

## Efecto de la fertilización en *Guindilia trinervis* en su hábitat natural y en invernadero

Effect of fertilization on *Guindilia trinervis* in its natural habitat and in the greenhouse

Doris Prehn <sup>\*\*</sup>, Claudia Bonomelli <sup>a</sup>, Ricardo San Martín <sup>b</sup>

\*Autor de correspondencia: <sup>a</sup> Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Departamento de Fruticultura y Enología, Santiago, Chile, tel.: 56-2-6864956, dprehn@uc.cl

<sup>b</sup> Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Laboratorio de Biocombustibles y Biopesticidas, Santiago, Chile.

### SUMMARY

*Guindilia trinervis* is a wild plant that bears seeds with a high content of oil. It is relatively frequent in the mountains between the regions of Coquimbo and Maule in Chile and grows predominantly at altitudes of 1,400-2,200 m a.s.l., in the Andes as well as in the Coastal Range at lower altitudes. The quality of the oil in its seeds is suited for biodiesel but its commercial value is restricted by the marginal conditions of the natural environment and the limited available information on its physiology and agronomic performance. This study is aimed at evaluating nitrogen, phosphorous and potassium fertilization on seed yield in its natural environment and at determining nitrogen demand and absorption of nitrogen fertilization on nitrogen, phosphorous and potassium of leaves, roots and stems in the greenhouse. Adult plants under field conditions without chemical fertilization (control) and fertilized with 75-30-30 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen, phosphorous and potassium yielded 0.19 and 16.6 g m<sup>-2</sup> dry matter of seeds per 0.1 m<sup>2</sup>, correspondingly. According to the conversions used by the authors, this production is equivalent to 2.62 and 223 L ha<sup>-1</sup> of biodiesel in the control and the complete treatment, respectively. During the growing season sprouts of fertilized plants grew 2.9 cm in the 75-30-30 treatment and 7.6 cm in the control without fertilization. In the greenhouse nitrogen fertilization affected the biomass of leaves and stems, but did not influence root biomass. Nitrogen supply of 2 g plant<sup>-1</sup> increased leaf and stem weight and decreased significantly these organs with doses of 16 g plant<sup>-1</sup> of nitrogen. *Guindilia trinervis* with fertilization increased seed yield in the field and nitrogen application favored the accumulation of biomass in the greenhouse. An isolated elite plant, previously selected in the wild for productivity, yielded 445 L ha<sup>-1</sup> of biodiesel without fertilization; which opens the possibility for genetic improvement of this species.

**Key words:** *Guindilia trinervis*, fertilization, nitrogen, phosphorous, potassium.

### RESUMEN

*Guindilia trinervis* es una oleaginosa silvestre relativamente frecuente en zonas montañosas entre las regiones de Coquimbo y Maule en Chile. Crece de 1.400 a 2.200 m s.n.m. en las cordilleras de Los Andes y de la Costa en altitudes menores. La semilla tiene un alto contenido de aceite que es apropiado para la producción de biodiesel, pero su uso está limitado por las condiciones marginales de su hábitat natural y por la escasa información que existe sobre su fisiología y propiedades agronómicas. En este estudio se fertilizaron plantas silvestres con nitrógeno, fósforo y potasio y se evaluó el efecto sobre la producción de biomasa y semillas en un espacio silvestre. En plantas en invernadero se cuantificó la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio de hojas, raíces y tallos mediante aplicación de nitrógeno. Plantas adultas en estado silvestre sin fertilización (control) y fertilizadas con 75-30-30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, fósforo y potasio produjeron 0,19 y 16,60 g m<sup>-2</sup> de materia seca de semillas, respectivamente. Expresado en biodiesel esto se tradujo en 2,62 y 223 L ha<sup>-1</sup>, incrementándose el rendimiento al aplicar nitrógeno, fósforo y potasio en conjunto. Durante la época de crecimiento los brotes de las plantas fertilizadas crecieron 2,9 cm en el tratamiento 75-30-30 y 7,6 cm en el control. En invernadero, la fertilización nitrogenada afectó la biomasa de hojas y tallos, pero no influyó sobre la biomasa de raíces. La aplicación de nitrógeno en dosis de 2 g planta<sup>-1</sup> elevó la producción de hojas y tallos. Al aumentar la dosis de nitrógeno a 16 g planta<sup>-1</sup> la biomasa total decreció significativamente. La fertilización de plantas silvestres de *G. trinervis* en su hábitat natural incrementó la producción de semillas y benefició la acumulación de biomasa en el invernadero. Una planta elite aislada, no fertilizada y seleccionada por su alta productividad en terreno en años previos, produjo 445 L ha<sup>-1</sup> de aceite lo que abre la posibilidad de mejorar genéticamente la especie.

**Palabras clave:** *Guindilia trinervis*, fertilización, nitrógeno, fósforo, potasio.

### INTRODUCCIÓN

En Chile la producción de biodiesel a partir de oleaginosas de segunda generación es un tema poco abordado y no existe producción intensiva de estos cultivos (Paneque

et al. 2011). Los autores mencionan tres proyectos de investigación que se refieren a jatropha (*Jatropha curcas* L.), camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz), mostaza (*Sinapis alba* L.) y guindilla (*Guindilia trinervis* Gillies ex Hook. et Arn. (Sapindaceae)). *Guindilia trinervis* es una oleagi-

nosa silvestre de hábito arbustivo, con hojas trinervadas, y un fruto que presenta una cápsula con una o dos celdillas abortadas Hoffman *et al.* (1998). Su ciclo de vida ha sido escasamente descrito. Según observación propia la especie florece en septiembre y fructifica en diciembre, al tercer año de vida. Las semillas maduran en enero y desarrollan una testa dura. La materia seca de las semillas contiene hasta un 30 % de aceite, dependiendo de su tamaño, y en plantas naturales el rendimiento de aceite ha sido estimado en 500 - 1.000 L ha<sup>-1</sup> (San Martín *et al.* 2011). Su composición química ha sido precisada como adecuada para biodiesel, pero no apta para el consumo humano (Seigler *et al.* 1987).

La cosecha de semillas de plantas silvestres para producir biodiesel podría alterar la regeneración de las poblaciones naturales en ecosistemas que presentan suelos frágiles y condiciones climáticas extremas. La especie crece entre 1.400 y 2.200 m s.n.m. y forma parte del bosque esclerófilo de la zona mediterránea sub-andina, encontrándose presente en forma relativamente frecuente en las cordilleras de la Costa y de Los Andes, entre 30° y 37° S (Muñoz *et al.* 2000). La zona se caracteriza por suelos frágiles del tipo entisoles, que presentan una composición mixta que Regairaz y Ferrer (1993) describen para la zona de Mendoza, Argentina. CONAF (2001) clasifica los suelos como lito-soles-pardo forestales con un horizonte A1 delgado, abundantes afloramientos rocosos y pendientes fuertes. También se reporta alteración de la superficie por movimientos de remoción en masa y procesos erosivos intensos. La información analítica de los suelos (CONAF 2001) revela un contenido de materia orgánica de 5,6 %, nitrógeno 12 mg kg<sup>-1</sup>, fósforo 14 mg kg<sup>-1</sup>, potasio 267 mg kg<sup>-1</sup> y pH 6,1.

