

Artículo original

La maleza *Nicotiana glauca* (Graham) como cultivo energético en sectores áridos y semiáridos de Argentina

SILVIA FALASCA¹ y ANA ULBERICH²

¹Instituto Clima y Agua. INTA. Las Cabañas y Los Reseros S/N. Castelar. Provincia de Buenos Aires. Argentina. Programa de Estudios sobre el Medio ambiente y la Producción Agropecuaria (PREMAPA). CINEA. FCH. UNICEN.

² Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales. CINEA. Facultad Ciencias Humanas. UNICEN. Pinto 399. 7000. Tandil, Provincia de Buenos Aires.

*Autor por correspondencia. E-mail: sfalasca@conicet.gov.ar, sfalasca@gmail.com

Recibido: 7 de Enero 2011

Aceptado: 11 de Diciembre 2011

RESUMEN

El “palán-palán” (*Nicotiana glauca*) es una especie arbustiva nativa de Sudamérica. Está aclimatada a climas áridos y semiáridos y a las condiciones de déficit de agua y altas temperaturas. Esta maleza se vislumbra con gran potencial como cultivo energético, como productora de bioetanol y de aceite, con propiedades insecticidas y apto para biodiesel. El objetivo del presente trabajo fue identificar las áreas aptas para su cultivo en Argentina, teniendo en cuenta las variables térmicas e hídricas que condicionan su ciclo. Con el fin de definir la aptitud agroclimática de este cultivo en Argentina, se analizaron los datos climáticos de las estaciones meteorológicas correspondientes al período 1981-2010. En base a búsqueda bibliográfica fueron definidos los límites bioclimáticos de la especie, con el fin de describir las clases de aptitud. A partir de la base de datos disponible, se asignaron los límites geográficos a las diferentes variables para definir las clases de aptitud: área muy apropiada, apropiada, marginal y no apta. Luego se obtuvo el mapa de zonificación agro-climática mediante la superposición de los mapas anteriores. Se ha demostrado en este trabajo la existencia de una amplia zona con aptitud para el cultivo de *Nicotiana glauca* en Argentina como cultivo energético bajo condiciones de clima semiárido a árido.

Palabras claves: Aptitud agroclimática, Argentina, biodiesel, bioetanol, necesidades bioclimáticas, *Nicotiana glauca*.

ABSTRACT

The “palan-palan” (*Nicotiana glauca*) is a native shrub species of South America. It is adapted to areas of arid and semiarid climates, with conditions of water deficit and high temperatures. In these conditions this weed is suspected to have a great potential as energy crop to produce bioethanol and oil, with insecticide properties and suitable to produce biodiesel. The aim of this study was to identify the suitable areas for the cultivation in Argentina considering the thermic and hydric variables which condition its cycle. In order to define this crop's agroclimatic aptitude in Argentina, it was analyzed the climatic data of the meteorological stations corresponding to the period 1981-2010. Based on bibliography, bioclimatic limits of the species were defined in order to describe fitness classes. As from the available database, geographical limits were mapped for the different variables that define aptitude classes: very suitable zone, suitable, marginal and non-suitable. The agro-climatic zone map was then obtained by overlaying the previous ones. It has been demonstrated in this paper the existence of a large area with suitability for the cultivation of *Nicotiana glauca* in Argentina as energy crop under semiarid to arid climate conditions.

Key words: Agroclimatic suitability, Argentina, biodiesel, bioethanol, bioclimatic requirements, *Nicotiana glauca*.

INTRODUCCIÓN

El alza del precio del barril de crudo y el agotamiento de las reservas petrolíferas en el mediano plazo constituyen un problema serio para la economía mundial y para el sector del transporte. Además debe resaltarse la importante contribución del transporte al calentamiento global y la necesidad de que cada país pueda asegurar su abastecimiento energético con diferentes fuentes de combustible. Por esta razón los biocombustibles están avanzando en los últimos años en el panorama internacional, por constituirse como una alternativa limpia y renovable frente a los combustibles fósiles.

