE COQUIMBO

Carlos Sierra Bernal - Antonio Ibacache González
Cornelio Contreras Seguel - Patricia Larraín Sanhueza
Paula Torres Órdenes - Andrés France Iglesias - Luis Muñoz Carvajal.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



**RESULTADOS DE ENSAYOS CON *JATROPHA CURCAS L.*
EN CUATRO LOCALIDADES DE LA REGIÓN DE COQUIMBO**

Carlos Sierra Bernal - Antonio Ibacache González
Cornelio Contreras Seguel - Patricia Larraín Sanhueza
Paula Torres Órdenes - Andrés France Iglesias - Luis Muñoz Carvajal.

Autores

Carlos Sierra Bernal, Ingeniero Agrónomo M. Sc.
Antonio Ibacache González, Ingeniero Agrónomo M. Sc.
Cornelio Contreras Seguel, Ingeniero Agrónomo.
Patricia Larraín Sanhueza, Ingeniera Agrónoma M. Sc.
Paula Torres Órdenes, Ingeniera Agrónoma.
Andrés France Iglesias, Ingeniero Agrónomo M. Sc. Ph. D.
Luis Felipe Muñoz Carvajal, Ingeniero Agrónomo.

Director Responsable

Francisco Meza Álvarez, Ingeniero Agrónomo M. Sc.
Centro Regional de Investigación Intihuasi.

Editores

Carlos Sierra Bernal, Ingeniero Agrónomo M. Sc.
Angélica Salvatierra González, Ingeniera Agrónoma M. Sc., Ph D.

Boletín INIA Nº 221

Boletín editado por el Centro Regional de Investigación Intihuasi, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura de Chile, como parte del proyecto: Evaluación agronómica de *Jatropha curcas* L. como materia prima para producir biodiesel bajo condiciones edafoclimáticas de Chile semiárido", 07CN13IYM-30, financiado por Innova Chile de CORFO.

Autoriza la reproducción total o parcial citando la fuente y los autores.

Cita bibliográfica correcta

Sierra B. C., Ibacache G. A., Contreras S. C., Larraín S. P., Torres O. P., France, I. A., y Muñoz C. L. 2011. Resultados de ensayos con *Jatropha curcas* L. en cuatro localidades de la región de Coquimbo. Boletín Nº 221. 60 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile.

Diseño y diagramación: Miradatres Ltda.

Impresión: Publicidad Interactiva

Cantidad de ejemplares: 500

La Serena, Chile, 2011

Agradecimientos

Se agradece a InnovaChile de CORFO el apoyo a este proyecto. Asimismo a Don Fabrício Bortolotti R, a la Señora María Cristina López O, y al señor José Miguel Bauzá F, por su interés y colaboración en el establecimiento, seguimiento y control de los ensayos establecidos en sus predios. Al equipo profesional de este proyecto y estudiantes de la Universidad de La Serena, Srta. Wanda Segovia y Sr. Francisco Godoy.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	Antecedentes generales de <i>Jatropha curcas</i> L.	8
1.1.1	Origen y distribución	8
1.1.1.1	Usos	8
1.1.2	Clasificación y descripción	8
1.1.3	Crecimiento	9
1.1.4	Rendimiento del cultivo	9
1.1.5	Requerimientos edafoclimáticos de la especie	11
1.1.5.1	Clima	11
1.1.5.2	Suelo	11
1.1.6	Floración y polinización en <i>Jatropha curcas</i> L.	11
2	ANTECEDENTES DEL CULTIVO DE JATROPHA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO	14
2.1	Propagación de plantas de <i>Jatropha curcas</i> L.	14
2.1.1	Pregerminación	14
2.1.2	Germinación	15
2.1.3	Crecimiento de plántulas	15
2.2	Establecimiento de parcelas de ensayo	17
2.2.1	Ubicación de las parcelas	17
2.2.2	Elección del sitio de la plantación	17
2.2.3	Características de los suelos donde se establecieron las parcelas	18
2.2.4	Datos climáticos	20
2.2.5	Actividades de establecimiento	22
2.2.5.1	Preparación de suelo	22
2.2.5.2	Diseño e instalación del sistema de riego	22
2.2.5.3	Fertilización al establecimiento	23
2.2.5.4	Fertilización post establecimiento	23
2.2.5.5	Riego	24
2.2.6	Comportamiento de plantas de <i>Jatropha curcas</i> L. en la región de Coquimbo	26
2.2.6.1	Fenología	26
2.2.6.2	Crecimiento de las plantas	32
	a) Temporada 2009/2010	32
	b) Temporada 2010/2011	36
	Producción	39
	Calidad del fruto	41
2.2.6.3	Plagas y enfermedades	42
	a) Plagas	42
	b) Enfermedades	45
3	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL CULTIVO DE JATROPHA CURCAS EN LA LOCALIDAD DE QUEBRADA SECA, VALLE DEL LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO	47
3.1	Introducción	47
3.2	Evaluación económica	47
3.2.1.	Antecedentes generales y supuestos utilizados	48
3.2.2.	Resultados y discusión	51
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA	55

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad Chile presenta una alta dependencia de fuentes de energía importadas: un 75% de la matriz energética corresponde a combustibles líquidos fósiles, de los cuales un 98% se genera a partir de petróleo importado (Laroze, 2007). El carácter no renovable de los combustibles fósiles y las perspectivas de agotamiento de las reservas en un mediano plazo, unido al crecimiento permanente y sostenido de la demanda, generan una situación problemática a mediano y corto plazo y han impulsado, desde hace varias décadas, la investigación sobre fuentes alternativas de energía, donde las energías renovables tienen un lugar destacado.

Lo anterior obliga a plantear con urgencia la necesidad de avanzar decididamente en el desarrollo de fuentes energéticas no tradicionales (ODEPA, 2007).

Investigaciones realizadas en diversos países, especialmente en Brasil señalan a *Jatropha curcas* L. como una nueva alternativa para sustituir los combustibles fósiles en la producción de diesel, por lo que la convierte en un prometedor combustible vegetal del futuro (Veruschka y col., 2009). Chile presenta una escasa oferta de especies y variedades vegetales disponibles para la producción de biocombustibles. En la zona sur se ha estado desarrollando trabajos de investigación con el raps y también con el nabo forrajero. Pero al parecer el trabajo de mayor potencial lo constituye la producción de biocombustibles a partir de residuos de la industria forestal, los llamados combustibles de segunda generación.

En nuestro país, el futuro de la producción de biocombustibles no tendría un gran espacio de desarrollo debido a la escasa superficie de suelos agrícolas, potencialmente cultivables. Esto sugiere una competencia por agua y suelos que podrían ser utilizados por otras especies vegetales de mayor valor comercial.

El nicho potencial del cultivo de *Jatropha* podría ser los sectores costeros del norte grande, pero su gran limitante sería la falta del recurso hídrico.

La especie en estudio ha sido muy difundida en artículos y revistas de extensión agrícola y se presenta como una gran alternativa para suelos degradados y con escasa disponibilidad hídrica. Sin embargo, su comportamiento agronómico ha estado siendo estudiado recién en los últimos dos años en Brasil, Argentina y Chile. El presente boletín entrega información respecto del comportamiento agronómico de *Jatrophas curcas* L. bajo las condiciones agronómicas de la región de Coquimbo.

1.1 Antecedentes generales de *Jatropha curcas* L.

1.1.1 Origen y distribución

Jatropha curcas L., es originaria de Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales. Se cultiva en América Central, Sudamérica, Sureste de Asia y África (Schmook y Seralta-Peraza, 1997). Según Heller (1996), su área de dispersión en Sudamérica abarca Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Venezuela y Argentina.

1.1.1.1 Usos

La *Jatropha* se caracteriza por numerosos aspectos positivos, tanto ecológicos como energéticos (Henning, 1996). Se destaca por su producción de biomasa, versatilidad de usos y adaptabilidad a condiciones marginales (Sotolongo, 2007).

Sobrevive y crece en tierras erosionadas, por lo que puede ser usada para combatir la desertificación y rehabilitar tierras degradadas (Jones y Miller, 1992). Además contribuye a incrementar la biodiversidad y restablecer el ciclo hídrico (Sotolongo *et al.*, 2007).

De la planta se extrae además el látex y las hojas que se utilizan con fines medicinales e insecticidas. También se obtienen otros subproductos como fertilizantes orgánicos, lubricantes, glicerina y producción de jabón (Brandenburg *et al.*, 2007).

1.1.2 Clasificación y descripción

La *Jatropha* es una oleaginosa perteneciente a la familia de las Euphorbiaceae (Cuadro 1), con más de 3.500 especies agrupadas en 210 géneros. El nombre del género *Jatropha* deriva del griego *jatrós* (doctor) y *trophé* (comida), que implica usos medicinales; mientras que *curcas* es el nombre común para la nuez del *Phycis* en Malabar, India (Sotolongo, 2007). Es conocida también con diferentes nombres comunes: piñón, piñón manso, higos del duende, tártao, turba y piñones purgativos (De Arruda *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Clasificación botánica de la planta *Jatropha*.

Clase	Magnoliopsida
Sub Clase	Rosidae
Orden	Malpighiales
Familia	Euphorbiaceae
Sub Familia	Crotonoideae
Tribu	Jatropheae
Género	<i>Jatropha</i>
Especie	<i>Jatropha curcas</i> L.

Fuente: Henning, 2009.

Es un arbusto, cuyo tallo tiene un diámetro aproximado de 20 cm que tiende a ramificar desde la base con ramas largas que presentan cicatrices dejadas por la caída de las hojas (Saturnino *et al.*, 2005). Además, como en otros miembros de esta familia, los tejidos vasculares de los tallos y ramas contienen látex traslúcido. Las ramas y los tallos son huecos y la madera blanda es de poco valor (Brittaine y Lutaladio, 2010). Por otra parte, estos mismos autores señalan que las plántulas generalmente forman una raíz pivotante central, cuatro raíces laterales y muchas raíces secundarias.

Las hojas son pecioladas, anchas y alternas en forma de palma con tres a cinco lóbulos, presentan nervaduras de color blanquecino que sobresalen en el envés de la hoja. Las hojas nuevas presentan una coloración verde-rojiza, cubiertas con una pelusa blanca que a medida que se expanden se tornan de color verde (Saturnino *et al.*, 2005).

Los frutos son cápsulas ovoides; con un diámetro de 1,5 a 3 cm de ancho, y triloculares con una semilla en cada cavidad. Al inicio son carnosos e indehiscentes, cuando se secan inicialmente son de color verde pasando al amarillo, luego al café y finalmente al color negro cuando alcanzan el estado de madurez (Saturnino *et al.*, 2005).

La semilla del fruto es de color negro, formada por un pericarpio duro y leñoso. Esta mide de 1,5 a 2 cm de ancho y de 1 a 1,3 cm de largo, además contiene un porcentaje de aceite entre un 33 a un 38%, el cual representa entre un 53 a un 79% del peso del fruto (Días *et al.*, 2007). Los frutos crecen a su tamaño total en un período de dos meses, con un crecimiento concentrado en la tercera a la quinta semana (Solomon y Ezradanam, 2002). Por otra parte, Heller (1996), señala que el fruto necesita 90 días para su desarrollo, desde la floración hasta que las semillas maduran.



1.1.3 Crecimiento

Es un arbusto caducifolio, que puede alcanzar más de 5 m de altura (REDPA, 2009). Su ciclo productivo se extiende hasta 45 ó 50 años (Bartoli, 2008). A su vez, Tominaga *et al.* (2007), señala que cuando es plantado en el principio de la estación lluviosa, la *Jatropha* inicia la producción de frutos el primer año de cultivo, aunque alcanza su clímax productivo a partir del cuarto año con un horizonte potencial de más de 40 años.

1.1.4 Rendimiento del cultivo

En la actualidad, la *Jatropha* es vista como una planta con un gran potencial para la producción de biodiesel debido al alto contenido de aceite presente en la fruta, que puede ser utilizado para producir biocombustibles. De las semillas del fruto puede extraerse entre un 35 y 38% de aceite (Cáceres *et al.*, 2008). El que puede ser transformado en biodiesel mediante el proceso de trans-esterificación, que consiste en la separación del aceite vegetal de la grasa con un alcohol (generalmente metanol) y un álcali (soda cáustica). Al cabo de un tiempo de reposo, se separa por decantación el biodiesel del subproducto glicerol (Tapanes *et al.*, 2008).

Se ha estimado que una producción de 4 a 5 kg de semillas por arbusto podría generar, dependiendo del marco de plantación; entre 1,5 y 3 t/ha de biocombustible (Martin y Mayeux, 1984). Otros autores, indican que el rendimiento por hectárea de *Jatropha curcas* L. para producir biodiesel se sitúa entre 1.400 y 1.900 litros, siendo superior a cultivos tradicionales, como raps y soya (Figuroa, 2006). De acuerdo con informaciones más recientes, la planta produce en promedio 100, 500, 2.000 y 4.000 g/planta de semillas en el primero, segundo, tercero y cuarto año de cultivo, respectivamente (Tominaga *et al.*, 2007).