Este clima se caracteriza por una reducción térmica en altura y un aumento gradual de la precipitación en forma de nieve. De acuerdo a los mapas sinópticos (CONAF 2001) se estiman temperaturas promedio del año de 13 °C, con la más alta en enero de 25,6 °C y la más baja en julio con 7,6 °C. Con respecto a las precipitaciones, éstas alcanzarían un promedio anual de 1.170 mm, concentradas en los meses invernales con un promedio de 550 mm, 280 mm en otoño y 180 mm en primavera.

Jordán *et al.* (2010) determinaron que en cautiverio las semillas germinan en un 90 % bajo condiciones controladas y el enraizamiento de estacas verdes y leñosas alcanza 80 %, consiguiéndose plantas de alta calidad aptas para la multiplicación en viveros. Hasta la fecha las propiedades botánicas de la especie han sido escasamente descritas, al igual que su ciclo de vida y su adaptación a altitudes inferiores. Aparte de su uso restringido como planta ornamental, sus propiedades como cultivo son desconocidas. La domesticación de *G. trinervis* para uso comercial requiere evaluar sus aptitudes agronómicas y su respuesta a los factores que afectan el crecimiento y la producción de semillas. La fertilización determina el potencial productivo de los cultivos y es crítico identificar la tasa óptima de fertilización para lograr altos rendimientos en la produc-

ción agrícola intensiva (Teklic *et al.* 2002). Cada cultivo tiene una tasa de fertilización propia debido a la distinta demanda y absorción de nutrientes de las especies. *Guindilia trinervis* podría compararse con *Carthamus tinctorius* L. (cártamo), que es una oleaginosa anual de capítulos globulares, con una raíz principal que permite acceder nutrientes en forma similar a un cereal (Li y Mundell 1997). Steer y Harrigan (1986) reportan que en *C. tinctorius*, diferentes dosis de nitrógeno promueven la formación de flores. Al aumentar la aplicación de nitrógeno, este se acumula debido a una menor producción de materia seca y a una absorción más eficiente que en otras oleaginosas tales como *Helianthus annuus* L. (maravilla) (Abbadi y Gerendas 2008). Soleimani (2010) concluye que en maravilla la aplicación de 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno incrementa el rendimiento del grano, en cambio para, *C. tinctorius*, Nasr *et al.* (1978) reportan que 75 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno ya son suficientes para la producción de semillas y aceite. Existe una metodología simple para determinar las absorciones o demandas de nutrientes de un cultivo. Bonomelli y Suárez (1999) cuantifican en *Eucalyptus sp.* la biomasa de tallos, raíces y hojas y miden su concentración de nutrientes y confeccionan su curva de demanda.

Las hipótesis planteadas en este estudio afirman que, en la producción de semillas de *G. trinervis*, la fertilización es el denominador común que organiza la distribución de los nutrientes y del crecimiento vegetativo tanto en el hábitat natural como en el invernadero. Plantas como *G. trinervis* que no son manejadas agronómicamente y de las cuales solo se conoce su crecimiento y rendimiento en condiciones silvestres, pueden aumentar su biomasa y producción de semillas al someterlas a manejos de fertilización, ya que el déficit de suministro de elementos esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, pueden ser un factor limitante que define el techo de producción.

En el análisis, se aplican los métodos deductivo-inductivos, vinculando las condiciones ambientales de los sistemas productivos y los estudios de casos. Con este trabajo se pretende profundizar el conocimiento de la complejidad del rendimiento de semillas y del crecimiento vegetativo como respuesta a la fertilización completa bajo un régimen natural, y otra del crecimiento vegetativo con la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno sobre la concentración de nutrientes y la absorción de carbono en hojas, tallos y raíces en el invernadero.

## MÉTODOS

Durante la temporada 2009-2010 se efectuaron dos experimentos. Uno se realizó sobre plantas adultas de edad indeterminada en su hábitat natural ubicado en el Santuario de la Naturaleza Yerba Loca, cerca de Farellones a 1.750 m s.n.m., coordenadas 33° 20' 180" S y 70° 19' 614" O, y el otro con material vegetal que fue derivado de semillas y llevado al invernadero en condiciones controladas de 20 ± 5 °C, en Santiago a 400 m s.n.m., coordenadas 33° 26' 16" S y 70° 39' 01" O.

*Experimento de fertilización en el hábitat natural.* El experimento para estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada, fosforada y potásica en plantas de *G. trinervis*, se realizó en un lugar cercado, con exposición norte, que se encontraba densamente poblado con *G. trinervis*. Se dividieron al azar cuatro parcelas experimentales de aproximadamente 10 m<sup>2</sup> cada una y separadas espacialmente por corredores irregulares. Las plantas tenían alrededor de 80 cm de altura y presentaban brotes subterráneos que formaban colchones arbustivos densos con tallos lignificados (figura 1C), de edad incierta por falta de referencias y posiblemente genéticamente homogéneas. Dentro de las parcelas no se presentaron malezas u otras plantas que pudieran causar competencia por lo que no se efectuó control. En sectores aledaños se observó la presencia del parásito obligado *Cuscuta chilensis* Ker-Gawl. (cúscuta) en *G. trinervis*. El suelo entre las parcelas se encontraba parcialmente cubierto por gramíneas que se secaron con el avance de la temporada. Adicionalmente, en el recinto cercado se incorporó en el análisis del experimento una planta madura y lignificada de *G. trinervis*, cuyo desarrollo era superior al de las plantas de las parcelas experimentales. Esta planta, que se había seleccionado durante dos temporadas previas por su alto rendimiento, no se fertilizó y se tomó, a modo de comparación, como planta modelo o planta “elite”. Esta planta también se evaluó con el fin de tener una referencia de una planta naturalmente muy productora en el mismo lugar. La planta se encontraba aislada, cubría una superficie aproximada de 2 m<sup>2</sup> y tenía una altura de 1,2 m.

Dentro del centro del sector cercado, donde se efectuó el ensayo, se dispuso un termómetro KeyTag Analyzer protegido por un cilindro ventilado y cubierto con el fin de medir la temperatura. Se efectuaron 24 lecturas diarias durante la temporada enero-julio del 2009.