El marco legal del programa de biocombustibles de Argentina se constituyó con la promulgación de la Ley Nacional 26.093 sobre “Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles” y el Decreto del Poder Ejecutivo 109/2007 que la reglamentó. A partir de la Resolución 733/2009 se dispuso, entre otras cuestiones inherentes a la actividad, cuotificar los volúmenes de bioetanol tendientes a aumentar el porcentaje de participación en su mezcla con las naftas. Se precisó que el objetivo era alcanzar un corte del 10% pero para llegar a ese volumen de corte, el incremento del porcentaje de mezcla fue llevado a cabo en forma progresiva y a medida que las empresas elaboradoras fueron poniendo dicho producto a disposición del mercado.

En 2012 Argentina se ubicaba como primer exportador y cuarto productor a nivel mundial de biodiesel de soja, con más de 2,400,000 toneladas producidas (Falasca, 2012). Sin embargo, el sector se vio perjudicado cuando la Comunidad Europea decidió aplicar un arancel del 20% al combustible producido fuera de Europa. Desde 2013 se buscó volcar al consumo interno gran parte del excedente que se destinaba a exportar a Europa y desde 2014 el corte con biodiesel al gasoil se elevó al 10%. Esta medida produjo cierto alivio a las industrias productoras de biodiesel. Argentina apunta al crecimiento en la producción de etanol y al porcentaje de corte de los

combustibles. Actualmente el consumo nacional de naftas es de 7.95 millones de metros cúbicos por año. Hay varios proyectos nuevos en marcha para producir más bioetanol a partir de caña de azúcar y de maíz. Para este año, 2014, se calcula una disponibilidad de 70,000 m³ mensuales, y para 2015 el volumen llegaría a 1,051,000 m³/año, con una mezcla de casi el 12%. Este aumento en el corte de los combustibles y hasta con 20% de bioetanol es perfectamente factible desde el punto de vista mecánico (Cámara Argentina de Biocombustibles, 2012).

Sin embargo, no debe utilizarse materias primas que puedan ser destinadas a la alimentación humana para producir bioetanol porque puede traer aparejado un aumento en el precio de los alimentos. Las materias primas para producir bioetanol deben obtenerse a partir de residuos lignocelulósicos o de cultivos energéticos destinados a tal fin (Falasca, 2102).

Los cultivos energéticos son aquellos que se realizan con el fin de obtener diferentes formas de energía. Ellos deben cumplir ciertos requisitos: alto rendimiento cercano al rendimiento potencial de cada región; alta eficiencia en el uso de la radiación en relación al ambiente; resistencia a estrés biótico y abiótico; utilizar los recursos naturales disponibles; presentar rasgos de calidad específicos para cada uso; balance energético altamente positivo y amigable con el medioambiente; bajo costo unitario de producción; posibilidad de ocupación de tierras de baja productividad (para no competir con el mercado alimentario) y fácil mecanización (Falasca & Ulberich, 2011).

Nicotiana glauca cumple con todos los requisitos que debe reunir un cultivo energético; es una especie perfectamente adaptada a condiciones de extrema escasez hídrica, y al mismo tiempo, posee una biomasa lignocelulósica de gran interés energético debido al proceso de fermentación de su materia orgánica y de sus semillas se puede extraer aceite para elaborar biodiesel.

La composición de la biomasa del *Nicotiana glauca* hace fácil la conversión a bioetanol, y podría rendir potencialmente tanto bioetanol por hectárea como la caña de azúcar o la remolacha, con la ventaja que puede crecer en un rango más amplio de ambientes (Drake, 2001). Existen varios proyectos en España que aspiran a obtener biocombustibles a partir de esta especie.

Nicotiana glauca Graham es un arbusto de la familia de las Solanáceas y nativo de Sudamérica, específicamente del sur de Bolivia y noroeste de Argentina (Grin, 2000). La especie muestra una considerable variación inter-poblacional en la forma de las hojas, y en el color y tamaño de las flores. Se ha naturalizado en otras provincias de Argentina y en Brasil, Chile, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela, El Salvador, Antillas, México, Estados Unidos de América, Hawái, Nueva Caledonia, Australia, África, Grecia, Palestina, India (Flora Vascular Argentina, s/f) y España (Curt & Fernández, 1990).