Dependiendo de la población de plantas, la productividad puede superar los 6.000 kg/ha de semillas. Con esta productividad, es posible producir más de 2.000 kg/ha de aceite. Sin embargo, con el mejoramiento genético y perfeccionamiento del sistema de producción, se cree que el cultivo de *Jatropha* puede producir por sobre 4.000 kg/ha de aceite (Red de Coordinación de Políticas Agropecuarias (REDPA), 2009)



1.1.5 Requerimientos edafoclimáticos de la especie

1.1.5.1 Clima

La especie puede crecer bajo diversas condiciones climáticas, desde las regiones tropicales húmedas hasta regiones tropicales secas, tolerando precipitaciones pluviométricas de 480 a 2.380 mm anuales. En las localidades donde la humedad no es el factor limitante, como en los trópicos húmedos o bajo irrigación, la planta puede florecer y producir frutos durante todo el año (Saturnino *et al.*, 2005).

Por otra parte, Heller (1996), señala que la distribución actual de la *Jatropha* muestra que la introducción ha sido más exitosa en las regiones secas de los trópicos, con una precipitación media anual de entre 300 y 1.000 mm. Sin embargo, Brittain y Litaladio (2010), establecen que la *Jatropha* puede sobrevivir con un mínimo de 250 a 300 mm de precipitación anual, al menos 600 mm son necesarios para la floración y formación de frutos.

Saturnino *et al.* (2005), indica que un adecuado desarrollo de la planta se obtiene con temperaturas medias anuales entre 18 °C y 28,5 °C. Bajas temperaturas son toleradas por la planta siempre que no sean por debajo de los 0 °C, ya que éstas pueden disminuir el rendimiento hasta en un 25%.

1.1.5.2 Suelo

Sobrevive y crece en tierras marginales y erosionadas, incluso en aquellas que ya no sirven para la actividad agrícola (Jones y Miller, 1992).

Saturnino *et al.* (2005), señala que puede desarrollarse en varios tipos de suelos; incluyendo los arenosos, salinos, alcalinos y rocosos, los cuales bajo el punto de vista nutricional y físico son restrictivos para un pleno crecimiento de las raíces de prácticamente todas las plantas.

Los suelos más aptos para la planta son los francos arenosos o arcillo-arenosos livianos, ventilados y bien drenados de al menos 45 cm de profundidad, no tolerando suelos inundables o pesados (Gour, 2006).

1.1.6 Floración y polinización en *Jatropha curcas* L.

Las plantas de la especie *Jatropha curcas* L. son monoicas, esto es, las flores masculinas y las flores femeninas se ubican en forma separada en la misma planta. Esta situación contrasta con las especies dioicas (como el pistacho, con árboles masculinos y femeninos en forma separada) o con las especies hermafroditas (como el almendro, en el que cada flor tiene las partes masculina y femenina).

El período de liberación de polen de las flores masculinas no se sobrepone completamente con el período de receptividad de las flores femeninas. Este fenómeno se conoce como dicogamia. La secuencia de floración indica que las flores femeninas abren desde el segundo día hasta el sexto día, mientras que las flores masculinas abren desde el primero hasta el último día del período de floración de la inflorescencia.

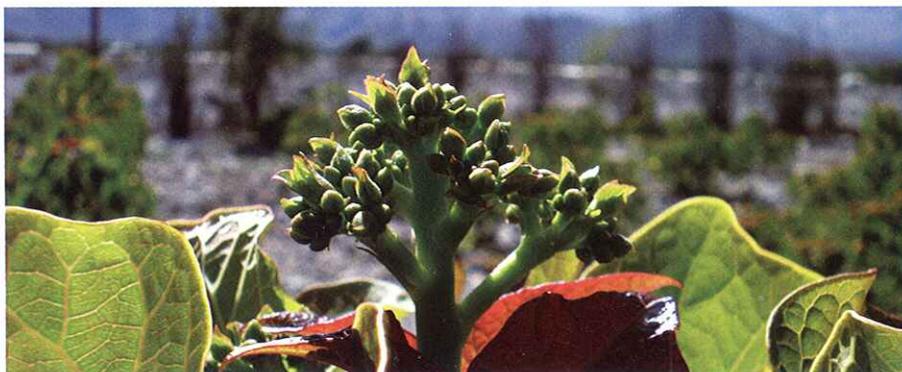


Figura 1. Inflorescencia de *Jatropha curcas* L. creciendo en el valle de Elqui.

La planta produce flores en inflorescencias tipo racimo (Figura 1). Las flores son unisexuales y las flores femeninas y masculinas son producidas en la misma inflorescencia. Normalmente, las inflorescencias producen una flor femenina central rodeada por un grupo de flores masculinas. Numéricamente, cada inflorescencia produce 1 a 5 flores femeninas y 25 a 93 flores masculinas. La relación promedio entre flores masculinas y femeninas es 29:1. Cada inflorescencia, una vez iniciada la floración, florece diariamente, durante el período de floración alrededor de 10 días.

Las flores masculinas son pequeñas (6 a 8 mm), sin olor y con forma aplanada parecida a una pequeña bandeja. Poseen cinco pétalos, cinco sépalos y diez estambres. Los granos de polen son amarillos y globulares, con un tamaño que varía entre 81 μm y 89 μm . La base de las flores contiene pequeñas cantidades de néctar. Estas flores caen mayoritariamente al tercer día (Figura 2).



Figura 2 y 3. Flor masculina, en parcela experimental de Pan de Azúcar e Inflorescencia de Jatropha, en parcela evaluación agronómica de Quebrada Seca. Región de Coquimbo.

Las flores femeninas son bastante similares en forma a las flores masculinas, pero son relativamente más grandes. Cada flor tiene tres estigmas bifidos y tres estilos. Las flores abren en sincronía con las flores masculinas. Los estigmas están receptivos después que abren las flores masculinas y permanecen así por tres días. Las flores no polinizadas caen al cuarto día, mientras que las polinizadas permanecen en su lugar. Los pétalos y sépalos aumentan gradualmente su tamaño para proteger el fruto en crecimiento hasta que éste alcance su tamaño final (Figura 4).



Figura 4 y 5. Flor femenina, en parcela experimental de Pan de Azúcar y frutos de Jatropha en parcela de evaluación agronómica de Quebrada Seca. Región de Coquimbo.

El porcentaje natural de cuaja en las inflorescencias varía entre 37% y 61%. Los frutos individuales inician su crecimiento inmediatamente después de ocurrida la fertilización de los óvulos. Para alcanzar el tamaño final los frutos requieren de un período de dos meses. Los frutos son inicialmente verdes, luego amarillos y finalmente café o negros (Figura 5).



2. ANTECEDENTES DEL CULTIVO DE *JATROPHA* EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

2.1 Propagación de plantas de *Jatropha curcas* L.

En Noviembre de 2008 se importaron semillas de la especie *Jatropha curcas* L. desde Brasil, del tipo que presentan toxicidad si son ingeridas por animales. Las semillas se sometieron a un programa de propagación en el Centro Experimental Vicuña del INIA, cuyas etapas se describen a continuación:

2.1.1 Pregerminación

Las semillas, presentan un peso promedio individual de 0,7 g, es recomendable un tratamiento pregerminativo para asegurar un alto porcentaje de germinación. Para ello, las semillas se sumergen en agua por un período de 24 horas. Luego se colocan en bandejas e introducen en cámaras de crecimiento a una temperatura de 30°C y 100% de humedad relativa.

La germinación (aparición de la radícula) ocurre al tercer día, alcanzando un 90% de semillas germinadas. Esta etapa de pregerminación termina cuando la cáscara de las semillas se abre y aparece la radícula formada por 4 raíces periféricas pequeñas (Figura 6).



Figura 6. Pregerminación: radícula con 4 raíces periféricas.

2.1.2 Germinación

Las semillas, con la radícula expuesta, se colocan individualmente en bolsas de polietileno de 3 litros de capacidad, conteniendo un sustrato formado por una mezcla, en partes iguales, de arena gruesa, compost y suelo común. El sustrato fue previamente desinfectado con un producto comercial Basamid 5G. Las semillas (con la raíz) se colocan a 1 cm de profundidad y luego se cubren con el sustrato. Posterior a esta labor las bolsas se riegan inmediatamente utilizando una máquina pulverizadora manual de espalda.



Figura 7. Germinación: aparición de cotiledones sobre el sustrato.

La germinación de las semillas de *Jatropha* es epígea, es decir, los cotiledones surgen sobre la tierra. Poco después que las primeras hojas se han formado, los cotiledones se marchitan y caen. Desde la siembra de la semilla con la raíz en las bolsas hasta la aparición de los cotiledones sobre el sustrato (germinación) transcurre un tiempo promedio de 3 días. El porcentaje de germinación de las semillas es de 90%. Durante el período de germinación se debe regar diariamente.

En el establecimiento de una plantación de *Jatropha curcas* L. mediante el uso de plantines, es recomendable un tratamiento previo de éstas, para garantizar la emergencia del mayor porcentaje de plántulas.

2.1.3 Crecimiento de plántulas

Luego de la germinación de las semillas en las bolsas (aparición de los cotiledones sobre el sustrato) las plántulas demoran unos 90 días hasta alcanzar una altura de 20 a 25 cm. Con esta altura las plántulas se sugiere establecerlas en terreno. Las plantas trasladadas al campo deben tener entre 4 y 6 hojas verdaderas.

Durante el período de crecimiento, es recomendable regar diariamente, con una solución de agua de riego que contenga 30 mg/L de nitrógeno, como nitrato de amonio.



Figura 8. Plántulas en sombreadero con malla negra, en Vicuña.

Al comparar la respuesta en crecimiento de las plántulas según el tipo de sombreadero usado, bajo las condiciones de Vicuña, valle de Elqui, se observó que con cubierta plástica y sistema de mist las plántulas alcanzaron la altura de 20 a 25 cm en alrededor de 70 días, comparado con los 90 días en el sombreadero sólo con malla y mostraron también un mayor perímetro de tronco.



Figura 9. Plántulas en sombreadero con cubierta plástica, malla negra y sistema mist.

2.2 Establecimiento de parcelas de ensayo

2.2.1 Ubicación de las Parcelas

Se establecieron cuatro parcelas con plantas de jatropha, con el objetivo de evaluar en terreno, la adaptabilidad, comportamiento, crecimiento y fenología de la planta bajo las condiciones edafoclimáticas de la región de Coquimbo. Las localidades fueron La Compañía, comuna de Vicuña, Pan de Azúcar, comuna de Coquimbo, Quebrada Seca, comuna de Ovalle y Cuz Cuz, comuna de Illapel, es decir se abarcó las tres provincias de la región (Figura 10).

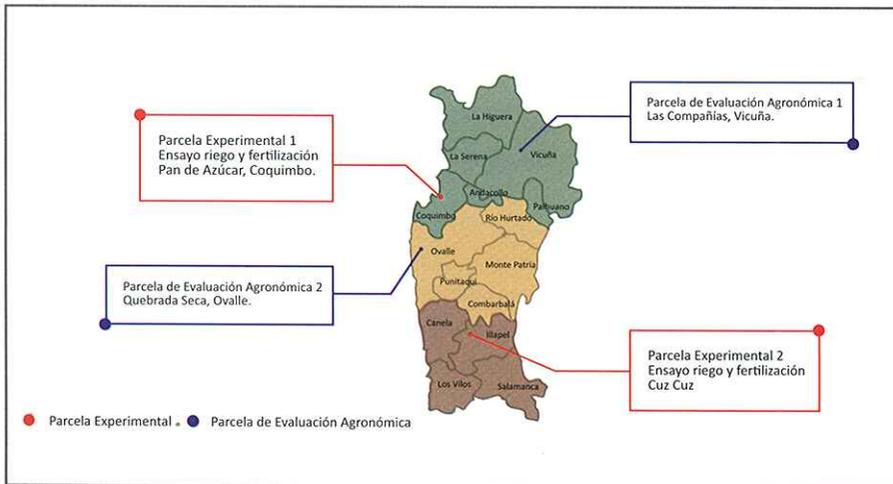


Figura 10. Ubicación de las parcelas en la región de Coquimbo.

2.2.2 Elección del sitio de la plantación

Aspectos muy importantes al momento del establecimiento son la época de plantación y el contenido de humedad del suelo. Las plantaciones de estas experiencias de campo, se realizaron en el período estival (lo que pudo haber favorecido condiciones de estrés en las plantas). Se recomienda establecer la plantación desde fines de Agosto a fines de Septiembre, para lograr un buen enraizamiento durante los meses de Noviembre a Diciembre, que es cuando se inicia el crecimiento vegetativo, siendo muy activo en el período estival.

Otro factor de gran importancia en el establecimiento, es el sitio elegido, donde como factor limitante serán las condiciones medioambientales del sector, siendo la más relevante, la ocurrencia de heladas. Las temperaturas templadas favorecen a la planta, resistiendo

normalmente el calor, aunque también soporta bajas temperaturas, pero se debe evitar zonas con riesgo de heladas. Si existen antecedentes de riesgo de heladas en el sector, es recomendable ubicar la plantación en laderas con pendientes superiores al 10%.

2.2.3 Características de los suelos donde se establecieron las parcelas

En Vicuña, la plantación de *Jatropha* se ubicó en suelo de caja de río, de textura arenosa gruesa y de una profundidad media no superior a los 60 cm.

Corresponde a la serie Mísceláneo Aluvial Elqui, consiste en terrenos pedregosos, con matriz arenosa, que se ubican en las terrazas bajas y recientes de los ríos y en parte cubiertos de vegetación rala de pastos y arbustos (CIREN, 2005).

Los resultados de los análisis de suelo, señalan que posee un contenido muy bajo de materia orgánica, una conductividad eléctrica de $0,5 \text{ mS cm}^{-1}$. EL valor de pH es ligeramente alcalino. Respecto del contenido de macronutrientes, este sitio presentó un contenido bajo de nitrógeno (12 ppm), bajo de fósforo (2 ppm) y medio de potasio (78 ppm).