Para determinar la analítica del suelo, el fósforo fue medido mediante el método Olsen, el potasio intercambiable del suelo mediante extracción con acetato de amonio a pH 7,0 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica (AAS-220 FS, Varian). El carbono orgánico se determinó mediante el método de oxidación húmeda de Walky-Black y el pH se determinó con electrodos de vidrio en suelo saturado, después de un período de estabilización de 2 h (Page *et al.* 1982).

Las muestras vegetales se secaron por 48 h en un horno a 65 °C hasta peso constante. Las concentraciones de nitrógeno y carbono fueron determinadas con un LECO CNS-2000 *Macro Elemental Analyzer* (Leco, Michigan, USA).

La concentración de fósforo y potasio se midieron con el método de incineración a 500 °C. Para fósforo, se analizaron las cenizas formando un complejo con molibdato - vanadato y luego se midieron con un espectrofotómetro de absorción molecular. Para determinar el potasio las cenizas se disolvieron en soluciones ácidas diluidas y las concentraciones se determinaron con un espectrofotómetro de absorción Varian EAA-220 FS. Con el peso de cada componente de la biomasa de las plantas más la concen-

tración específica de nitrógeno, fósforo, potasio y carbono de cada parte, se calculó la absorción o demanda de cada tejido (Page *et al.* 1982).

Las muestras vegetales se secaron por 48 h en un horno a 65 °C hasta peso constante.

Las concentraciones de nitrógeno y carbono fueron determinadas con un LECO CNS-2000 *Macro Elemental Analyzer* (Leco, Michigan, USA).

Los nutrientes fueron dispensados en forma de urea, superfosfato triple y muriato de potasio, diluidos en agua y regados con bomba de mano directamente al suelo cubierto de plantas. Las dosis se parcializaron y se realizaron en verano (diciembre 2008) cuando el suelo estaba seco, en otoño (mayo 2009) sobre suelo húmedo y primavera (octubre 2009) también sobre suelo húmedo (cuadro 1). El ensayo se evaluó tres meses después de la última aplicación de fertilizantes y abarcó una temporada de crecimiento.

El efecto de la fertilización sobre la fructificación se determinó en estado de fruto teñido contando todos los frutos y agrupándolos por calibre. Se utilizó un cuadrante de 0,1 m<sup>2</sup> (figura 1A) y se lanzó 10 veces en forma aleatoria sobre cada parcela y sobre la planta elite. En cada cuadrante se contó el número de frutos en diciembre y de semillas en febrero, un año después de iniciado el ensayo. Las semillas se recolectaron utilizando la misma metodología de medición que para los frutos. Las semillas (figura 1B) se secaron en horno a 30 °C por 36 h y se estimó su materia seca.

Para calcular la producción de MS se estimó un 50 % de cobertura de plantas de *G. trinervis* por hectárea. Esta densidad de plantas fue un supuesto y se basó en observaciones del hábito de crecimiento y de la proliferación vegetativa de la especie. La proporción de aceite de la MS utilizada en los cálculos fue de un 27 %, con una conversión de aceite a biodiesel 1:1, según lo reportado por San Martín *et al.* (2011). Para calcular el rendimiento se consideraron semillas con diámetro > 6 mm y la fórmula utilizada fue: g m<sup>-2</sup> de materia seca x 27 % rendimiento aceite x 50 % cobertura suelo x 100 = L ha<sup>-1</sup>.

La concentración de nitrógeno, fósforo y potasio total se midió en hojas recientemente maduras de brotes del año previamente etiquetados.

El diseño experimental empleado fue completamente al azar con cuatro tratamientos y 10 repeticiones por cada uno. Cada cuadrante lanzado se consideró una repetición.

**Cuadro 1.** Dosis de nitrógeno, fósforo y potasio (g 10 m<sup>-2</sup>) aplicados a *G. trinervis* en su hábitat natural.

Nitrogen, phosphorous and potassium (g 10 m<sup>-2</sup>) supplied to a *G. trinervis* in its natural habitat.

Nutriente g 10 m <sup>-2</sup>	T0	T1	T2	T3	Planta elite
Nitrógeno	0	75	75	75	0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0	0	30	30	0
Potasio (K <sub>2</sub> O)	0	0	0	30	0



**Figura 1.** (A) Cuadrante para conteo de frutos; (B) semillas maduras; (C) tallos lignificados y toma muestra de suelo; (D) planta juvenil en maceta; (E) planta entera para análisis destructivo con sistema radical desarrollado.

A) Assessment of fruit yield within a square of 0.1 m<sup>2</sup>. B) Dry seeds after harvest. C) Soil sampling at the experimental place. D) Potted *G. trinervis*. E) Whole plant with a developed root system.

El análisis de datos se realizó utilizando análisis de varianza y cuando F fue significativo ( $P < 0,05$ ) se separaron las medias con la prueba de comparación múltiple de Tukey.

*Experimento de fertilización en el invernadero.* Para este ensayo se utilizó suelo recolectado en el hábitat natural y se trasplantaron plantas de dos años a macetas de 3 L (figura 1D). Las plantas en macetas, provenían de semillas cosechadas en el mismo lugar del ensayo en terreno. En enero de 2010 se efectuó un análisis destructivo, para el cual se sacaron todas las plantas de los maceteros (figura 1E) y se dividieron en tres partes: hojas, brotes y raíces. Cada componente se pesó en fresco y se envió al laboratorio para determinar su materia seca y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio.

Los tratamientos consistieron en la aplicación de nitrógeno en dosis de 0, 1, 2, 4, 8 y 16 g de nitrógeno por maceta. Se usaron cinco repeticiones, considerando cada planta como una repetición, totalizando 30 plantas en el ensayo. El nitrógeno se aplicó a cada maceta (unidad experimental) como urea. Las dosis se parcializaron y se aplicaron en cinco fechas (una vez por mes desde el día 15 de agosto hasta el 15 de diciembre). La urea se aplicó por riego, previa disolución en 250 cm<sup>3</sup> de agua por planta. No se aplicó una base de fósforo y potasio ya que estos elementos no eran restrictivos en el suelo.

El diseño experimental empleado fue completamente al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones. El análisis de datos se realizó utilizando ANDEVA (Statística 6,0, Statsoft Inc.) y cuando F era significativo ( $P < 0,05$ ) se separaron las medias con la prueba de comparación múltiple de Tukey.

## RESULTADOS

*Experimento de fertilización en el hábitat natural.* El período de crecimiento de *G. trinervis* se concentró en los meses de noviembre y diciembre. Las temperaturas más extremas en el lugar se presentaron en enero con un promedio de 21,9 °C y S = 10,3 y en julio con un promedio de 0,2 °C y S = 4,7.