El género *Nicotiana* comprende más de 40 especies, entre ellas el tabaco (*N. tabacum*). La especie *N. glauca* se conoce con diferentes nombres comunes como: palán-palán, gandul, árbol del tabaco, tabaco mexicano, jatun sairi (Quechua), khonta sairi (Aymará), huaaca lamanaxanaxa (toba), etc. El epíteto específico *glauca* hace referencia a la coloración blanco-azulada de sus hojas y tallos.

Nicotiana glauca figura en la lista de malezas en Argentina, Chile y Uruguay (Marzocca, 1986). La especie fue reconocida en las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Córdoba, Corrientes, Entre Ríos, Formosa, Jujuy, La Rioja, Mendoza, Salta, San Luis, Santa Fe, Santiago

del Estero y Tucumán y en la Capital Federal (Cabrera, 1965; Cabrera, 1977; Cabrera, 1979; Cabrera, 1983; SIB, 2010; Flora Vascular Argentina, s/f).

Desde 2006 en Argentina se vienen llevando cabo trabajos de zonificación agroclimática de cultivos energéticos no tradicionales (; Falasca *et al.*, 2010; Falasca & Ulberich, 2011; Falasca, 2012; Falasca *et al.*, 2012a y 2012b; Falasca *et al.*, 2013; Falasca *et al.*, 2014 a y 2104 b) para obtención de biodiesel, bioetanol y biomasa.

Usos de *Nicotiana glauca*

El *palán - palán* se comporta como pionera en ecosistemas perturbados y se considera una especie modelo para llevar a cabo estudios de fitorremediación, por su capacidad de resistir elevadas concentraciones de plomo, zinc, cadmio y cobalto (Pérez, 2008).

En varios países, incluso en Argentina se la cultiva como ornamental (Gentry & D'Arcy, 1986) y se encuentran fácilmente semillas para la venta por Internet.

El *palán-palán* es una especie muy utilizada desde hace años en medicina tradicional y por los indígenas Wichi, que habitan en las provincias de Chaco, Salta y Formosa. Los Wichi vienen utilizando esta especie como antiirreumático, antiartrítico, en la curación de llagas, lastimaduras, quemaduras, maduración de forúnculos y abscesos. También usan las hojas como cicatrizante para curar mordeduras de víboras o heridas cortantes. Las hojas frescas se utilizan para las paperas (Lahitte & Hurrell, 1998), se aplican de forma externa como anti-inflamatorio y antiirreumático (Moerman, 1998) y hervidas sirven para tratar el acné y para calmar el dolor de muelas.

La biomasa del *palán-palán* está compuesta por: 20-28% de azúcares (sacarosa y levulosa, principalmente); 8-14% de almidón, 30-45% de celulosa, 1.5-2.0% de lignina y 20% de proteínas. Como cultivo energético aporta 3.9 t MS/ha (toneladas de materia seca por hectárea) y 900 kg de carbohidratos fermentables y como cultivo lignocelulósico el rendimiento va de 5 a 15 t MS/ha, dependiendo de las condiciones de humedad (Curt & Fernández, 1990). Fernández (2008) señala producciones de 8.7 t MS/ha y 0.87 m³/ha de bioetanol.

Es una especie con rápido crecimiento y alta producción de biomasa, que posee además un alto contenido de alcaloides que ejercen acción repelente contra herbívoros. Toda la planta contiene nicotina, la cual ha sido extraída y usada como insecticida (Uphof, 1959; Usher, 1974). Ocasionalmente, acumula nicotina como mecanismo de defensa contra herbívoros (Saitoh *et al.* 1985 in Baldwin & Callahan, 1993).