El suelo en la localidad de Pan de Azúcar corresponde a la serie descrita como El Escorial, el cual se caracteriza por presentar una profundidad no mayor de 70 cm y descansa sobre material de ripio lo que le confiere buen drenaje. El subsuelo presenta acumulación moderada de carbonatos. La textura superficial predominante es franco arenosa con escasa pedregosidad y topografía plana. Los resultados de los análisis de suelo inicial del sitio experimental, señalan que el suelo presenta un bajo contenido de materia orgánica en ambas estratas, una conductividad eléctrica ligeramente más alta en superficie de 1,9 y $1,63 \text{ mS cm}^{-1}$, pH neutro en ambas estratas. Respecto del contenido de macronutrientes, se puede señalar que registra un contenido promedio de nitrógeno disponible de 15 ppm, 46 ppm de fósforo y 165 ppm de potasio.

Para la parcela de Quebrada Seca, el suelo es de origen granítico aluvial, delgado de no más de 60 cm de profundidad, de textura franco arcillosa. Suelo de topografía plana, de baja fertilidad química, con vegetación nativa de espinal y especies herbáceas como alfilerillo y gramíneas. Se puede considerar como un suelo marginal, manejado anteriormente de secano con pradera natural bajo pastoreo con ovinos. Presenta un muy bajo contenido de materia orgánica en ambas estratas (< 1%), una conductividad eléctrica alta, siendo ligeramente superior en la estrata superficial, registra además un pH neutro. Complementando la información anterior, el suelo presenta una baja fertilidad, para elementos como nitrógeno (4 ppm) y fósforo (8 ppm), y media para potasio (151 ppm).

El suelo de la localidad de Cuz-Cuz en Illapel presenta origen aluvial, por acción de las aguas del río Illapel, influenciado por efecto coluvial de quebrada adyacente. Presenta topografía plana, suelo profundo mayor de 120 cm, de textura franca y buen drenaje. Suelo de muy buena condición física.

Los resultados de los análisis de suelo del sitio experimental en Illapel, señalan que el suelo presenta un contenido moderado (2,25%) de materia orgánica en ambas estratas, una conductividad eléctrica ligeramente más alta en superficie de 0,75 y 0,63 mS/cm y pH moderadamente alcalino en ambas estratas.

El contenido de macronutrientes es similar en ambos sitios, comparado con Pan de Azúcar, para elementos como nitrógeno, potasio. Inferior es el caso del nivel de fósforo, en este caso se aplicó fertilización fosfatada de corrección.

Cuadro 2. Superficie cultivada y algunas propiedades físicas y químicas del suelo manejado con jatropha.

	La Compañía	Pan de azúcar	Quebrada Seca	Cuz Cuz
Superficie de ensayo	0,10 ha	0,43 ha	0,10 ha	0,43 ha
Textura Suelo	Arenosa	Franco arenosa	Franco Arcilloso	Franca
Profundidad suelo	60 cm	70 cm	60 cm	120 cm
pH suelo	7,45	7,04	7,40	8,10
N / P / K	12/2/78 ppm	15/46/165 ppm	4/ 8/ 151 ppm	12/9,5/150 ppm
Ce del suelo	1,7 mS/cm	1,26 mS/cm	0,5 mS/cm	0,68 mS/cm

Si bien la planta no requiere un tipo de suelo en especial, puede ser establecida en diversos tipos de suelos con algunas limitantes de fertilidad, sin embargo no es recomendable la plantación de jatropha en suelos arcillosos de poca aireación, por eventuales enfermedades radiculares y de cuello del tronco.

Se desarrolla normalmente en suelos de zonas áridas y semiáridas. La Jatropha crece casi en cualquier parte, incluso en las tierras arenosas y salinas, también puede crecer en suelos pedregosos de baja fertilidad.

2.2.4 Datos Climáticos

En Vicuña, durante el mes de Septiembre de 2009 se registraron temperaturas bajo cero ($-0,9$ °C), no observándose daños mayores en esta plantación y su crecimiento posterior. Además, el inicio de la mayor tasa de crecimiento coincide con el momento en que las temperaturas mínimas son mayores a 5 °C (Figura 11).

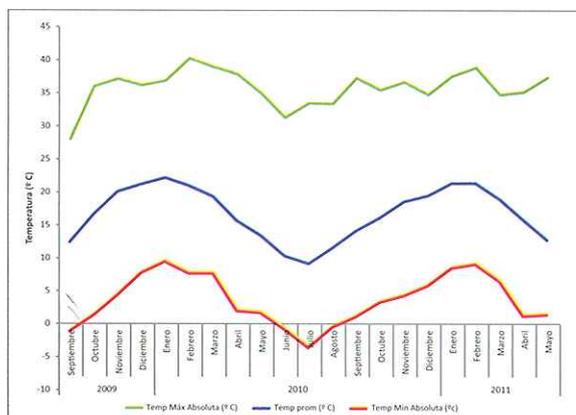


Figura 11. Temperaturas media, máxima y mínima mensual absolutas del aire, en parcela La Compañía, Vicuña.

En la parcela Pan de Azúcar la temperatura del aire durante el período de ensayo, registró un promedio de $14,4$ °C, con valores máximos absolutos de $32,8$ °C y mínimos de $-0,35$ °C. En esta localidad sólo se registraron heladas en el mes de Julio de 2009, siendo heladas leves.

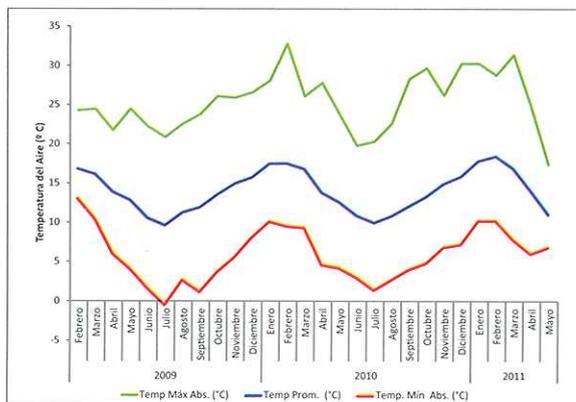


Figura 12. Temperaturas media, máximas y mínimas absolutas del aire por mes, en parcela Pan de Azúcar, Coquimbo.

En la localidad de Quebrada Seca, la temperatura media para el período de cultivo fue de 15,2 °C, con valores máximos y mínimos de 34,9 °C y -1,26 °C, para los meses de Febrero de 2011 y Junio de 2009, respectivamente. Si bien es cierto, se registraron heladas, en el invierno del año 2010, éstas no provocaron mayor daño a la plantación.

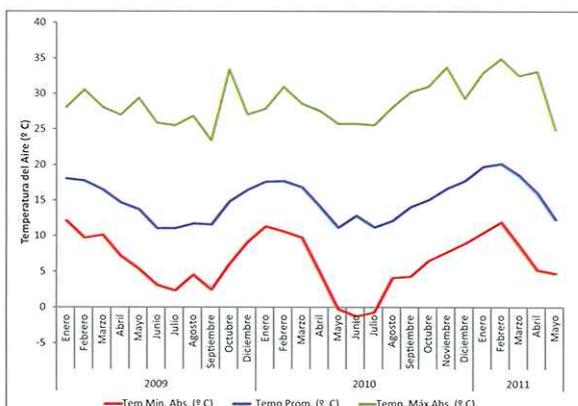


Figura 13. Temperaturas media, máxima y mínima mensual absolutas del aire, en parcela Quebrada Seca, Ovalle.

Para Cuz Cuz, la información climática registrada señala que la temperatura media alcanzó a 14,9 °C, con máximas absolutas de 37,8 °C y mínimas -3,2 °C. Sin embargo, en los meses de Junio y Julio de 2010 se registraron heladas, con temperaturas mínimas absolutas de -3,2 °C. Esta situación dañó considerablemente el cultivo, al extremo de provocar la pérdida total de la planta desde la base del tronco (Figura 21).

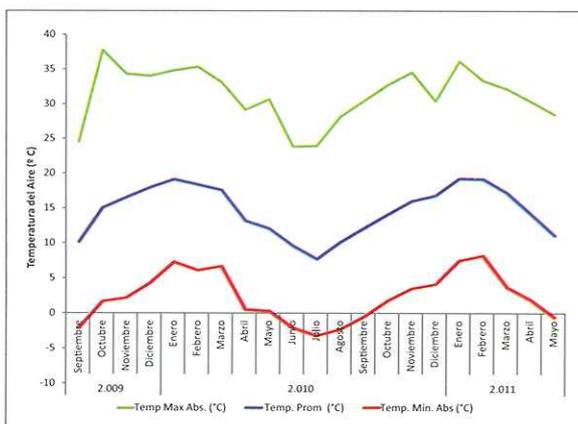


Figura 14. Temperaturas media, máxima y mínima mensual absolutas del aire, en parcela Cuz Cuz, Illapel.

2.2.5 Actividades de establecimiento

2.2.5.1 Preparación de suelo

Las labores consideradas en la preparación del suelo fueron una labor de arado (subsolador, discos) y dos rastrajes. Una vez terminada esta labor se procedió a la confección de los hoyos de plantación.



Figura 15. Plantación en Pan de Azúcar e Illapel, respectivamente.

2.2.5.2 Diseño e instalación del sistema de riego

En las parcelas se instaló un sistema de riego por goteo. En este caso el sistema de riego permitió la aplicación de las distintas tasas de riego y fertilización, de acuerdo al diseño y distribución de los tratamientos a evaluar. Los emisores utilizados, en las parcelas de mayor tamaño, corresponden a goteros integrados de un caudal de 1 L/h y están dispuestos a una distancia de 0,25 m en el lateral de riego. En las parcelas de menor tamaño, se utilizaron goteros incorporados de un caudal de 2 L/h. Se incorporaron 3 goteros por planta separados a 50 cm cada uno.

Posterior a la plantación se aplicó un riego de 2 horas para cada localidad, la frecuencia y el tiempo de riego se fueron ajustando según evapotranspiración del cultivo, hasta llegar a establecer el 25, 50 y 75% de la demanda de la planta.

Los valores de conductividad eléctrica (Ce) del agua de riego, registran valores de 0,5 mS/cm y 8,6 para pH en la parcela experimental de Pan de Azúcar, mientras que en la parcela experimental ubicada en Illapel se registró 0,8 mS/cm para Ce y 7,2 para pH. En el caso de Quebrada Seca el agua de riego presenta un alto nivel de salinidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados de análisis químico del agua de riego, en cuatro localidades de ensayo

Agua de riego	Vicuña	Pan de Azúcar	Cuz Cuz	Quebrada Seca
pH	7,9	8,6	7,2	6,87
Ce (mS/cm)	0,48	0,5	0,8	3,26

2.2.5.3 Fertilización al establecimiento

Dependiendo del resultado de los análisis de suelo, se determinó la aplicación de dosis de fertilización de corrección. Solo se realizó una fertilización de corrección en La Compañía, Vicuña y Cuz Cuz en Illapel la cual fue determinada de acuerdo a los resultados de los análisis de suelo (Cuadro 4).

Producto de la baja fertilidad del suelo de la parcela de Vicuña, se optó por aplicar fósforo y potasio al momento de la plantación en una cantidad equivalente a 10 kg de cada elemento/ha, la baja dosis aplicada se debe a la textura gruesa del suelo.

En el caso de Illapel, solo se aplicó fósforo (70 kg P_2O_5 /ha) al suelo, utilizándose como fuente Superfosfato Triple. La mayor cantidad aplicada se explica por la textura fina del suelo.

2.2.5.4 Fertilización post establecimiento

Después del establecimiento se procedió a aplicar nitrógeno vía fertirriego. Para la primera temporada producto del tardío establecimiento, la fertilización se aplicó en una menor cantidad y tiempo en dosis de 11 kg de nitrógeno por ha para Pan de Azúcar y Cuz Cuz.

En la segunda temporada se aplicaron dosis mayores, que variaron entre 24 a 55 kg de nitrógeno por ha, siendo mayor en las zonas del interior, Vicuña e Illapel. El período de aplicación se extendió desde mediados de Diciembre 2009 a Marzo 2010. Las plantas registraron buena respuesta a la fertilización nitrogenada, no obstante sólo registraron crecimiento vegetativo.

Producto de lo anterior, en la tercera temporada junto con aplicar fertilización diferenciada en las parcelas de mayor tamaño, se redujo el período de fertilización nitrogenada a un mes, desde mediados de Diciembre de 2010 a mediados de Enero de 2011, con ello se logró una buena respuesta en crecimiento y las plantas alcanzaron su fase reproductiva.

Cuadro 4. Fertilización aplicada en cultivo de *Jatropha* por temporada y localidad.

Parcela	Temporada	Fecha Aplicación	Fertirriego		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			kg/ ha		
La Compañía	2009/2010	Diciembre a Marzo	55	12	12,5
	2010/2011	Diciembre Enero	30	50	60
Pan de Azúcar	2008/2009	Marzo	11		
	2009/2010	Diciembre a Marzo	24		
	2010/2011	Diciembre Enero	0-30-60	0-60	0-50
Quebrada Seca	2009/2010	Diciembre a Marzo	40		
	2010/2011	Diciembre Enero	30	60	50
Cuz Cuz	2008/2009	Marzo	11		
	2009/2010	Diciembre a Marzo	54		
	2010/2011	Diciembre Enero	0-30-60	0-60	0-50

2.2.5.5 Riego

Al momento del establecimiento se dio un riego largo a la plantación, logrando la saturación parcial del suelo. Posterior a ello se regó en forma diferenciada de acuerdo a la demanda hidrológica de cada localidad.