Las plantas control y la planta elite mostraron las concentraciones más bajas de nitrógeno en hojas, siendo la planta control la que presentó el mayor crecimiento de brotes (cuadro 2). Estas plantas no fueron fertilizadas por lo que tuvieron una menor disponibilidad química de nitrógeno desde el suelo. El nitrógeno aportado por la fertilización en T1, T2 y T3, aumentó la concentración en el tejido vegetal. En estos tratamientos el nitrógeno fue absorbido, pero no estimuló el crecimiento de brotes. El crecimiento de brotes fue similar en las plantas fertilizadas y la planta elite y menor en la planta control. Un resultado equivalente se observó en el número de nudos, donde el tratamiento control fue el que más nudos presentó por brote.

En hojas recientemente maduras en la temporada la concentración de fósforo se incrementó con el suministro de este nutriente, alcanzando un 0,28 % en el tratamiento con la fertilización química completa, reflejando una respuesta significativa frente a la presencia de los tres nutrientes en forma conjunta. Esto sugiere que la disponibilidad de fósforo proveniente del fertilizante químico aumentó la absorción de la planta, pero no se reflejó en un mayor crecimiento de brotes y número de nudos por planta. Para el potasio las concentraciones no tuvieron diferencias, salvo en la planta elite, la cual presentó una menor concentración. El número de nudos y el crecimiento de brotes fueron mayores en el control comparado con las parcelas fertilizadas, indicando que antes de fertilizar la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio fue suficiente para el crecimiento de la planta.

La floración *G. trinervis* se inició a comienzos de septiembre y la fructificación se extendió hasta diciembre. En estado de pinta o teñido de fruto el tratamiento completo de nitrógeno, fósforo y potasio (T3) y la planta elite sin fertilizar generaron el mayor número de frutos en todos los calibres (cuadro 3). En el tratamiento control sin fertilizar y en la aplicación con 75 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (T1), se observó un escaso desarrollo de frutos. Los frutos presentaron fluctuaciones importantes en tamaño y un diámetro significativamente mayor en el tratamiento completo (T3) y en la planta elite.

Las semillas maduraron durante el mes de enero. La concentración de nutrientes en las semillas no se afectó con las diferentes fertilizaciones, fluctuando entre 1,33 y 1,48 % de nitrógeno, 0,25 y 0,27 % de fósforo y 1,71 y 1,83 % de potasio, sin observarse diferencias estadísticas, entre los distintos tratamientos.

Dentro del ensayo, el tratamiento completo con nitrógeno, fósforo y potasio presentó la mayor producción de

**Cuadro 2.** Efecto del tratamiento de la fertilización sobre la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio (%) de hojas recientemente maduras, el crecimiento de brotes y número de nudos de *G. trinervis*.

Effect of the fertilization treatment on nitrogen, phosphorous and potassium content (%) of recently mature leaves. Growth of sprouts and number of nodes in *G. trinervis*.

Tratamientos	N total	P total	K total	Brotes	Nudos
	%	%	%	cm	Nº
T0 Control, sin fertilización	1,68 b*	0,19 b	1,26 ab	7,6 a	4,3 a
T1	1,75 ab	0,22 b	1,37 a	4,4 ab	3,2 ab
T2	1,88 a	0,23 ab	1,27 ab	3,9 ab	1,8 b
T3	1,76 ab	0,28 a	1,09 ab	2,9 b	1,8 b
Planta elite, sin fertilización	1,64 b	0,21 b	0,90 b	2,9 b	3,3 ab

\* Letras diferentes indican diferencias estadísticas ( $P < 0,5$ ), Tukey.

**Cuadro 3.** Número de frutos promedio por calibre en cuadrantes de 0,1 m<sup>2</sup> en plantas silvestres de *G. trinervis*.

Average number of fruits in squares of 0.1 m<sup>2</sup> in natural *G. trinervis* plants.

Tratamiento	Diámetro frutos		
	< 6 mm	1-9 mm	>10 mm
T0	0,4 b	0,4 c	0,3 c
T1	0,6 b	0,3 c	0,1 c
T2	9,7 b	6 bc	7,1 bc
T3	40,0 a	16,0 a	19,0 a
Planta elite	28,0 a	18,0 a	13,0 ab

Letras diferentes indican diferencias estadísticas ( $P < 0,5$ ), Tukey.

semillas, aun cuando la producción de materia seca de semillas fue significativamente mayor en la planta elite que se encontraba aislada y sin competencia (cuadro 4). Para la estimación de la producción se pesaron sólo semillas con un diámetro mayor de 6 mm, tamaño apto para la extracción de aceite.

Según las conversiones establecidas por los autores, para el cálculo de materia seca de las semillas a biodiesel, la producción se incrementó de 2 L ha<sup>-1</sup> en el control a 223 L ha<sup>-1</sup> con la fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio en T3 (cuadro 4). La planta elite alcanzó un rendimiento de biodiesel equivalente a 445 L ha<sup>-1</sup>. Las plantas silvestres, sin fertilización y suplementadas sólo con nitrógeno, no produjeron semillas útiles para la producción de aceite.

*Experimento de fertilización en invernadero.* Los niveles de nutrientes medidos en el suelo utilizado para este ensayo y proveniente de Yerba Loca, fueron 14 mg kg<sup>-1</sup> de nitrógeno, 21 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo, 263 mg kg<sup>-1</sup> de potasio y pH 6,1, coincidentes con los valores reportados por CONAF (2001).

La fertilización nitrogenada afectó el peso seco de *G. trinervis* en macetas, en los componentes tallos y hojas, sin ser significativo a nivel de raíces que se desarrollaron en forma normal (figura 1E). En la figura 2 se visualiza que

**Cuadro 4.** Peso promedio de materia seca (MS) de semillas convertido en biodiesel (L ha<sup>-1</sup>) por tratamiento, en plantas silvestres de *G. trinervis*.

Average dry matter of seeds (g m<sup>-2</sup>) converted into biodiesel (L ha<sup>-1</sup>) per treatment in wild *G. trinervis*.

Tratamiento	MS* g m <sup>2</sup>	Biodiesel** L ha <sup>-1</sup>
T0	0,19 c***	2,6 c
T1	0,22 c	2,9 c
T2	5,53 c	74,7 c
T3	16,57 b	223,0 b
Planta elite sin fertilizante	32,94 a	445,0 a

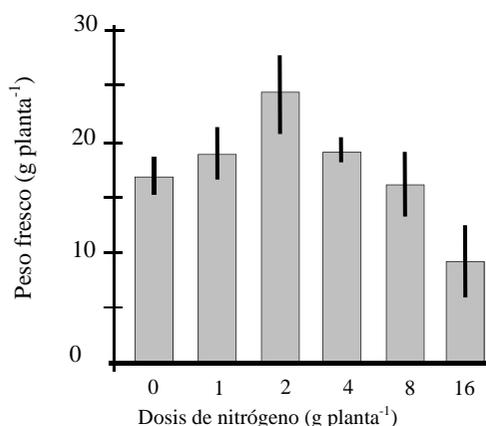
\* Los valores de MS corresponden al promedio de 10 mediciones efectuadas en cada tratamiento y calculado en base al 59% del peso fresco de la semilla.