Desde 1690 se ha utilizado extractos acuosos de hojas de *palán-palán* contra insectos masticadores y chupadores de las plantas comestibles. Sin embargo, recién en 1828 se aisló la nicotina y en 1904 Pictet & Rotschy, consiguieron su síntesis (Ware, 1980). Este alcaloide presenta una gran toxicidad para los insectos, ya que actúa como veneno cardíaco y neurotrópico a la vez. Es un excelente insecticida por inhalación, pero su estabilización en forma de sales, lo transforma en un insecticida por ingestión más activo que el alcaloide aislado (Dajoz, 1969). *Nicotiana glauca* es venenosa para el ganado, siendo las hojas y las ramas jóvenes las partes más tóxicas (Parker 1972; Panter *et al.*, 1992). La nicotina al ser mimética de la acetilcolina, se une a los receptores post-sinápticos y provoca primero una estimulación que va seguida de una depresión de los ganglios del sistema vegetativo, de las terminaciones de los

nervios motores en los músculos estriados y del sistema nervioso central. La muerte se produce por parálisis de los músculos respiratorios, siendo la dosis mortal para el hombre por vía oral de 50 a 60 mg (Lauwerys, 1990). Actualmente se lo emplea en preparaciones complejas, bajo la forma de sulfato, en solución alcalina o con jabones, como fumigante o en aerosol de contacto en invernáculos (Weinzerl, 1998).

Contiene anabasina, isómero de la nicotina, que es el alcaloide que se encuentra en mayor proporción en las hojas, muy estudiado en tratamientos de tabaquismo, muy tóxico para herbívoros y humanos (Parker, 1972; Baldwin & Callahan, 1993).

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar las potenciales áreas de cultivo de *Nicotiana glauca* en el territorio de Argentina, como cultivo energético, ya sea para producción de biomasa o de aceite industrial, extraído a partir de la cosecha de sus semillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio es la República Argentina. Por el norte, el país limita con el Estado Plurinacional de Bolivia y la República del Paraguay; al sur con la República de Chile y el océano Atlántico; al este con la República Federativa del Brasil, República Oriental del Uruguay y el océano Atlántico y al oeste con la República de Chile (Figura 1).

El país presenta un gran desarrollo latitudinal desde los 21°46'S en el norte (correspondiente a la confluencia de los ríos Grande de San Juan y Mojinete) hasta los 55°58'S en Cabo de Hornos, en el Sur. El límite extremo este es 53°38'W, coincidente con la localidad de Bernardo de Irigoyen.

Según Land Degradation Assessment in Drylands (LADA s/f) el 75% del territorio argentino presenta condiciones áridas y semiáridas.

La distribución de las precipitaciones anuales, en cualquier lugar geográfico, es el resultado de la interacción de los diferentes factores del clima (latitud, relieve, naturaleza de la superficie y grado de continentalidad) que actúan sobre los elementos del clima (temperatura, presión, vientos y humedad atmosférica).

La diagonal árida argentina, enmarcada por la isohieta de 300 mm, cruza desde el noroeste montañoso del país hasta la costa atlántica. Dicha isohieta denota el debilitamiento de la influencia hídrica de los vientos provenientes del anticiclón Atlántico en la zona nororiental del país y de los provenientes del anticiclón Pacífico en la zona occidental y austral. El recorrido de la isohieta de 300 mm es el siguiente, comenzando por el norte del país: cruza la frontera con Bolivia al oeste de la ciudad de La Quiaca, pasa por las sierras pampeanas y los llanos de La Rioja, acompaña el valle Calchaquí, desvía hacia el sur, pasa por la confluencia del Curacó con el río Colorado y termina con la desembocadura del río Negro en el océano Atlántico (Falasca & Bernabé, 2009).

La isohieta de 700 mm es el límite entre las zonas húmedas y subhúmedo-húmedas, desarrollándose hacia el oeste del país, las zonas subhúmedo-secas, semiáridas y áridas, a medida que decrece el gradiente de humedad aportado por las precipitaciones provenientes del Anticiclón del Atlántico sur.

Se consideran zonas semiáridas aquellas en que las precipitaciones anuales varían de 250 a 350

mm, mientras que las subhúmedo-secas reciben 350 a 700 mm. Los ambientes áridos reciben menos de 250 mm anuales, la vegetación es escasa y al ser muy ventosos, las tormentas de polvo son muy frecuentes por la prevalencia de los vientos del oeste durante todo el año. El mayor impacto negativo se verifica a través de la erosión eólica en suelos con reducido contenido de materia orgánica y fertilidad baja. La amplitud térmica diaria caracteriza a estas regiones.