La cantidad de agua aplicada para una temporada completa osciló entre 635 a 1.414m³/ha.

Cuadro 5. Cantidad de agua aplicada por localidad y temporada.

Parcela	Temporada	Periodo de Riego	Volumen de agua aplicada (m ³ /ha)
La Compañía	2009/2010	Septiembre Abril	1.200
	2010/2011	Diciembre Mayo	1.300
Pan de Azúcar	2008/2009	Febrero Junio	321
	2009/2010	Septiembre Abril	635
	2010/2011	Diciembre Mayo	273-558-832 ¹
Quebrada Seca	2008/2009	Marzo Mayo	152
	2009/2010	Septiembre Abril	640
	2010/2011	Diciembre Mayo	707-1.414 ¹
Cuz Cuz	2009/2010	Septiembre Abril	1.184
	2010/2011	Diciembre Mayo	414-848-1236 ¹

¹ Se aplicaron cantidades de agua diferenciadas.

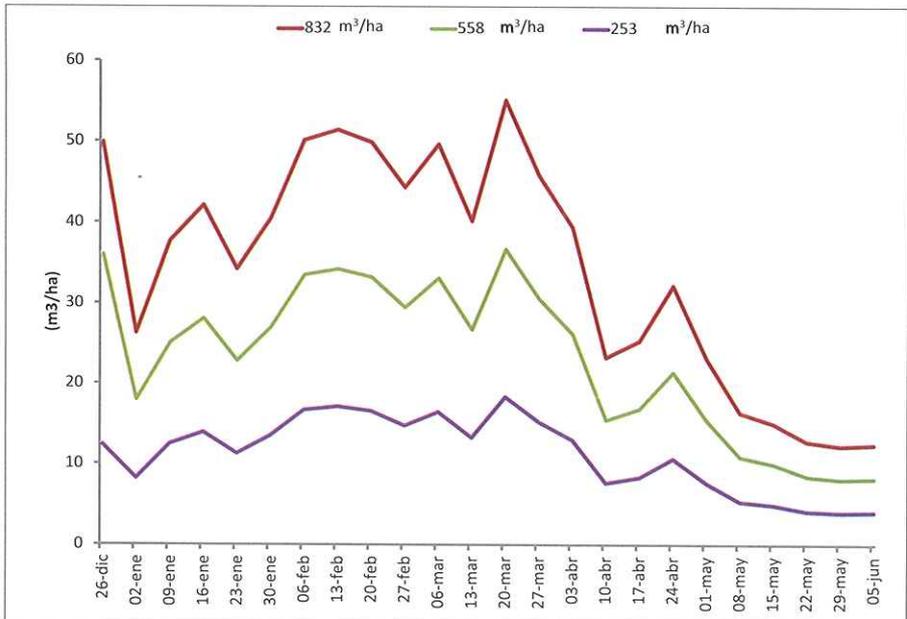


Figura 16. Cantidad de agua aplicada (m³/ha) entre Diciembre y Junio en la temporada 2010/2011 según tasa de riego, en parcela Pan de Azúcar, Coquimbo.

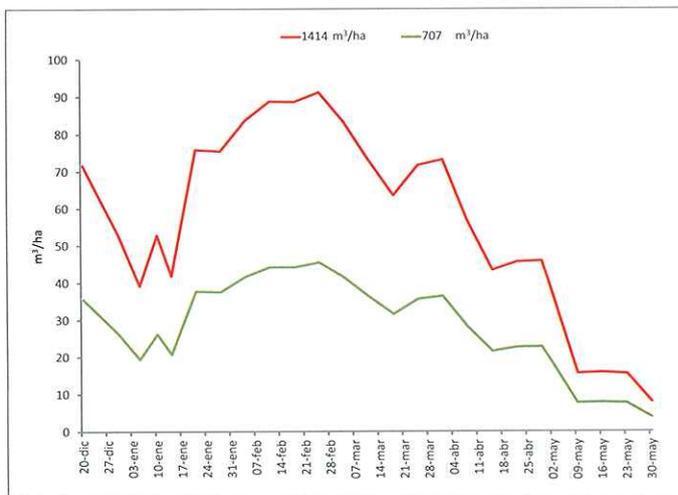


Figura 17. Cantidad de agua aplicada (m^3/ha) entre Diciembre y Mayo en la temporada 2010/2011 según tasa de riego, en parcela Quebrada Seca, Ovalle.

Una de las características de la planta de *Jatropha* es su condición de adaptabilidad a suelos de baja fertilidad y con un bajo requerimiento de agua, pudiendo pasar incluso por largos períodos de sequía. Los resultados de adaptación de la planta en la región, permiten corroborar estas cualidades, ratificando la rusticidad y plasticidad de esta especie.

No obstante, lo anterior, si bien la planta sobrevive bajo condiciones de deficiencia nutricional e hídrica, ve potenciada su respuesta en crecimiento vegetativo y productivo, si se le proporciona condiciones mejoradas de riego y fertilización nitrogenada.

2.2.6 Comportamiento de plantas de *Jatropha curcas* L. en la región de Coquimbo

2.2.6.1 Fenología

Las condiciones de clima de cada sector generan variaciones en la fenología de las plantas. En las parcelas ubicadas más al interior, Vicuña e Illapel, las plantas presentaron un comportamiento similar a lo observado en Pan de Azúcar. Para el caso de las plantas ubicadas en Quebrada Seca, éstas estuvieron sometidas a oscilaciones de temperaturas menores y temperaturas más estables a lo ocurrido en otras parcelas, lo que se tradujo en un mejor comportamiento de la planta presentando consistentemente los distintos estados



PRIMAVERA 2009



VERANO 2010



OTOÑO 2010



INVIERNO 2010



PRIMAVERA 2011



VERANO 2011



OTOÑO 2011

Figura 18. Evolución de la Fenología observada en localidad de La Compañía, Vicuña.



Figura 19. Evolución de la Fenología observada en la localidad de Pan de Azúcar, Coquimbo.



OTOÑO 2009



INVIERNO 2009



PRIMAVERA 2009



VERANO 2010



OTOÑO 2010



INVIERNO 2010



PRIMAVERA 2010



VERANO 2010



OTOÑO 2011

Figura 20. Evolución de la Fenología observada en la localidad de Quebrada Seca, Ovale.



VERANO 2009



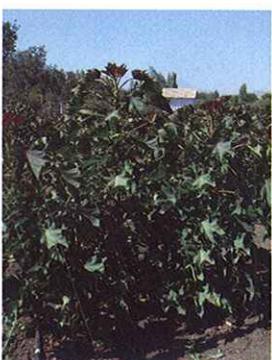
OTOÑO 2009



INVIERNO 2009



PRIMAVERA 2009



VERANO 2010



OTOÑO 2010



INVIERNO 2010



PRIMAVERA 2010

Figura 21. Evolución de la Fenología observada en la localidad de Cuz Cuz, Illapel.

2.2.6.2 Crecimiento de las plantas

a) Temporada 2009/2010

En el Cuadro 7 se presenta un resumen de algunos parámetros de crecimiento, tasa de riego y fertilización de los cuatro sitios de ensayo. La edad de las plantaciones se puede agrupar en dos tipos, de medio y un año de edad.

Las plantaciones de 6 meses de edad correspondientes a las localidades de Vicuña y Cuz-Cuz, presentan las plantas con mayor crecimiento en altura 99,30 cm y 111,9 cm, respectivamente. Así como también, registran los mayores valores de longitud de brotes y perímetro de canopia. Cabe mencionar que en ambas localidades se aplicó una mayor cantidad de nitrógeno y las tasas de riego fueron mayores. Sin embargo, se debe destacar que estos sitios corresponden a climas de interior de los valles, comparado con Pan de Azúcar y Quebrada Seca, que se ubican más cerca de la costa.

Cabe señalar, que en los sectores más cercanos a la costa, el daño por heladas fue bastante menor y que la falta de temperatura en primavera verano explicaría el menor crecimiento alcanzado en estas localidades, en cuanto a altura, diámetro de tronco, longitud de brote y perímetro de canopia.

Cuadro 7. Edad y mediciones realizadas en plantas, fertilización nitrogenada y tasa de riego aplicada en las distintas localidades de ensayo.

Localidad	Edad Plantas (meses)	Plantas		Brotos		Nº de brotes	Perímetro Canopia (m)	Fertilización (N g / planta)	Riego (L / planta)
		Altura (cm)	Diámetro Tronco (cm)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)				
Vicuña	8	99,30	5,67	65,31	2,41	8,67	3,41	55	992
Pan de Azúcar	14	76,16	5,5	32,36	1,7	7,69	2,07	33	477
Quebrada Seca	13	67,15	4,17	23,53	1,36	5,08	1,79	40	444
Cuz Cuz	7	111,9	6,4	85,93	3,13	6,36	4,08	64	890

Los datos de crecimiento vegetativo obtenidos en las distintas localidades, permiten señalar que las plantas responden favorablemente a la fertilización nitrogenada y al riego, en aquellas localidades donde se realizó la plantación en el mes de Septiembre de 2009, obteniendo plantas con mayor altura y diámetro de tronco (Figura 22). Pero además se debe destacar

que las condiciones climáticas de los sitios ubicados hacia el interior de los valles presentan condiciones más cálidas en primavera verano.

Además de lo anterior, al analizar la Figura 22, se puede señalar que el inicio del período de crecimiento vegetativo de esta especie es tardío, iniciándose hacia fines de año y siendo mayor desde Enero a Marzo. Por lo tanto, la estación de crecimiento es muy corta, Diciembre a Marzo.

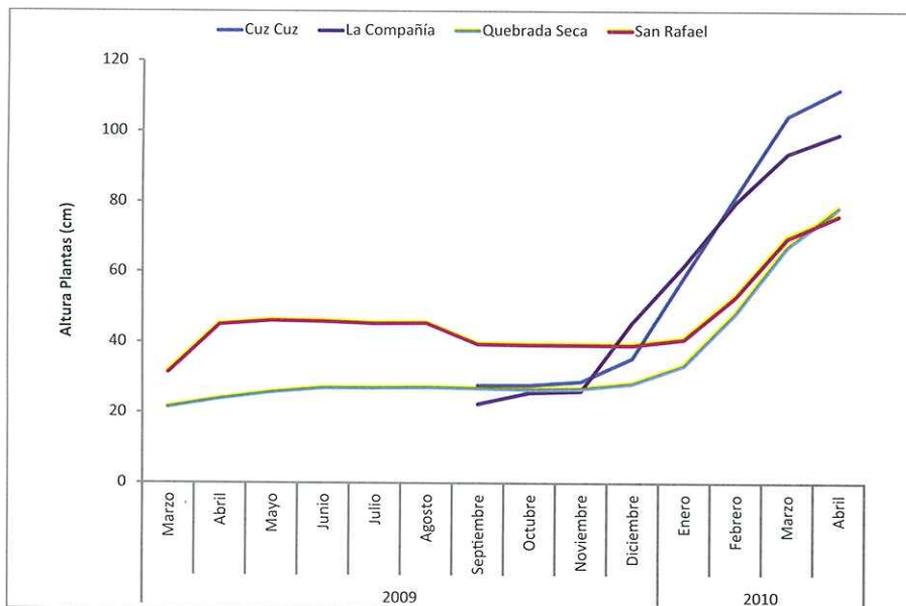


Figura 22. Crecimiento en altura de plantas de *Jatropa curcas* L. en cuatro localidades de la región de Coquimbo.

Relación Grados Día y crecimiento en altura de plantas de *Jatropa*

En las Figuras 23, 24, 25 y 26 se presenta la relación entre la cantidad de grados día acumulados (considerando como temperatura base 10 °C), y la evolución del crecimiento en altura de las plantas.

Se encontró una relación directa entre la cantidad de grados día base 10 °C y crecimiento en altura. El crecimiento activo, se iniciaría cuando se acumulan alrededor de 1.100 grados día. La acumulación de temperatura por sobre 10 °C explica entre un 67 a 87% el crecimiento en altura de las plantas de *Jatropa*, dependiendo de la localidad donde fueron establecidas.

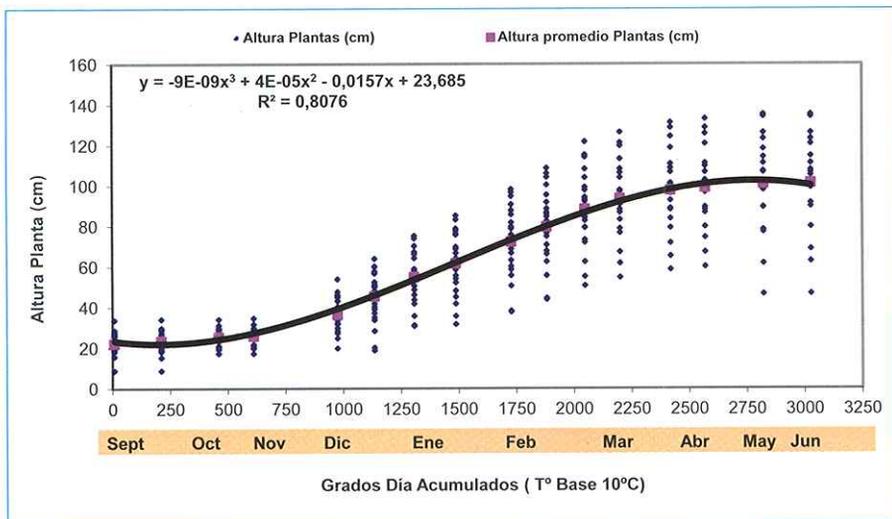


Figura 23. Relación Grados Día (Temperatura base 10 °C) y crecimiento de plantas de *Jatropha*, La Compañía, n= 24 Vicuña.