\*\* Fórmula de conversión: g m<sup>-2</sup> semilla x 27 % rendimiento aceite x 50 % cobertura suelo x 100 = L ha<sup>-1</sup> biodiesel

\*\*\* Letras diferentes indican diferencias estadísticas ( $P < 0,5$ ), Tukey.

el efecto del nitrógeno en dosis 1 g planta<sup>-1</sup> elevó la producción de hojas con respecto al control, pero al ir aumentando la fertilización nitrogenada, la biomasa de la parte aérea decreció. La disminución de la biomasa fue significativa en el tratamiento que recibió más nitrógeno. Los valores del cuadro 5 indican que la mayor cantidad de materia seca se generó con 1 a 2 g planta<sup>-1</sup> de nitrógeno, para producir hojas y tallos respectivamente. Con 16 g planta<sup>-1</sup> de nitrógeno ocurrió un efecto perjudicial en la acumulación de biomasa de hojas y tallos, sin embargo ningún tratamiento con nitrógeno afectó el desarrollo radicular. Dosis mayores a 4 g de nitrógeno por maceta redujeron la biomasa considerando la planta completa.

En el cuadro 6 se muestra que la concentración de nitrógeno en hojas y raíces no varió con dosis incrementales de nitrógeno, en cambio en los tallos se produjo una mayor concentración con cantidades superiores a 8 g planta<sup>-1</sup>. En el caso del fósforo y potasio en los distintos tejidos, al aumentar la dosis de nitrógeno, la mayor concentración siempre estuvo en el tratamiento control, sin ser tan claro



**Figura 2.** Producción de materia fresca de hojas y tallos (g planta<sup>-1</sup>) de *G. trinervis* en maceta, en respuesta a dosis crecientes de nitrógeno.

Fresh matter production of leaves and shoots (g plant<sup>-1</sup>) of *G. trinervis* in pots, as a response to increasing doses of nitrogen (g plant<sup>-1</sup>).

**Cuadro 5.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la producción de materia seca promedio (g) de hojas, tallos y raíces, por planta en cada tratamiento de *G. trinervis* en maceta.

Influence of nitrogen fertilization on average production of dry matter (g) of leaves, stems and roots, per plant per treatment in potted *G. trinervis*.\*

Dosis de nitrógeno (g planta <sup>-1</sup> )	Hojas (g planta <sup>-1</sup> )	Tallos (g planta <sup>-1</sup> )	Raíces (g planta <sup>-1</sup> )
0	2,32 ab	3,70 ab	3,00 a
1	3,84 a	3,72 ab	4,52 a
2	3,78 a	6,29 a	4,46 a
4	3,20 ab	5,08 ab	3,54 a
8	2,62 ab	4,04 ab	3,52 a
16	1,48 b	3,36 b	2,54 a

Letras diferentes indican diferencias estadísticas ( $P < 0,5$ ), Tukey.

el resultado en los tallos, sin embargo, en hojas y raíces la concentración de fósforo y potasio disminuyó, con la mayor dosis de nitrógeno.

La demanda de nitrógeno (cuadro 7) aumentó hasta la dosis de 2 g de nitrógeno por planta en el tejido de las hojas, lo que no se presentó en los tallos y raíces, donde no hubo diferencia estadística. Dosis superiores de 2 g de nitrógeno por planta disminuyeron la demanda de fósforo y potasio en todos los tejidos.

En el caso de la biomasa total y la fijación de carbono (cuadro 8), es decir, considerando todos los componentes de la biomasa de las plantas de *G. trinervis* en macetas, se presentó un comportamiento similar y coherente con la demanda de nitrógeno, fósforo y potasio (cuadro 7). El aumento en la fertilización nitrogenada provocó un aumento en la absorción hasta la cantidad de 2 g planta<sup>-1</sup>. Con dosis superiores de nitrógeno se produjo una menor absorción,

producto del deterioro provocado por la toxicidad de nitrógeno en las plantas. Esto se visualiza en los menores valores de biomasa y fijación de carbono con las dosis mayores de fertilización nitrogenada (cuadro 8).

## DISCUSIÓN

La concentración de nutrientes de una planta depende de su capacidad de absorción, de la disponibilidad de agua y de su capacidad para producir biomasa. En el ensayo el mayor rendimiento de materia seca de semillas fue superior en el tratamiento con nitrógeno, fósforo y potasio (T3) lo que apunta a la efectividad de la fertilización. El reducido crecimiento vegetativo que exhibió el tratamiento con fertilización completa y de la planta elite en su entorno natural se explica por un mayor requerimiento y un gasto de nutrientes destinado a una mayor producción de semillas, disminuyendo su concentración en los otros tejidos. Es necesario considerar que la planta elite se encontraba aislada y libre de competencia intra e interespecifica por lo que su comportamiento no es comparable con el de las plantas de las parcelas experimentales donde compitieron por nutrientes y agua. La planta elite no se encontraba en consumo de lujo, ni con toxicidad. Según Havlin *et al.* (2005), el efecto perjudicial del nitrógeno puede ocurrir con dosis altas.

La hipótesis que manejan los autores para explicar el crecimiento mayor de brotes en el tratamiento control (T0) es que en plantas no domesticadas en condiciones de estrés, cuando hay menos nutrientes disponibles, el crecimiento vegetativo es mayor en busca de fotosintatos para acumular reservas y fructificar en la temporada siguiente.

En este caso la planta elite, en una mayor demanda por generar semillas, estaría usando el nitrógeno en los distintos tejidos sin manifestar excesos. En el caso contrario, una planta sometida a un exceso de disponibilidad de nitrógeno puede presentar como resultado, una escasa producción de frutos, menor inducción de yemas florales, e incluso muerte de yemas, hojas o brotes (Razeto 1991).

Plantas con mayor fructificación y producción de frutos pueden presentar concentraciones de nutrientes menores en las hojas, por un efecto de mayor absorción y translocación hacia los frutos. Contenidos más altos de nutrientes en las hojas también pueden ser atribuidos a una menor acumulación de materia seca (Baligar *et al.* 1990). En un estudio con la planta oleaginosa *C. tinctorius*, Abbadi y Gerendas (2008), encontraron concentraciones de 0,8 % de nitrógeno en hojas con fertilizaciones bajas de nitrógeno y de 2 % con fertilizaciones altas. Para maravilla, en cambio, reportan un rango de 0,7 a 1,1 % de nitrógeno en hojas, indicando que esta especie es capaz de acumular menos nitrógeno que el cultivo de *C. tinctorius*.