La Patagonia muestra condiciones de aridez semejantes a la zona del noroeste montañoso, porque a esa latitud los vientos del oeste llegan desecados en su paso por la cordillera de los Andes (efecto Foehn), mientras que los vientos del Atlántico, como soplan desde latitudes subtropicales hacia el área templada, son vientos que llegan desde el noroeste y que no alcanzan la costa patagónica.

Características de la especie

Se trata de un arbusto poco ramificado de 1.5 a 6 m de alto. Cuando se corta el tallo, la especie demuestra elevada capacidad de rebrote y en los tallos verdes procedentes de los rebrotes hay abundante cantidad de azúcar, utilizable para obtener bioetanol.

La inflorescencia es una panícula corta. Las flores poseen la corola de color amarillo en forma de trompeta. El *palán-palán* florece en primavera y verano. Comienza la floración a partir del año de su germinación y una planta adulta puede producir entre 10,000 y 1 millón de semillas (Florentine *et al.*, 2006). En la Figura 2 se presenta una fotografía de *Nicotiana glauca* en plena floración.

Las semillas presentan 40% de aceite, pero la producción de semillas es baja y en consecuencia, la potencialidad para producir aceite por hectárea es reducida. El aceite contiene muy alto porcentaje de ácido linoleico (75-78%), y alto de ácidos oleico (11%) y palmítico (9%). Si bien cada planta produce 30 g de semillas, al ser sumamente pequeñas (1 gramo contiene 10,500 semillas) complica su manipulación (Giannelos *et al.*, 2002). En cultivo tradicional se utiliza una densidad de 20,000 plantas/ha (Smith, 1999) y considerando un volumen de aceite de 40%, el *palán-palán* produciría sólo 240 kg/ha. En producción de biomasa se utilizan densidades más altas, y por lo tanto, podría producirse más aceite. Sin embargo, para producir biomasa se siega antes que la especie llegue a floración.

El *palán – palán* tiene un largo período de floración (desde primavera hasta fines del verano) y por ende, un largo período de dispersión de semillas maduras, que se extiende hasta el otoño. Ello le asegura a la especie que algunas de sus numerosas semillas encuentren las condiciones necesarias para la supervivencia inicial y arraigo, y poder así soportar las difíciles condiciones de estrés en las que se habrá de desarrollar posteriormente.

Las flores pueden ser polinizadas por lepidópteros, aunque según Hurrell & Bazzano, (2003) la polinización es ornitófila. En la región Rioplatense, la diseminación de semillas se realiza por medio del viento (Hurrell & Bazzano, 2003). En Australia, la diseminación se hace a través del agua (Florentine *at al.*, 2006). Se propaga por semillas aunque puede reproducirse por vía asexual mediante estacas (Hurrell & Bazzano, 2003).

Necesidades ecológicas

El *palán-palán* es una especie tolerante a la sequía pero muy sensible al exceso de humedad edáfica. Es muy rústica, está adaptada a zonas de déficit hídrico, y con capacidad para colonizar tierras marginales.

Las semillas germinan con 20°C en 10 a 20 días, siendo el rango de temperaturas óptimas para la fase de germinación: 18°C a 22°C y para la fase de floración-fructificación de 20°C a 30°C, precisando un período medio libre de heladas de 90 a 120 días (Plants for a Future, 2002).

El límite de tolerancia a bajas temperaturas es de -5°C (Huxley, 1992). Las plantas toleran las condiciones del invierno en las partes más suaves de Gran Bretaña, actuando como perennes herbáceos en tales condiciones (Huxley, 1992). La especie necesita más de 14 horas de luz por día para inducirse a floración (Buchanan, 1987).