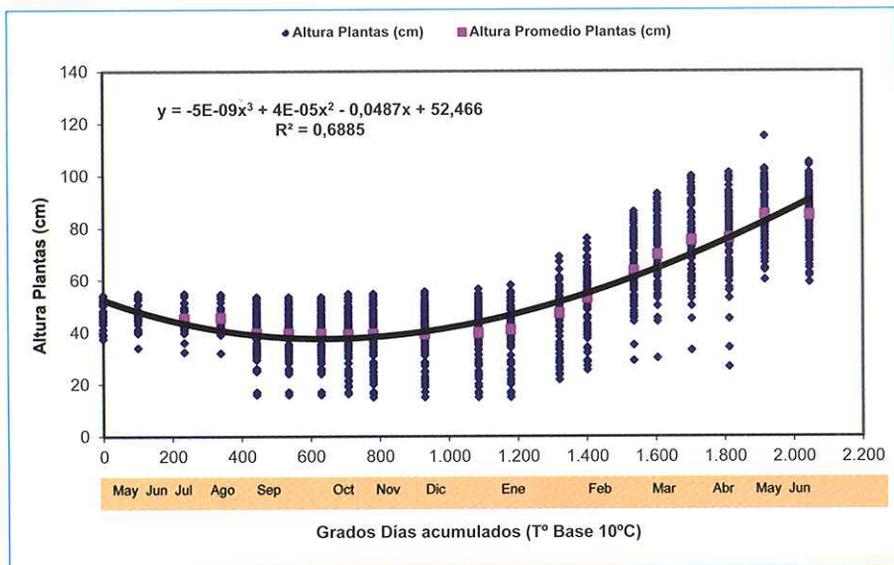


Figura 24. Relación Grados Día (Temperatura base 10 °C) y crecimiento de plantas de *Jatropha*, Pan de Azúcar, n= 88.

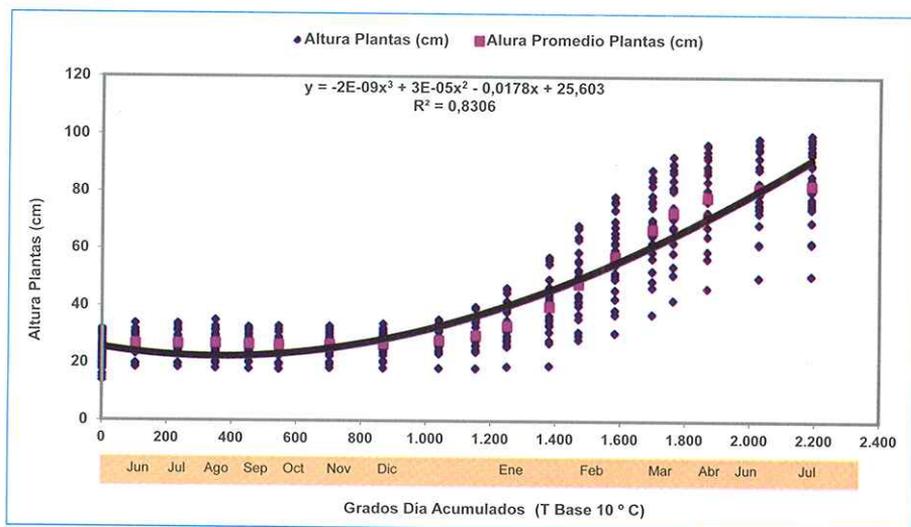


Figura 25. Relación Grados Día (Temperatura base 10 °C) y crecimiento de plantas de *Jatropa*, Quebrada Seca, n= 24.

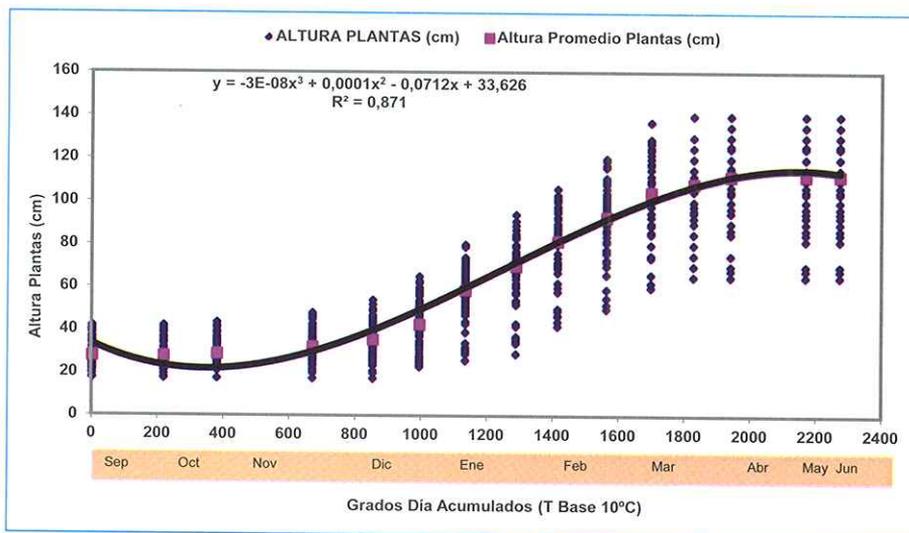


Figura 26. Relación Grados Día (Temperatura base 10 °C) y crecimiento de plantas de *Jatropa*, Cuz Cuz Illapel, n= 88.

b) Temporada 2010/2011

Respuesta a la fertilización nitrogenada y volumen de agua aplicada

Las plantas establecidas en Illapel (8 meses de edad), y las de Pan de Azúcar, (28 meses de edad) no presentaron mayor diferencia en altura de las plantas, al final del ciclo de crecimiento, a pesar de las diferencias de edad. Además, no se aprecia un efecto de la fertilización nitrogenada sobre este parámetro en ambas localidades. Sin embargo, se observa una clara mayor tasa de crecimiento inicial, en Cuz-Cuz, debido a la mayor temperatura registrada durante el verano en esa localidad. En Pan de Azúcar la altura inicial de las plantas es mayor debido a que hubo menor replante de plantas que en Illapel.

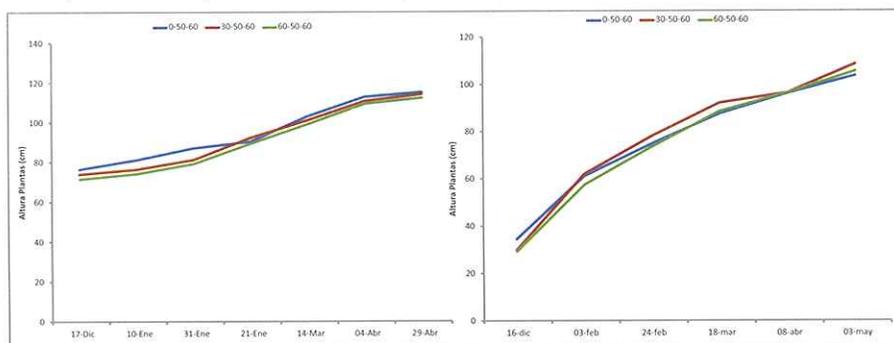


Figura 27. Crecimiento en altura de plantas de *Jatropha* según diferente cantidad de nitrógeno (Kg./ha) aplicado, en las localidades de Pan de Azúcar La Serena, y Cuz Cuz en Illapel.

Lo anterior no concuerda con lo reportado por Albuquerque *et al.*, (2009), quienes en un experimento factorial (4x4), dosis de nitrógeno y niveles de agua disponible en el suelo, señalan que para la variable altura de planta hubo una respuesta lineal tanto para dosis de nitrógeno como niveles de agua disponible en el suelo, además de haber interacción entre estas variables, señalando que la respuesta a la fertilización nitrogenada depende del nivel de agua disponible en el suelo. La escasa respuesta al nitrógeno se explica por el menor régimen térmico, al cual han estado sometidas las plantas, lo que afectó la expresión de su crecimiento.

Para diámetro de tronco y área foliar, se observa que la respuesta a la fertilización registra una relación de tipo cuadrática y para el nivel de agua una relación lineal. Además en ambos casos existe interacción significativa entre los factores estudiados, señalando que la respuesta a la fertilización nitrogenada depende del nivel de agua disponible en el suelo (Albuquerque *et al.*, 2009). Situación que para las condiciones locales de la región de Coquimbo y ensayos

realizados no tiene concordancia, ya que no se observó efecto de la cantidad de agua aplicada y fertilización sobre el diámetro de tronco de las plantas (Cuadro 8). Esto como ya fue señalado, se explicaría por la falta de temperatura que afecta el crecimiento de las plantas. La mejor respuesta para las variables de crecimiento altura de planta y área foliar se obtuvieron con 38 kg/ha de N y un nivel de agua similar al 100% del agua disponible en el suelo (Albuquerque *et al.*, 2009).

Cuadro 8. Efecto de fertilización nitrogenada y tasa de riego aplicada sobre el diámetro de tronco y altura de plantas, en las distintas localidades de ensayo. Temporada 2010/2011.

Factor	Nivel		Illapel		Pan de Azúcar	
	Pan de Azúcar	Illapel	Altura Final	Diámetro Tronco	Altura Final	Diámetro Tronco
			cm			
Tasa Riego (T.R) m ³ /ha	273	414	107,82 a	6,80 a	112,30 a	8,67 a
	558	848	104,92 a	6,43 a	112,23 a	8,81 a
	832	1236	105,77 a	6,53 a	119,03 a	8,38 a
	Pr>F		0,8588	0,5042	0,1612	0,1741
Fertilización N-P-K	0-50-60		104,19 a	6,44 a	115,57 a	8,65 a
	30-50-60		108,17 a	6,65 a	114,68 a	8,59 a
	60-50-60		106,00 a	6,65 a	113,32 a	8,61 a
	C.V.%		8,50	10,78	8,40	6,40

“Letras distintas en una misma columna, indican diferencia estadística significativa entre niveles de un mismo factor ($p < 0,10$) según test de Duncan.”

Albuquerque *et al.*, (2009), reportan menores crecimiento de *Jatropha* desde establecimiento hasta 150 días cuando se usan dosis de nitrógeno de 0 y hasta 60 kg ha⁻¹. En nuestro caso una mayor dosis no es necesaria pues, la temperatura es el factor crítico que afecta el crecimiento de las plantas.

En la Figura 28. Se observa el efecto de tres tasas de riego en Pan de Azúcar y Cuz-Cuz . La cantidad de agua aplicada varió entre las localidades en estudio, pues esta fue determinada de acuerdo a la evapotranspiración de cada sitio de estudio. En ambas localidades no se observa un efecto marcado del volumen de agua aplicada sobre el crecimiento de plantas de *Jatropha*. Sin embargo, una vez más se observa que en Cuz-Cuz, las plantas tienen una mayor tasa inicial de crecimiento en todos los tratamientos comparado con Pan de Azúcar. Esto se atribuye a un factor de temperatura que influye positivamente en el crecimiento de las plantas de Illapel.

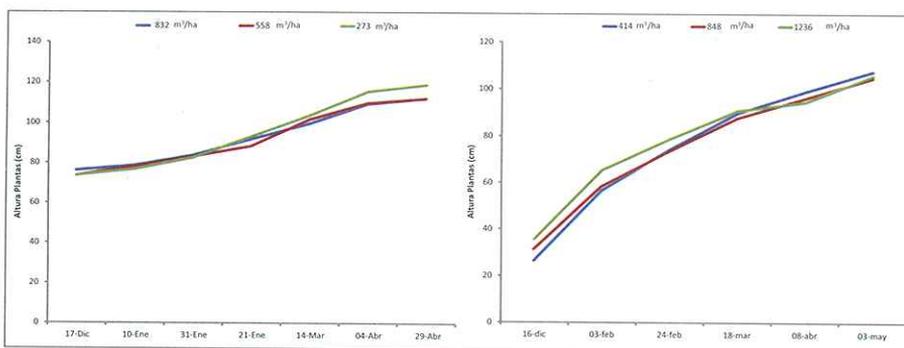


Figura 28. Crecimiento en altura (cm) de plantas de *Jatropha* según cantidad de agua aplicada (m^3/ha), Pan de Azúcar, y Cuz Cuz.

En el caso de Quebrada Seca, se realizó un ensayo de tasas de riego diferenciadas, para determinar su efecto sobre las variables de crecimiento vegetativo y reproductivo. En esta localidad se aplicaron en total 707 y 1.414 m^3/ha , desde Octubre a Junio. No se observó un efecto de la cantidad de agua aplicada sobre la altura de las plantas.