Vose (1987) clasifica los cultivos en “acumuladores y “no acumuladores” de nutrientes. Según esta clasificación *G. trinervis*, que presenta un rango de 2,18 a 2,92 % de nitrógeno en hojas, se comporta en forma similar a *C. tinctorius*, por lo que puede situarse en la categoría de especie

**Cuadro 6.** Concentración de nitrógeno, fósforo y potasio (%) en hojas, tallos y raíces de *G. trinervis* en maceta según fertilización nitrogenada.

Phosphorous, nitrogen and potassium percentage in leaves, stems and roots in potted *G. trinervis* plants as a response to increasing nitrogen doses (g plant<sup>-1</sup>).

Órganos	Dosis de nitrógeno (g planta <sup>-1</sup> )					
	0	1	2	4	8	16
<b>Nitrógeno</b>						
Hojas	2,18 a	2,51 a	2,74 a	2,90 a	2,92 a	2,25 a
Tallos	1,05 b	1,07 b	1,04 b	1,24 b	1,51 a	1,98 a
Raíces	1,14 a	1,34 a	1,38 a	1,44 a	1,61 a	1,36 a
<b>Fósforo</b>						
Hojas	0,226 a	0,154 b	0,170 ab	0,156 b	0,118 b	0,122 b
Tallos	0,220 a	0,166 ab	0,180 ab	0,164 ab	0,112 b	0,164 ab
Raíces	0,254 a	0,198 ab	0,190 ab	0,148 b	0,098 b	0,090 b
<b>Potasio</b>						
Hojas	1,48 a	1,06 ab	1,04 ab	1,08 ab	1,03 ab	0,72 b
Tallos	1,11 a	1,05 ab	1,03 ab	0,90 ab	0,81 ab	0,78 a
Raíces	1,03 a	0,82 ab	0,75 ab	0,72 ab	0,64 b	0,33 b

El promedio se constituye de 5 plantas por tratamiento. Letras diferentes en las filas, indican diferencias estadísticas ( $P < 0,5$ ), Tukey.

**Cuadro 7.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la demanda (g planta<sup>-1</sup>) de nitrógeno, fósforo y potasio en hojas, tallos y raíces de plantas de *G. trinervis* en maceta.

Effect of nitrogen fertilization on the demand (g plant<sup>-1</sup>) of phosphorous, nitrogen and potassium in leaves, stems and roots in potted *G. trinervis* plants.

Órganos	Dosis de nitrógeno (g planta <sup>-1</sup> )					
	0	1	2	4	8	16
<b>Nitrógeno</b>						
Hojas	0,050 ab	0,01 ab	0,110 a	0,090 ab	0,070 ab	0,040 b
Tallos	0,040 a	0,04 a	0,064 a	0,063 a	0,055 a	0,063 a
Raíces	0,033 a	0,62 a	0,062 a	0,049 a	0,05 a	0,037 a
<b>Fósforo</b>						
Hojas	0,005 a	0,006 a	0,006 a	0,005 ab	0,003 ab	0,002 b
Tallos	0,008 ab	0,006 ab	0,011 a	0,008 ab	0,005 b	0,005 b
Raíces	0,007 ab	0,008 a	0,009 a	0,005 ab	0,004 ab	0,002 b
<b>Potasio</b>						
Hojas	0,035 ab	0,041 a	0,040 a	0,034 ab	0,026 ab	0,012 b
Tallos	0,042 ab	0,039 ab	0,068 ab	0,046 ab	0,034 ab	0,027 b
Raíces	0,030 ab	0,036 a	0,053 a	0,025 ab	0,024 ab	0,010 b

Letras diferentes en las filas, indican diferencias estadísticas ( $P < 0,5$ ), Tukey.

acumuladora para la absorción y la translocación de nitrógeno. Esta característica puede ser una ventaja en condiciones menos favorables, ya que al guardar reservas en la biomasa se facilita la sobrevivencia en suelos más pobres y en situaciones de estrés.

En *C. tinctorius*, Erdal y Baydar (2005) encontraron concentraciones de fósforo de 0,3 % en hojas en estados

tempranos. En plena floración la concentración de fósforo alcanzó 0,15 % y decreció a un mínimo de 0,06 % en llenado de grano y cosecha. La disminución en la concentración en período de llenado de grano se produce porque el fósforo es móvil en la planta y durante el llenado del grano la translocación va dirigida a la semilla. En *G. trinervis* la concentración de fósforo varió entre 0,19 y 0,28 % en ho-

**Cuadro 8.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la fijación total de carbono y biomasa total producida (g planta<sup>-1</sup>) en *G. trinervis* en maceta. Effect of nitrogen fertilization on the total carbón fixation and total biomass produced (g plant<sup>-1</sup>) in potted *G. trinervis* plants.

Dosis de nitrógeno (g planta <sup>-1</sup> )	Fijación total de carbono (g planta <sup>-1</sup> )	Biomasa total (g planta <sup>-1</sup> )
0	4,32 b	9,02 b
1	5,83 ab	12,08 ab
2	7,06 a	14,53 a
4	5,71 ab	11,82 ab
8	4,85 ab	10,18 ab
16	3,56 b	7,38 b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas ( $P < 0,5$ ), Tukey.

jas recientemente maduras, encontrándose en el rango que presentó el *C. tinctorius* en hojas en estados tempranos. Al igual que en *C. tinctorius*, en *G. trinervis* se disminuye la concentración de fósforo en las hojas, durante la formación de la semilla. Respecto del experimento, cuando se aplicó fósforo a estas plantas, aumentó su concentración total en forma significativa. Los tratamientos suplementados con fósforo presentaron un mayor contenido en las hojas, que en las plantas sin fertilización. Esto sugiere que la absorción de este elemento fue más eficiente a partir del fertilizante químico que del suelo, aun cuando el contenido de fósforo en el suelo, de acuerdo a análisis de suelo, era suficiente. El fósforo no es un elemento móvil en el suelo y la absorción de este nutriente no depende tan sólo de la disponibilidad del elemento en la solución del suelo, sino que de la densidad radical del cultivo (Rodríguez *et al.* 2001). De este modo, la planta elite al estar libre de competencia pudo haber desarrollado mejor su masa radicular y fructificar más.