Esta especie está aclimatada a áreas con climas cálidos áridos y semiáridos, y a las condiciones de déficit de agua y altas temperaturas. Para entender el potencial de *N. glauca* y su respuesta a la irrigación, Curt & Fernández (1990) comprobaron que en tierras marginales bajo condiciones de clima árido con 200 mm anuales de precipitación, concentradas principalmente durante los meses de invierno, y temperaturas sobre 40°C durante los meses de verano, la producción de biomasa no aumentó significativamente cuando las plantas recibieron de 400 mm a 600 mm, ni con entrega de agua durante todo el año. Los mismos autores verificaron que las altas temperaturas no deprimieron el crecimiento del *palán-palán*.

En el Cuadro 1 se muestran los datos de rendimiento de biomasa y bioetanol de *Nicotiana glauca* en un ensayo realizado por Curt & Fernández (1990) en España, con 200 mm de precipitación anual con el aporte de 40 mm de riego complementario.

En la Figura 3 se muestra un cultivo de *palán-palán* en Lorca, Murcia, España (Robledo & Correal, 2013).

El *palán-palán* parece preferir sitios que resultan extraños e incluso en el caso de terrenos baldíos, es más fácil encontrarlo creciendo sobre las paredes que en las pilas de escombros o en la tierra. También se ha visto creciendo entre las baldosas de las veredas, entre los adoquines y el cordón de veredas en calles empedradas, cuando a escasa distancia existen canteros de tierra (Carrere, 2007).

Zonificación agroclimática

La zonificación agroclimática consistió en dividir un territorio en diferentes unidades, cada una de las cuales tiene una combinación única de elementos climáticos, lo que le confiere una gama específica acerca de los potenciales y limitaciones del uso de la tierra. Para ello, se buscó extrapolar los índices bioclimáticos que permitieran zonificar la potencial área de cultivo en Argentina como especie energética.

Para la obtención de los mapas se utilizó una serie de variables bioclimáticas previamente interpoladas, y posteriormente procesadas con la herramienta del Sistema de Información Geográfica (SIG) del programa Arc - GIS 9.3. Las interpolaciones climáticas se realizaron aplicando la herramienta "Interpolate to Raster" dentro de la extensión "3D Analyst" del programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) Arc GIS 9.3, con el método de interpolación Ordinary Kriging.

Las variables climáticas utilizadas fueron cuatro: período medio libre de heladas, temperatura mínima anual media, precipitación media anual y temperatura media de verano, las que fueron obtenidas a partir de la base de datos del Instituto de Clima y Agua para las 125 estaciones meteorológicas, durante el período 1980-2010 y que abarcan toda la República Argentina (datos no publicar).

Como la especie precisa un período libre de heladas de 90 a 120 días para garantizar su ciclo de vida anual, se consideró el período libre de heladas > 120 días. Sin embargo, no se incluyó este mapa ya que en todo el territorio nacional (incluso en el sector patagónico), existe en promedio un mínimo de 120 días libres de heladas (Murphy, 2008).

Luego se hizo el análisis del factor hídrico. Cuando las precipitaciones anuales resultaron inferiores a 100 mm, se decidió calificar al área como no apta; en el rango de 100 a 200 mm si bien el *palán-palán* puede cumplir el ciclo, el área se clasificó como marginal; de 200 a 400 mm se calificó como apropiada y de 400 a 800 mm como un área muy apropiada. Si las precipitaciones anuales superaban los 800 mm se consideró como zona marginal porque la especie no tolera encharcamientos ni exceso de agua. Tampoco se recomienda la implantación del *palán – palán*, bajo condiciones de régimen subhúmedo-húmedo a húmedo, ya que esas áreas deben destinarse a la agricultura tradicional para producir alimentos.

Para el análisis térmico se consideró la ocurrencia de una temperatura mínima anual media de -5°C, ya que se ha comprobado que es el límite térmico inferior que puede resistir la especie (Huxley, 1992). De tal forma, las áreas que registraron una temperatura mínima anual media inferior a -5°C o más bajas aún, durante el record de años considerados, calificaron como no aptas. La superposición de los mapas de precipitación media anual y temperatura mínima media anual, permitió obtener la zonificación agroclimática para el cultivo del *palán-palán* en Argentina para producir biomasa (bioetanol o biocombustibles sólidos).