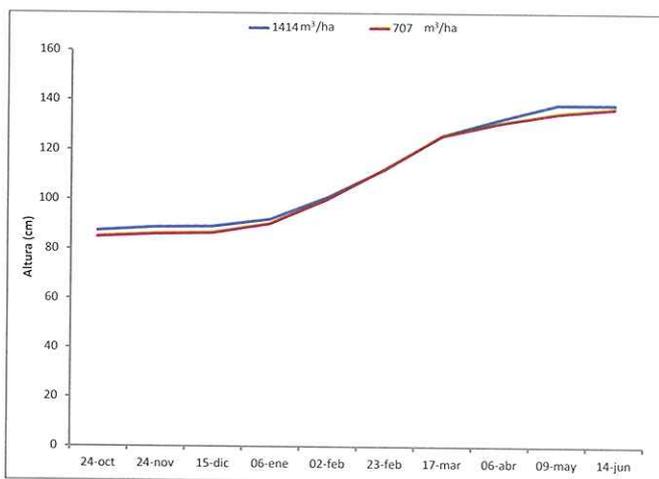


Figura 29. Crecimiento en altura (cm) de plantas de *Jatropha* según cantidad de agua (m^3/ha) aplicada, Quebrada Seca, Ovalle.

En Quebrada Seca, Ovalle, las plantas de 27 meses de edad no presentaron diferencias significativas en altura durante el período de crecimiento, al comparar entre los dos volúmenes de agua aplicados (Figura 29). Si se observó una clara tendencia a producir más semilla al aplicar más riego (Cuadro 10).

Tampoco se presentaron diferencias significativas en la altura final y el diámetro de tronco de las plantas, entre los dos volúmenes de agua aplicados (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de tasa de riego en la altura final y el diámetro de tronco de las plantas en parcela Quebrada Seca, O valle. Temporada 2010/2011.

Tratamiento	Altura	Diámetro
m ³ /ha	cm	
707	137,14 a	8,27 a
1414	138,86 a	8,41 a
C.V. (%)	3,07	9,91

“Letras distintas en una misma columna, indican diferencia estadística significativa entre niveles de un mismo factor (p<=0,10) según test de Duncan.”

Lo anterior, es coincidente con lo reportado por Veruschka *et al.*, (2009), quienes en un estudio realizado en la región semiárida de Paraibano, Brasil con temperaturas entre 25 a 28 °C y precipitación anual de 550 mm, entre Enero a Abril, no encontraron un efecto de la cantidad de agua aplicada sobre el crecimiento y la producción de estas plantas. Al contrario, si encontraron efecto del tipo de fertilización, reportando valores de altura, a los 210 días, de 104 a 110 cm y diámetro de tronco de 51,1 a 52,1 mm. Para la fertilización orgánica y mineral, si se comparan estos valores con los observados en las parcelas de Illapel y Vicuña, son similares.

Producción de Semilla

Las respuestas productivas obtenidas durante la ejecución del proyecto no fueron las esperadas y no se ajustan a lo reportado en la literatura. Las causas se relacionan mayoritariamente a las condiciones medioambientales, temperaturas bajas durante el período de crecimiento, y presencia de heladas en invierno y primavera más que la cantidad de agua o nitrógeno aplicado.

Respecto de los datos productivos observados, solo en la localidad de Quebrada Seca se obtuvieron frutos que pudieron ser colectados y permiten estimar una primera producción para plantas de dos años de edad. En esta plantación entre el 56 y 67% de las plantas fructificó, con una producción media entre 12 a 18 g/planta (Cuadro 10), cifras ostensiblemente inferiores a lo observado en Salta, Argentina, para plantas de la misma edad, en donde los valores extremos oscilan entre 331 a 4.455 g/planta.

Cuadro 10. Cosecha de semillas de *Jatropha* para dos tratamientos de riego en Quebrada Seca, O valle.

Tratamiento m ³ /ha	Plantas productivas (%)	Frutos Cosechados (nº)	Peso Semillas (g)	Semillas (nº)	Peso promedio por semilla(g)
707	67 a	6,03 a	15,65 a	12,12 a	1,34 a
1414	56 a	8,28 a	21,51 a	17,93 a	1,32 a
CV %	5,60	51,95	51,72	59,80	59,58

"Letras distintas en una misma columna, indican diferencia estadística significativa entre niveles de un mismo factor (p<=0,10) según test de Duncan."

La cosecha de las plantas ubicadas en el sector de Quebrada Seca, se distribuyó entre la primera quincena de Abril a mediados de Junio del 2011, concentrando la mayor producción 58% del rendimiento total en las colectas realizadas durante las semanas 20 de Abril y 18 de Mayo. Este período es inferior a lo observado en Salta, Argentina donde la cosecha se extiende desde fines de Febrero a inicios de Julio.

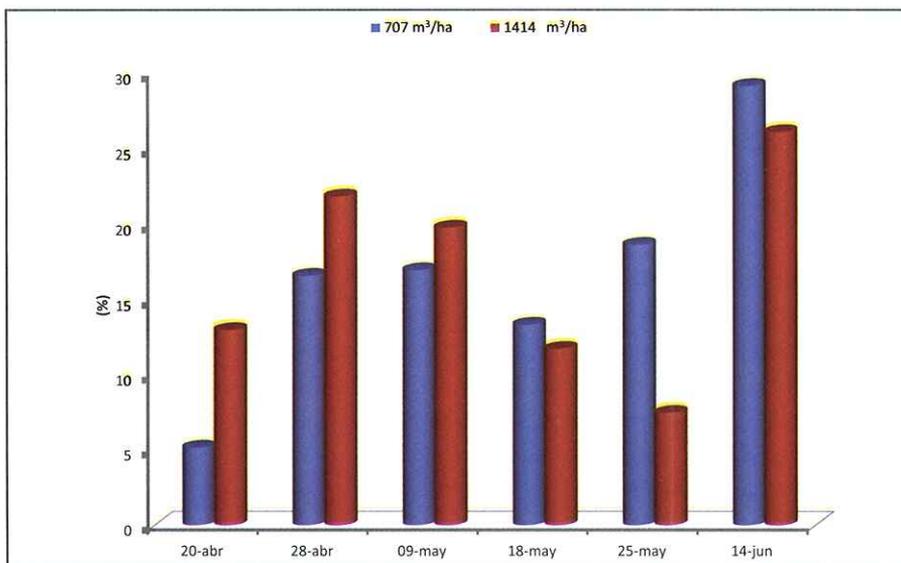


Figura 30. Distribución porcentual de la producción de semillas en el período de Abril a Junio del 2011, en Quebrada Seca, O valle.

Calidad del Fruto

El color de los frutos cambia en la medida que avanza en su estado de madurez desde el color verde a un amarillo-café. Los frutos son triloculados, señalando un potencial de 3 semillas por fruto. Sin embargo, eventualmente, algunos de los lóculos resultan vanos. (Figura 31).



Figura 31. Frutos de *Jatropha curcas* L., en localidad de Quebrada Seca.

En la experiencia de campo, se pudo observar que el potencial productivo por planta presenta una gran variabilidad, desde plantas sin frutos a plantas con más de 30 frutos. Esta característica debería ser considerada en futuros programas de mejoramiento genético de la especie.

El peso promedio de un fruto con semilla puede alcanzar los 8 g con 2 semillas promedio por fruto, con un tamaño para la semilla de 1,8 x 1 cm (largo por ancho, respectivamente) y un peso de 0,8 g.

Cuadro 11. Evaluación calidad de fruto, para dos tratamientos de riego Quebrada Seca, Ovalle. Temporada 2010/2011.

Tratamiento m ³ /ha	Fruto			Semillas			
	Peso (g)	Diámetro (mm)		Número	Diámetro (mm)		Peso (g)
		Ecuatorial	Longitud		Ecuatorial	Longitud	
707	8,23	24,52	31,36	1,76	10,70	18,54	0,86
141	8,23	24,42	31,53	1,81	10,79	18,07	0,82

2.2.6.3 Plagas y enfermedades

a) Plagas

La incidencia de insectos y otras plagas en el cultivo de *Jatropha* en el período en estudio fue muy baja. Un factor que pudo influir en esta baja incidencia de plagas fueron las bajas temperaturas registradas en algunos meses del período estudiado, lo que provocó la defoliación y lenta recuperación de las plantas en la temporada siguiente.

Entre las especies detectadas las arañas Tetranychidae, bimaclada (*Tetranychus urticae*) y la cinabarina (*Tetranychus cinnabarinus*) (Figura 32 y 33), encontradas en todas las localidades, fueron las que lograron mayores poblaciones incluso llegando a defoliar severamente la planta.

Los ataques ocurrieron entre Mayo y Noviembre de 2009 y Febrero a Junio 2010 en la localidad de Pan de Azúcar. En Vicuña, este ocurrió a principios de Febrero de 2010. En Illapel y Quebrada Seca este ataque de arañas se detectó en Febrero de 2009 y Marzo 2010 y Febrero de 2011 respectivamente.

Cabe resaltar sin embargo que las infestaciones severas con estos ácaros fitófagos solo se concentraron en unas pocas plantas. El mayor número de plantas infestadas con araña ocurrió en Pan de Azúcar con solo 5 plantas atacadas de un total de 25 examinadas.



Figura 32. Araña bimaclada.



Figura 33. Araña cinabarina.

Otras especies detectadas fueron, adultos de las áfidos *Myzus persicae* (pulgón verde del duraznero) y *Macrosiphum euphorbiae* pulgón de la papa (Figura 34), los cuales no establecieron colonias. Una colonia de pequeñas ninfas de pulgones se encontró en una planta en Pan de Azúcar, sin embargo éstos no lograron desarrollarse hasta alcanzar el estado

adulto, por lo que no fueron identificadas.

También en Pan de Azúcar (Coquimbo), fue detectado el trips californiano (*Frankliniella occidentalis*), pero sin causar daño aparente y en muy bajas poblaciones (Figura 35).



Figura 34. *Macrosiphum euphorbiae*.



Figura 35. *Trips de California*.

En Abril de 2010 en Pan de Azúcar se detectó la presencia de una larva de lepidóptero noctuidae, correspondiendo a la cuncunilla *Copitarsia decolora* (Figura 36). Esta se encontró alimentándose de las primeras hojas de los brotes centrales de la planta. El ataque se redujo a sólo tres plantas de un total de 570 y no se observó daño en hojas desarrolladas, solo en los brotes.



Figura 36. *Copitarsia decolora*.

También pudo detectarse la presencia del gorgojo verde de las chacras *Platyaspistes glaucus* sobre hojas de *Jatropha*, sin embargo el daño del insecto no fue observado en las plantas (Figura 37).



Figura 37. Adulto de *Platypistis glaucus*.

Durante los primeros meses de la temporada del 2011, en las localidades de Pan de Azúcar y Vicuña, se detectó la presencia del coleóptero Bostrichidae, barrenador de madera, *Micrapate scabrata*, encontrado en tallos necrosados producto de las heladas. La importancia económica de esta plaga en *Jatropha* no parece relevante ya que no afecta los brotes nuevos. (Figura 38 y 39).



Figura 38. Orificio y galería por daño de *Micrapate scabrata*.



Figura 39. Adulto de *Micrapate scabrata*.

En relación a las capturas de insectos en trampas pegajosas amarillas, éstas fueron principalmente adultos de moscas principalmente de la familia muscidae, como la mosca doméstica, algunos agromícidos (moscas minadoras) y otras especies las cuales no tuvieron correlación alguna con insectos detectados en las plantas de *Jatropha*. Esto indica que la captura fue de insectos que sólo pasaron cerca de las trampas y fueron atraídos por el color de éstas, pero que no son colonizadores de este cultivo.

Durante los dos años de estudio de las plagas asociadas al cultivo de *Jatropha curcas* L. en la Región de Coquimbo, las únicas especies capaces de colonizar el follaje, fueron el complejo de arañas *Tetranychus urticae* y *T. cinnabarinus*. En caso de un ataque generalizado al cultivo éstas podrían causar daños que amenacen el rendimiento, ya que la planta presenta mucha susceptibilidad a altas poblaciones de esta plaga y su ataque causa defoliación.

Las otras plagas solo aparecieron como ocasionales o asociadas y no puede estimarse a partir de este estudio si ellas podrían revestir importancia económica en el cultivo de *Jatropha*.

b) Enfermedades

Se observaron síntomas que corresponden a lesiones necróticas en las hojas, de formas más o menos circulares, tamaños variables desde 1 a 20 mm de diámetro, con los bordes irregulares, de color café oscuro y crecimientos concéntricos (Figura 40). El centro de estas lesiones son de color café más pálido que la periferia y surcados por estrías blanquecinas. Las lesiones se encuentran rodeadas por un halo acuoso de tono plumizo, que se hace más visible desde el envés de la hoja (Figura 41). En ambos casos se pueden ver que las nervaduras se necrosan con igual intensidad que el mesófilo de las hojas, junto con irradiar desde el borde de la lesión. Estas pústulas progresan en tamaño, a medida que pasa el tiempo, y se vuelven coalescentes a medida que se juntan con otras lesiones.

Producto de lo anterior, la enfermedad produce una hoja con gran parte de la lámina foliar necrosada, distribuidas en numerosas pústulas solitarias o coalescentes de bordes café oscuro y el centro más claro, que a medida que progresan inducen la caída de la hoja o la muerte repentina de ella producto de la cantidad de lesiones presentes.