En *G. trinervis* el contenido de potasio en hojas fluctuó entre 0,9 y 1,4 %. Coincidentemente para *C. tinctorius*, Erdal y Baydar (2005) reportaron concentraciones de potasio en hoja de 0,9 y 2 % en plena floración. En el caso de la planta elite la concentración de potasio en hojas fue de 0,9 %, siendo significativamente menor que en las plantas fertilizadas en el mismo sitio. Su productividad sin embargo fue mayor. La concentración de potasio de la planta elite estuvo dentro del rango del *C. tinctorius*, lo que sugiere que esa concentración fue suficiente para la planta y la fertilización con potasio, representó sólo un consumo de lujo o excesivo.

En las plantas silvestres se observó que los brotes con frutos provenían de ramas con madera de la temporada anterior. Ningún brote nuevo con crecimiento del año presentó frutos, sugiriendo que la acumulación de reservas determinó la floración y la fructificación. La planta elite, sin fertilizar, presentó la mayor cantidad de semillas al igual que el tratamiento con nitrógeno, fósforo y potasio. En este estudio y considerando las conversiones de semilla a aceite reportada por San Martín *et al.* (2011), se obtuvieron rendimientos de 223 L ha<sup>-1</sup> en plantas fertilizadas lo que es inferior a otras oleaginosas aptas para producción de biodiesel. *Jathropa curcas* es una planta arbustiva que

produce entre 758 y 1.000 L ha<sup>-1</sup> (Kingswood 2010) de biodiesel y los rendimientos en los cultivos domesticados como maravilla y *Brassica napus* L. (canola), se sitúan por sobre los 1.000 L ha<sup>-1</sup>.

La mayor producción de biomasa vegetativa y de frutos es consecuencia de una mayor absorción de nutrientes, lo que indica que la planta elite pudo absorber y utilizar los nutrientes en forma más eficiente que el resto de las plantas del ensayo. La capacidad de absorción de nutrientes de las plantas depende de factores climáticos, edafológicos y fisiológicos, entre otros. Cuando las plantas se encuentran aglomeradas se genera competencia entre ellas. El hábitat natural de *G. trinervis* se compone de un suelo heterogéneo y con micro-sitios favorables que retienen más humedad, poseen una mayor profundidad de suelo y contenido de materia orgánica. La des-uniformidad de las plantas en estado silvestre también puede originarse por el modo de reproducción de la planta, que se efectúa tanto por semillas como por brotes subterráneos. Factores abióticos, ausencia de competencia intraespecífica o la condición genética, podrían explicar la mayor producción de la planta elite.

Al estudiar la demanda o absorción de nitrógeno, fósforo y potasio y considerando todos los componentes de la biomasa de las plantas de *G. trinervis* en macetas se observa que las demandas más altas, el carbono fijado y la mayor biomasa por planta, se producen en la dosis de 2 g planta<sup>-1</sup> de nitrógeno. El aumento excesivo de nitrógeno pudo haber afectado las hojas produciendo necrosis lo que incidiría en la fotosíntesis y con ello en la fijación del carbono. En este caso la mayor fijación de carbono se generó en tallos, con 2 g planta<sup>-1</sup> de nitrógeno coincidiendo con un mayor contenido de materia seca. Al seguir incrementando el nitrógeno, se produce una disminución de la absorción, acusando un efecto de toxicidad que puede llegar a causar necrosis en hojas, desórdenes nutricionales y en casos más extremos la muerte de las plantas. La curva de respuesta a la fertilización nitrogenada está descrita por Havlin *et al.* (2005), donde las primeras dosis aumentan el crecimiento o rendimiento de las plantas hasta un umbral crítico y dosis superiores estimulan un consumo de lujo y finalmente toxicidad y deterioro en la producción de biomasa.

En estudios con lechugas en condiciones controladas, Hoquer *et al.* (2008) encontraron que con altas dosis de nitrógeno en forma  $\text{NH}_4\text{-N}$  en las soluciones de crecimiento disminuyen la altura de la planta, se reduce la producción de biomasa fresca, seca y el número de hojas. Lasa *et al.* (2001) en un estudio en espinacas mostraron que en brotes, la acumulación de nitrógeno en forma de amonio estaba estrechamente correlacionada con una reducción del crecimiento y un aumento en el contenido de nitrógeno orgánico. Estos estudios confirman los resultados de la presente investigación.

La concentración de nutrientes en distintos tejidos vegetales se ha usado como herramienta de diagnóstico y en los últimos años también se ha visto que existe un balance entre los nutrientes, el cual si se desequilibra puede generar efectos perjudiciales en las plantas. Sharma *et al.* (2005) encontraron que en *Vitis vinifera* L. (uva) existía una relación adecuada entre las concentraciones de los pecíolos nitrógeno/fósforo de 3,4 y entre nitrógeno/potasio de 0,7 en el período de diferenciación de brotes; si las dosis de nitrógeno eran mayores de los requerimientos de la planta, estas relaciones subían hasta llegar a un punto que producían efectos perjudiciales. En el caso de *G. trinervis*, a nivel de tallos las relaciones de nitrógeno/fósforo y nitrógeno/potasio, fueron alrededor de 5,9 y 1,0 en dosis que no fueron tóxicas, alcanzando 10 y 2.6, respectivamente con dosis tóxicas.

## CONCLUSIONES

La fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en el hábitat de plantas silvestres de *G. trinervis*, aumentó el rendimiento de MS de semillas y la concentración de estos nutrientes en las hojas, lo que indica que hubo absorción desde el fertilizante. No obstante, esto no se tradujo en crecimiento vegetativo significativo, e incluso la fertilización disminuyó el número de nudos de los brotes. Las plantas del tratamiento control sin fertilizar presentaron menor concentración de nutrientes, pero mayor crecimiento de brotes y nudos, lo que indica que la nutrición de nitrógeno, fósforo y potasio, no era una limitante para el crecimiento vegetativo de estas plantas. La diferencia entre tratamientos se vio reflejada en la producción de frutos y semillas y consecuentemente en la producción potencial de biodiesel que fue mayor en el tratamiento con fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio. No se presentaron diferencias entre los tratamientos en la concentración de nutrientes en las semillas.

La planta elite ubicada en el mismo hábitat natural, la cual no se fertilizó, presentó la mayor producción de semillas y rendimiento en biodiesel, sin embargo, sus concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio eran similares a las de las plantas del control sin fertilización, por lo que se deduce que su mayor rendimiento en semilla y de biodiesel fue influenciado por otros factores, diferentes de la nutrición. Al ser plantas en su hábitat silvestre se encuentra una gran heterogeneidad entre ellas, pudiendo ocurrir que la planta más productiva sea aquella que quedó en un

sitio con diferencias en la capacidad de acumular agua, disponibilidad de nutrientes y por ausencia de competencia intra-específica. Sin embargo, la conducta consistente de ésta y de otras plantas elite seleccionadas previamente por su productividad, apuntan a la existencia de una base genética para la producción de semillas. En este contexto, la identificación y el estudio de genotipos superiores es fundamental para la domesticación y el uso de *G. trinervis* como oleaginosa de segunda generación.