En el cultivo se observó el desarrollo de colonias algodonosas, de rápido crecimiento que inicialmente mostraron un micelio blanquecino y luego oscuro, en la superficie de la colonia se desarrolló abundante formación de conidióforos cortos e indiferenciados que en sus ápices contenían cortas cadenas de conidias de color café a café pálido, de formas piriformes a obclavadas, con ápices terminales cortos y cónicos o ausentes, superficie lisa o verrucosa, de tamaños variables con rangos entre 9-18 x 20-63 μm , conidias pluricelular con septas verticales y hasta 8 septas horizontales. Las características anteriores permiten concluir que el hongo asociado a las lesiones foliares de la *Jatropha* corresponde a:

Género	Especie probable	Tejido	Incidencia
<i>Alternaria</i>	<i>alternata</i>	Hojas	+++

+++; abundante; ++; moderada; +; leve.

Alternaria alternata (Fr.) Keissl es un hongo que ha sido descrito en *Jatropha* en India causando lesiones foliares como las descritas (Kumar *et al.*, 2009). Este hongo es de común ocurrencia en el mundo y en Chile, es altamente polífago la literatura reporta 898 combinaciones entre esta especie y distintos huéspedes (Farr and Rossman, 2011). En la mayoría de los huéspedes produce lesiones foliares necróticas o tizones, a pesar que se le considera un microorganismo oportunista o patógeno secundario.

En Chile, esta especie se ha encontrado asociada a diversas especies, tales como arándano, bábaco, calas, cebollas, clementina, eucalipto, frambuesa, kiwi, limón, maíz, maní, manzana, marigold, melón, papa, pepino, pepino dulce, peras, pimiento, trigo (semilla), vid y zapallo, causando problemas en pre y postcosecha (INIA, 2001).

Por consiguiente, se estima que en el caso de prosperar la *Jatropha* en Chile, este problema será recurrente en el cultivo, dada la abundancia de huéspedes y fuentes de inóculo, junto con lo polífago que resulta este patógeno. Sin embargo, al igual que otras especies susceptibles a *Alternaria alternata*, el manejo químico, biológico y cultural permite lograr cultivos sanos y libres de la enfermedad a un costo económico y que deberá estudiarse para el caso de *Jatropha*.



Figura 40. Lesión por el haz de la hoja en *Jatropha curcas* L.



Figura 41. Centro de la lesión en *Jatrophas curcas* L.

3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL CULTIVO DE *JATROPHA CURCAS* EN LA LOCALIDAD DE QUEBRADA SECA, VALLE DEL LIMARÍ, REGIÓN DE COQUIMBO

3.1 Introducción

Según lo indicado por la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2011), en términos generales, los biocombustibles tienen mayores costos de producción que los combustibles derivados del petróleo, debido precisamente a que son productos agrícolas intensivos en uso de terreno y mano de obra.

América Latina es una de las regiones con más potencialidades para ser un oferente de biocombustibles en este mercado mundial, dadas sus ventajas climáticas combinadas con una baja densidad poblacional (Ávila, 2007).

Desde el punto de vista económico, muchas experiencias de cultivo de *Jatropha* se han realizado en el mundo arrojando interesantes indicadores de rentabilidad. Países como Argentina, Brasil, Perú, México, Colombia y Honduras son algunos de los que han experimentado con esta especie, atraídos por un cultivo descrito como rústico, con alto rendimiento, alto potencial de aceite por hectárea y adaptable a zonas semiáridas y cálidas. También existen experiencias en Egipto, India y en otros países de África y el Sudeste Asiático que han implementado programas de expansión de este cultivo (INTA Argentina, 2008). En cuanto a Chile, hasta el momento no se conocen cifras significativas de producción de biodiesel (IICA, 2010). Actualmente sólo existen iniciativas públicas y privadas que producen biodiesel a nivel experimental y de pequeña escala. Sin embargo, existen varias instituciones que realizan tareas de investigación sobre cómo mejorar la producción de la materia prima y las posibilidades reales de producción de biodiesel (IICA, 2010) a partir de diversas materias primas, entre ellas la *Jatropha*.

3.2 Evaluación Económica.

Para la realización de esta evaluación económica, se utilizaron los antecedentes requeridos por la metodología clásica de evaluación de proyectos. Se recopilieron los datos generados por este proyecto, así como también se aplicaron supuestos para la realización de proyecciones en un horizonte de 10 años.

3.2.1. Antecedentes generales y supuestos utilizados

- Se considera una plantación de *Jatropha curcas*, ubicada en la localidad de Quebrada Seca, Comuna de Ovalle, Valle del Limarí, Región de Coquimbo.
- La unidad de análisis corresponde a 1 ha de *Jatropha* plantadas en terreno con una densidad de plantación equivalente a 1.333 plantas/ha, debido al marco de plantación utilizado por el proyecto de 3 m x 2,5 m.
- La evaluación se realiza para un horizonte de 10 años.
- Para una superficie de 1 ha, se considera una inversión inicial de M\$4,8/ha para el establecimiento del huerto tal como se detalla en el Cuadro 12. No se considera el costo de la tierra.
- Para el cultivo se consideró una depreciación lineal a 10 años.
- Se consideró un capital de trabajo inicial de \$2.172.564/ha, para solventar los costos que no quedan cubiertos por los ingresos en sus primeros dos años de operación.

Cuadro 12. Inversiones para un huerto de *Jatropha* en la Región de Coquimbo.

Item	Unidades	Costo unitario	Costo total
Plantas plantas	1333	\$ 1,000	\$1,333,000
Subtotal			\$1,333,000
Preparación de suelo y plantación			
rastraje (hr. maquinaria)	5	\$12,000	\$60,000
aradura (hr. maquinaria)	5	\$12,000	\$60,000
Hoyadura	13	\$10,000	\$133,300
acarreo y plantación (JH/ha)	15	\$10,000	\$150,000
Subtotal			\$403,300
Sistema de riego			
Sistema de riego y fertirrigación (bomba de riego, acidificadora, manguera riego goteo, filtros, estanque, fertilización y programador)			\$3,100,000
Subtotal			\$3,100,000
TOTAL INVERSIÓN			\$4,836,300

- La evaluación realizada refleja los rendimientos de una plantación de *Jatropha* con 1.333 plantas/ha, cuya producción de semillas comienza a presentarse a partir del segundo año posterior al establecimiento del huerto.
- De acuerdo a la experiencia obtenida en el marco de este proyecto, se proyecta un rendimiento de 20 kg/ha en el año 2 considerando un 60% de las plantas productivas, hasta alcanzar un nivel de plena producción en el año 5 con un rendimiento productivo de 533 kg/ha el cual se mantiene constante hasta el final del período de evaluación (Cuadro 13).

Cuadro 13. Producción de semillas de *Jatropha* proyectada por año.

Año	Kg/ha	% Plantas Productivas	% Producción por ha
1	0	0	0
2	20	60	6
3	133	100	25
4	400	100	75
5	533	100	100
6	533	100	100
7	533	100	100
8	533	100	100
9	533	100	100
10	533	100	100

- De acuerdo a la literatura se estima un volumen total de la producción destinado a la elaboración de biodiesel.

- Los costos directos de producción se diferencian en mantención del huerto y cosecha.

- De acuerdo a las técnicas de manejo aplicadas en este proyecto, a las necesidades de fertilización del terreno, la baja incidencia de plagas, las tasas de riego aplicadas y al replante realizado, los costos directos asociados a la mantención del huerto y su proyección estimada de costos para el horizonte de años de esta evaluación se muestra en el Cuadro 14.

- En cuanto a los costos directos asociados a la cosecha de las semillas de *Jatropha*, se debe considerar la mano de obra para la cosecha manual, la mano de obra correspondiente para el descascarado y ensacado de las semillas cosechadas, y el material necesario para la cosecha (sacos, otros).

- Se considera que una persona puede cosechar diariamente 25 kg de semillas de *Jatropha* y adicionalmente una persona puede realizar las labores de descascarado y ensacado de 30 kg de estas semillas al día. El costo del trabajo de una persona en cosecha es de \$10.000/día. De acuerdo a los rendimientos de producción y cantidad estimada de mano de obra en esta evaluación, se calcularon los costos anuales para la cosecha de una hectárea de semillas de *Jatropha* (Cuadro 15)

- Los costos indirectos considerados significan el 20% del costo total, según literatura consultada de experiencias similares en otros países (Álvarez y Ríos. 2008). Estos involucran los costos de administración y otros.

- Respecto a los ingresos, se estimó el precio para la venta de las semillas de *Jatropha* en función de las estadísticas internacionales y la literatura revisada, ya que actualmente en Chile el mercado de las semillas de *Jatropha* para la elaboración de biodiesel no está establecido. Las estadísticas de precios encontradas en la literatura se encuentran en un rango de 170 –

250 US\$/ t semilla. En esta evaluación se supuso un precio de venta de 200US\$/t de semilla de jatropha, según lo indicado por Álvarez & Ríos (2008). Se considera un valor conservador, tomando en cuenta el comportamiento del mercado en las últimas temporadas y en las tendencias estimadas. Los ingresos estimados se muestran en el cuadro 16.

- La tasa de descuento utilizada es de un 15%. Según literatura, en la evaluación de proyectos integrados de jatropha se aplican tasas entre 10,5% hasta 15% anual. Se eligió el 15% dado que ésta refleja la incertidumbre elevada de los flujos (Kingswood. 2010)

Cuadro 14. Costos directos: mantención anual del huerto de Jatropha.

ítem	Año 1 (\$)	Año 2 (\$)	Año 3 (\$)	Año 4 (\$)	Año 5-10 (\$)
Fertilización					
Valor agua aplicada (\$)	8.030	16.060	6.060	16.060	16.060
Replante	8.500	17.000	0	0	0
poda	16.820	31.320	0	0	0
subtotal	33.350	64.380	16.060	16.060	16.060
Plantas					
Replante		333.250			
subtotal	0	333.250	0	0	0
Plaguicidas					
Materiales cosecha	13.568	16.960	16.960	16.960	16.960
subtotal	18.588	23.235	23.235	23.235	23.235
Control de malezas					
manual (JH/ha)	270.000	260.000	260.000	260.000	260.000
subtotal	270.000	260.000	260.000	260.000	260.000
Riego					
mano de obra + energía	240.000	240.000	240.000	240.000	240.000
Agua	70.000	105.000	175.000	245.000	280.000
subtotal	310.000	345.000	415.000	485.000	520.000
Poda					
mano de obra (JH/ha)	40.000	40.000	60.000	60.000	80.000
subtotal	40.000	40.000	60.000	60.000	80.000
Cosecha					
mano de obra cosecha (JH/ha)	0	8.000	53.333	160.000	213.333
Dscascarado y ensacado	0	6.667	44.444	133.333	177.778
Materiales cosecha	0	2.500	16.667	50.000	66.667
subtotal	0	17.167	114.444	343.333	457.778
Otros					
Replante (JH /ha)		40.000			
subtotal	0	40.000	0	0	0
TOTAL COSTOS DIRECTOS	671.938	1.123.032	888.740	1.187.629	1.357.073

Cuadro 15. Costo total anual para cosecha.

	Año 1 (\$)	Año 2 (\$)	Año 3 (\$)	Año 4 (\$)	Año 5-10 (\$)
Mano obra cosecha	-	8,000	53,333	160,000	213,333
Mano obra descascarado y ensacado	-	6,667	44,444	133,333	177,778
Materiales cosecha	-	2,500	16,667	50,000	66,667
Costo cosecha	-	17,167	114,444	343,333	457,778

Cuadro 16. Estimación de ingresos en \$

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5 - 10
Producción por planta (kg)	0	0.015	0.100	0.300	0.400
Producción kg/ha semilla	0	20.0	133.3	400.0	533.3
Producción t/ha semilla	0	0.0	0.1	0.4	0.5
Ingreso por t/ha semilla	0	2,000	13,333	40,000	53,333

3.2.2. Resultados y discusión

De los antecedentes mencionados, se desprende que el establecimiento de este huerto de *Jatropha*, bajo las condiciones técnicas establecidas por el proyecto, no generaría márgenes brutos positivos dentro del período de evaluación. El indicador de rentabilidad Valor Actual Neto (VAN) obtenido, bajo los antecedentes y supuestos generados por este proyecto, en un horizonte de evaluación de 10 años es de - \$15.150.328.

Desde el punto de vista agronómico, con el desarrollo de este proyecto se esperaba obtener resultados positivos en cuanto a la adaptación del cultivo de *Jatropha curcas* en la provincia del Limarí en la Región de Coquimbo y su rentabilidad, de acuerdo al respaldo bibliográfico documentado. Sin embargo, gracias a los ensayos de adaptación realizados en el marco de este proyecto, ubicados en tres distintas zonas de la región de Coquimbo, fue posible identificar los factores críticos para la adaptación y manejo de este cultivo bajo las condiciones locales, los cuales afectan directamente la rentabilidad de esta alternativa productiva.

La propuesta inicial del proyecto ejecutado por INIA incluía la producción de biodiesel de *Jatropha* a escala piloto ya que este es el destino final de la producción de sus semillas y los ingresos del cultivo dependen directamente del comportamiento del mercado del aceite y biodiesel. Sin embargo el desarrollo de este proyecto se restringió solo a la fase de

adaptabilidad agronómica por lo que no se pudieron levantar antecedentes para realizar una evaluación integrada.

La evaluación económica realizada en el marco de este proyecto, no entrega resultados de rentabilidad favorables bajo las condiciones locales y adoptadas por este proyecto. Por otra parte, no es factible extrapolar los resultados a superficies mayores del cultivo, ya que los antecedentes recabados sufrirían distorsiones y no hay datos suficientes para generar cálculos a escala. Por lo anterior no se puede suponer una relación lineal para interpretar una superficie que permita alcanzar la rentabilidad del proyecto.

En relación a estos resultados se revisaron experiencias similares, encontrándose antecedentes de un estudio exploratorio realizado por la Universidad de Chile en la región de Coquimbo, en un período paralelo al desarrollo del proyecto INIA. De acuerdo a los antecedentes levantados por la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile se realizó una evaluación económica para un proyecto agroindustrial integrado de *Jatropha* (cultivo + producción de biodiesel), la cual indica que este no es un proyecto económicamente rentable en la región de Coquimbo (VAN -\$718.352 millones de pesos). Aún utilizando los supuestos del mejor escenario considerado, los indicadores del proyecto dan resultados negativos (VAN -329.525 millones de pesos).

De acuerdo a los antecedentes recopilados, se infiere que dentro de la cadena productiva del biodiesel de *Jatropha* la etapa de producción de materia prima es la que requiere mayor atención para incorporar mejoras de manera tal que el cultivo sea atractivo desde el punto de vista de la rentabilidad, tanto para los agricultores como para los inversionistas. En la parte industrial, y de acuerdo a lo concluido por Kingwood (2010), no hay dudas que el biodiesel de *jatropha* pueda usarse de manera alternativa al petróleo y que pueda ser efectivamente comercializado. Además su elaboración se realiza a través de procesos probados y sencillos, a costos razonables que sin embargo, probablemente serán mejorados a futuro.

Si bien en Chile ha habido algunas experiencias experimentales sobre esta especie para fines bioenergéticos, se trata de una actividad incipiente que requiere de mayores estudios para obtener antecedentes que le den mayor pertinencia a su adaptación local. En esta misma línea y como referencia, Argentina ha priorizado dentro de las líneas de investigación a seguir en este cultivo, el desarrollo de un programa de mejoramiento genético para desarrollar cultivares que se adapten a las condiciones locales, validar sistemas de producción con ensayos comparativos de al menos 3 años, investigar las alternativas de propagación (semillas, estacas, plantines), densidad de plantación, fertilización y poda (INTA Argentina. 2008).



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las características medioambientales, no favorecen un buen resultado productivo, lo cual, en la actualidad presenta un escenario pesimista en el desarrollo de la *Jatropha* como cultivo de importancia económica para la Región de Coquimbo, ya que todas las plantaciones fueron dañadas por heladas, principalmente las ubicadas en Illapel, Vicuña y Pan de Azúcar. La plantación ubicada en Quebrada Seca fue menos afectada.

La época de crecimiento de las plantas es muy corta, se inicia a fines de Diciembre y termina a fines de Marzo.

Las plantas establecidas en Quebrada Seca, son las que han manifestado mejor adaptación, logrando floración, fructificación y producción de fruta.

En general la adaptación de *Jatropha curcas* en las localidades estudiadas no ha sido satisfactoria pues presenta una gran sensibilidad a las bajas temperaturas, dado que con temperaturas mínimas de 5 °C las plantas no crecen.

Existe una gran variabilidad fenotípica en las plantas de *Jatropha*, observándose diversos hábitos de crecimiento, tamaño de las hojas, el vigor y potencial productivo dentro del mismo sector de evaluación.

Los resultados de los ensayos de riego indican que las plantas podrían ser regadas con una tasa de 700 m³/ha, tasa considerada baja.

Si se observó una tendencia a una mayor producción de semilla al incrementar los niveles de riego, en la localidad de Quebrada Seca.

La producción registrada para una primera cosecha en plantas de dos años de edad, permiten estimar producciones potenciales máximas de 320 kg/ha de semilla.

En general las plantas no presentan ataque de enfermedades y plagas importantes hasta la fecha, observándose algunas especies potencialmente dañinas (complejo de arañitas *Tetranychus urticae* y *T. cinnabarinus*) que de colonizar el follaje podrían causar algún daño importante.

De acuerdo a los datos agronómicos obtenidos en las 3 temporadas estudiadas, permiten señalar que el cultivo no constituiría una alternativa viable ni técnica ni económica de

desarrollo en la región de Coquimbo. A futuro se debería evaluar nuevo material genético, que presente más resistencia a frío.

Tomando en consideración los que ocurre técnica y económicamente en el cultivo de la *Jatropha* para la generación de biodiesel, especialmente bajo las condiciones de la región de Coquimbo y en este proyecto, esta evaluación presenta las siguientes conclusiones:

El cultivo de *Jatropha* bajo las condiciones técnicas y supuestos generados por este proyecto, presenta una rentabilidad negativa, en un horizonte de evaluación de 10 años.

La región de Coquimbo presenta inconvenientes agrometeorológicos para la instauración del cultivo, en especial en lo asociado a las bajas temperaturas y precipitaciones anuales que requiere el cultivo, lo cual se traduce en un bajo rendimiento de semillas y en un retraso en lograr la plena producción, en relación a experiencias extranjeras. Esto está directamente relacionado con el cálculo de los ingresos.

Dentro de la cadena productiva para la elaboración de biodiesel se infiere que la etapa primaria requiere mayor atención para incorporar mejoras que permitan la implantación de un cultivo con mayor rentabilidad.

El incremento en la rentabilidad de este cultivo en la zona en estudio está asociada directamente al aumento en los niveles de producción y en el contenido de aceite que puedan alcanzar la semillas, lo cual se traduce en la necesidad de continuar líneas de investigación en el ámbito agronómico que permitan conocer más el comportamiento de la planta e incorporar mejoras para el cultivo y el rendimiento del aceite.

Recomendaciones

El trabajo a corto plazo, radica en un mejoramiento genético, rescatando el material de plantas que demostraron mejor adaptabilidad para las condiciones de semi aridez

Esta especie debe presentar mejor comportamiento en la zona del norte grande.

Se deben introducir y evaluar ecotipos de *Jatropha* resistentes a frío.

Seleccionar material genético que presente buena adaptación y reproducirlo por estacas.

4 BIBLIOGRAFÍA

Albuquerque, W., N. Betrao, C. Azevedo, C. Da Silva. 2009. Variáveis de crescimento do pinhao manso em função do tempo quando submetidos a diferentes dosagens de nitrogênio e níveis de água disponível no solo. In: I Congresso brasileiro de pesquisa em pinhão manso. Brasília, DF: Embrapa Agroenergía. 1 CD-ROM.

Álvarez, L y S. Ríos. 2008. Evaluación Económica prospectiva del cultivo de *Jatropha curcas* "piñon blanco" para biocombustible en el Departamento de Loreto, Perú. Programa de Ordenamiento Ambiental. 62 p.

Bártoli, A. 2008. Manual para el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), La Lima Cortés, Honduras. 7 p.

Brandenburg, W., P. Bindraban, W. Corre y R. Jongschaap. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Plant Research International B. V., Wageningen UR. (Disponible en: http://www.fact-fuels.org/media_en/Claims_and_Facts_on_Jatropha_-WUR. Consultado el: 07 de Julio de 2011).

Brittaine, R. y N. Lutaladio. 2010. *Jatropha*: A Smallholder Bioenergy Crop; The Potential for Pro-Poor Development. Integrated Crop Management. Food and agriculture organization of the united nation. Roma. Vol. 8. 114 p.

Cáceres, D., A. Azevedo y J. Abramides. 2008. Pinhão Manso. Brasil. (Disponible en: http://www.infobibos.com/Artigos/2007_3/pinhaomanso/index.htm. Consultado el 17 de Julio de 2011).

CNE. 2011. Comisión Nacional de Energía. Portal web www.cne.cl

De Arruda, F.P.; De Macedo Beltrao, N.; Pereira de Andrade, A.; Pereira, W. E Soares Severino, L. 2004. Cultivo de Pinhao manso (*Jatropha curcas*) como alternativa para o semiárido nordestino. Rev. Bras. ol. fibras. Campina Grande. V 8 N° 1, 789-799.

Dias, L. A. S.; Leme, L. P.; Laviola, B. G.; Pallini, A.; Pereira, O. L.; Dias, D. C. F. S.; Carvalho, M.; Manfio, C. E.; Santos, A. S.; Sousa, L. C. A.; Oliveira, T. S.; Pretti, L. A. 2007. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível. Viçosa: UFV, 40 p.

Farr, D.F. and A.Y. Rossman, 2011. Fungal databases, systematic mycology and microbiology laboratory, ARS, USDA. Retrieved July 7, from /fungaldatabases/).

Figueroa, J. 2006. Seminario internacional sobre biocombustibles: la ventana hacia una nueva era energética. Chile. Chile Riego. 27: 50-55.

Gour, K. 2006. Production practices including post-harvest management of *Jatropha curcas*. Ed. Proceedings of the biodiesel conference toward energy independence – focus of *Jatropha*, Hyderabad, India. New Delhi, Rashtrapati Bhawan. 223–251.

Heller, J. 1996. Physic nut, *Jatropha curcas*; Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops. International Plant Genetic Resources. Institute (IPGRI), Rome, Italy. 66 p.

Henning, 2009. The *Jatropha* System An integrated approach of rural development. Rothkreuz 11, D-88138 Weissensberg, Germany e-mail: henning@bagani.de, internet: www.*Jatropha*.de 105p.

Henning, R. 1996. La lucha contra la desertificación por la utilización integrada de la Planta de *Jatropha* an integrated approach to supply energy and create income for rural development un enfoque integrado del suministro de energía y crear ingresos para el desarrollo rural. by Reinhard K. HenniRothkreuz 11, D - 88138 Weissensberg, Germany, Tel.: +49 8389 984 129, Fa D - 88138 Weissensberg. Alemania. (Disponible en: <http://www.etfrn.org/etfrn/workshop/degradedlands/documents/Jatropha-paper.pdf>. Consultado el: 06 de Julio de 2011).

IICA. 2010. Atlas de la agro energía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel. Programa hemisférico en agro energía y biocombustibles Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 378 p.

INIA.<http://www.inia.cl/biblioteca/> Revisado: Jueves 07 de Julio del 2011)

INTA. 2008. Insumos para la producción de biocombustibles. Estudio Exploratorio. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. 66 p.

Jatropha. 2009. ¿Qué es la *Jatropha*?. Chile. (Disponible en: <http://www.Jatropha.cl/> contenido. Consultado el: 20 de Junio de 2011).

Jones, N. y J. Miller. 1992. *Jatropha curcas*: A multipurpose Species for Problematic Sites. The World Bank, Washington DC.USA. Vol. 12. 26 p.

Kingswood, A. 2010. Estudio exploratorio de la producción de biodiesel a partir de aceite de *Jatropha curcas* en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Chile. 83 p.

Kumar, R., A. Sinha, S.R. Singh, and D. Kamil. 2009. Incidence of a leaf spot disease in *Jatropha curcas* from Eastern Uttar Pradesh. *J. Mycol. Pl. Pathol.* 39:536-538

Laroze, A. 2007. Fundamentos para una Política Nacional de Bioenergía. Disponible en: http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/SemBiocombustibles/02_Biocombustibles-ODEPA.pdf. Consultado 9 Julio 2011.

Martin, G. y Mayeux, A. 1984. Reflexiones sobre cultivos oleaginosos energéticos II Piñon de la India (*Jatropha curcas* L.). *Un carburante posible. Oleagineux* 39 (5): 283-287.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2007. Chile. Contribución de la política agraria al desarrollo de los biocombustibles en Chile. (Disponible en: http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/Politica_Agraria_Biocombustibles.pdf. Consultado el: 17 de Junio de 2011).

Red de Coordinación de Políticas Agropecuarias (REDPA). 2009. Consejo Agropecuario del Sur (CAS). Grupo de Trabajo sobre .POLÍTICAS PÚBLICAS EN AGROENERGÍA – GT6. Situación de la *Jatropha* y perspectivas.28P.

Saturnino, H.; D. Pacheco; J. Kakida; N. Tominaga y N. Gonçalves. 2005. Cultura do pinhão. *Informe Agropecuario*. 26 (229): 44-78.

Solomon A.J. and V. Ezraadanam. 2002 Pollination ecology and fruiting behavior in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). *Current Science* 83: 1395-1398.

Schmook, B. y L. Seralta-Peralta. 1997. *J. curcas*: distribution and uses in the Yucatan Peninsula of Mexico. In: Gubitz M, Mittelbach M, Trabi M, Ed. GM. Biofuels and Industrial Products from *Jatropha curcas*, DBV Graz. 53-57 p.

Sotolongo, J., A. Díaz, S. Montes De Oca, Del Valle y S. García. 2007. Potencialidades Energéticas y Medioambientales del árbol *Jatropha curcas* L en las Condiciones Edafoclimáticas de la Región Semiárida de la Provincia de Guantánamo. *Tecnología Química*. 27 (2): 76-82.

Tapanes, D.A.G.y J.Aranda ,W.M. Carneiro and O.A.C. Antunes. 2008. Transesterification of *Jatropha curcas* oil glycerides: theoretical and experimental studies of biodiesel reaction, *Fuel* 87 (2008), pp. 2286–2295.

Tominaga, N., J. Kakida y E. Kenji. 2007. Cultivo de pinhao-manso para producao de biodiesel. 1 ed. Brasil, CPT. Vol. 1. 220p.

Veruschka, E., J. Dantas, B. De Araujo, Y. Mendes y C. Vieira. 2009. Crescimento e produção do pinhão manso irrigado, primeiro ano, sob diferentes adubações no semi-árido paraibano. In: I Congresso brasileiro de pesquisa em pinhão manso. Brasília, DF. Anais Brasília, DF: Embrapa Agroenergia. 1 CD-ROM.