El experimento con *G. trinervis* en condiciones controladas, aplicando dosis crecientes de nitrógeno, mostró que la biomasa aérea aumentó hasta la dosis 2 g planta<sup>-1</sup> de nitrógeno para luego comenzar a disminuir con dosis crecientes de nitrógeno, e incluso a llegar a la muerte de plantas con las dosis máximas de nitrógeno. En el caso de las raíces su biomasa no varió con las distintas dosis de nitrógeno. En cuanto a la concentración de nutrientes, en general no varió, salvo en el caso de los tallos los cuales al recibir más nitrógeno, aumentaron significativamente su concentración. En el caso de la concentración de fósforo y potasio, con las dosis mayores de nitrógeno, disminuyó, al igual que la demanda o absorción de éstos, lo que significa que existe un menor crecimiento o existe un deterioro en las plantas sometidas a altas dosis de nitrógeno, que impiden una nutrición adecuada de fósforo y potasio.

Para determinar con mayor exactitud la dosis óptima para la fertilización nitrogenada debiera realizarse un experimento con cantidades entre 1 y 4 g de nitrógeno por maceta, utilizando plantas que además tengan semillas entre los componentes de la biomasa. Con este estudio se sientan las bases para dilucidar la respuesta de *G. trinervis* a la fertilización. Nuevos ensayos con plantas en terreno, debieran considerar el estudio de plantaciones como también determinar la adaptación de la especie a altitudes inferiores.

## REFERENCIAS

- Abbadí J, J Gerendas. 2008. Nitrogen use efficiency of safflower as compared to Sunflower. *Journal Plant Nutrition* 32(6): 929-945.
- Baligar V, J Elgin, R Wricht, N Fageria. 1990. Genetic diversity for nutrient use efficiency in cultivars and exotic germplasm lines of alfalfa. In Dordrecht N ed. Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers. p. 533-538.
- Bonomelli C, D Suárez. 1999. Fertilización del eucalipto. 2. Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio. *Ciencia e Investigación Agraria* 26: 11-19.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2001. Plan de Manejo Santuario de la Naturaleza Yerba Loca. Santiago, Chile. CONAF. 85 p.
- Erdal I, H Baydar. 2005. Deviations of some nutrient concentrations in different parts of safflower cultivars during growth stages. *Pakistan Journal of Botany* 37(3): 601-611.
- Havlin J, J Beaton, W Nelson. 2005. Soil fertility and fertilizers: an introduction to Nutri Fertigation, combined irrigation and fertilization, provides an alternative and more efficient method of fertilizer application. The Netherlands. Kluwer

- Academic Publishers. 515 p.
- Hoffman A, M Arroyo, F Liberona, M Muñoz, Watson. 1998. Plantas Altoandinas. Santiago, Chile. Fundación Claudio Gay. 280 p.
- Hoquer M, H Ajwa, R Smith. 2008. Nitrite ammonium toxicity on Lettuce grown under hydroponics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 207-216.
- Jordán M, D Prehn, M Gebauer, J Neumann, GM Parada, J Ve-lozo, R San Martín. 2010. Adventitious root initiation in adult and juvenile cuttings of *Guindilia trinervis*, an endemic plant of Chile suitable for biodiesel production. *Bosque* 31(3): 195-201.
- Kingswood A. 2010. Estudio exploratorio de la producción de biodiesel a partir de aceite de *Jathropa curcas* en Chile. Memoria para optar al título de ingeniero Civil Industrial. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 83 p.
- Lasa S, C Frechilla, Lamsfus, P Aparicio-Tejo. 2001. The sensitivity to ammonium nutrition is related to nitrogen accumulation. *Scientia Horticulturae* 91: 143-152.
- Li D, H Mundell. 1997. Safflower. *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 7. Roma, Italia. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute. 83 p.
- Muñoz M, A Moreira-Muñoz, C Villagrán, F Luebert. 2000. Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile Central. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural Chile* 49: 9-50.
- Nasr HG, N Katkuda, L Tannir. 1978. Effect of N fertilization, population rate and spacing on safflower yield and other characteristics. *Agronomy Journal* 70(4): 683-685.
- Page AL, RH Miller, DR Keeney. 1982. Methods of Soil Analysis. 2nd ed. Madison, WI, USA. American Society of Agronomy. 1142 p.
- Paneque M, C Román-Figueroa R Vásquez-Panizza, J M Arriaza, Darío y M Zulantay. 2011. Bioenergía en Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 124 p.
- Razeto B. 1991. La nutrición mineral de los frutales. Deficiencias y excesos. Santiago, Chile. Soquimich. 105 p.
- Regairaz MC, JA Ferrer. 1993. "Suelos: Factores y Procesos de formación" en XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Geología y Recursos Naturales de Mendoza, Mendoza. Ramos VA ed. p. 633-642.
- Rodríguez J, D Pinochet, F Matus. 2001 Fertilización de los Cultivos. Santiago, Chile. LOM Ediciones. 117 p.
- San Martín R, T de la Cerda, M Jordán, D Prehn, M Gebauer, E Vidal. 2011. Laboratory production of biodiesel from guindilla plants (*Guindilia trinervis* Gillies ex Hook. et Arn.). *Fuel* 89: 3785-3790.
- Seigler DS, M Cortes, JM Aguilera. 1987. Chemical components of guindilla seeds (*Valenzuela trinervis*) *Biochemical Systematics and Ecology* 15(71): 71-73.
- Sharma J, S Shikhamany, R Singh, H Raghupathi. 2005. Diagnosis of nutrient imbalance in Thompson Seedless grape grafted on Dog Ridge rootstock by DRIS. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 36: 2823-2838.
- Soleimani R. 2010. Variability of grain and oil yield in spring safflower as affected by nitrogen application. *Journal of Plant Nutrition* 33: 1744-1750.
- Steer BT, EKS Harrigan. 1986. Rates of nitrogen supply during different development stages affect yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Field Crops Research* 14: 221-231.
- Teklic T, V Vukadinovic, Z Lonc, Z Rengel, D Dropulic. 2002. Model for optimizing fertilization of sugar beet, wheat, and maize grown on Pseudogley soils. *Journal Plant Nutrition* 25: 1863-1879.
- Vose PB. 1987. Genetical aspects of mineral nutrition-Progress to date. In Gabelman HW, BC Loughman eds. Genetical aspects of mineral nutrition-progress to date. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers. p. 3-13.

Recibido: 26.06.12  
Aceptado: 24.06.13