A partir del geoprocésamiento de integración multivariable, utilizando el software “Raster Calculator” de la extensión “Spatial Analyst” del mismo programa se generó el mapa de aptitud agroclimática.

En el caso de la producción de semillas para obtener aceite industrial, ya sea para bioinsecticida o para biodiesel, se decidió considerar la temperatura media estival, que debe ser superior a 20°C, aclarando que el período estival abarca los meses de diciembre, enero y febrero. Con ese régimen térmico se asegura el cumplimiento del subperíodo: floración-fructificación-maduración de la especie.

Finalmente, al superponer las figuras de precipitación media anual, temperatura mínima media anual y Temperatura media de verano > 20°C, utilizando la misma herramienta del Arc-Gis 9.3, se obtuvo el mapa de aptitud agroclimática del *palán-palán* para producir aceite con fines industriales.

RESULTADOS

La Figura 4 muestra las regiones hídricas, definidas en función de la precipitación media anual. En líneas generales puede observarse que casi toda la Argentina presenta algún grado de aptitud para el cultivo de *palán-palán* desde el punto de vista hídrico. Son muy reducidas las áreas no aptas desde el punto de vista hídrico, ya que sólo se remite a un sector que cubre parte

del oeste del país, desde la provincia de Jujuy hasta San Juan.

La Figura 5 presenta la temperatura mínima anual media de -5°C , que resultó de promediar las temperaturas mínimas más bajas registradas en cada uno de los años de la serie 1980-2010, y que representa la intensidad y la distribución del rigor térmico invernal.

Teniendo en cuenta que la especie puede resistir hasta -5°C , slo se consideran áreas aptas desde el punto de vista térmico aquellas ubicadas en el sector oriental del país, que llegan hasta el sur de la provincia de Buenos Aires, todo el norte argentino hasta el centro y una muy angosta faja costera en el sector patagónico, que permite apreciar hasta dónde llega la influencia atemperadora del océano Atlántico, apareciendo la zona central de la meseta patagónica mucho más fría por efecto de la continentalidad.

La Figura 6 muestra la aptitud agroclimática para producir biomasa a partir del *palán-palán*, diferenciando áreas muy apropiadas, apropiadas, marginales e ineptas. Las áreas calificadas como muy apropiadas presentan un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media $> -5^{\circ}\text{C}$ y 400-800 mm anuales de precipitación. Cubren el norte, centro y este de la provincia de Salta; este de Jujuy; sector occidental de las provincias de Chaco y Formosa; norte, centro y oeste de Santiago del Estero; sur de Tucumán; sur de Catamarca; La Rioja; noroeste de San Luis; noroeste y centro de Córdoba y un área reducida en el sur de Buenos Aires. Las áreas apropiadas, que presentan un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media $> -5^{\circ}\text{C}$ y 200-400 mm anuales de precipitación, son dos: una de ellas se ubica en la región occidental del país, abarcando parte de las provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja, y la otra, comprende parte del sector costero patagónico, cubriendo parte de las costas de las provincias de Río Negro, Chubut y norte de Santa Cruz. El área marginal presenta un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media $> -5^{\circ}\text{C}$ y > 800 mm anuales de precipitación, mientras que las áreas no aptas registran un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media $< -5^{\circ}\text{C}$ y < 100 mm anuales de precipitación.

La Figura 7 presenta la temperatura media de verano superior a 20°C . Las áreas delimitadas por la isoterma correspondiente a la temperatura media estival superior a 20°C , muestra el requerimiento térmico necesario y satisfecho para el cumplimiento de las etapas de floración-fructificación-maduración de semillas.

La Figura 8, presenta el mapa de aptitud agroclimática para producir aceite industrial (que eventualmente podrá usarse para elaborar bioinsecticida o biodiesel).

Las diferentes clases de aptitud representadas en esta figura quedaron definidas de la siguiente manera: las áreas muy apropiadas presentan un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media $> -5^{\circ}\text{C}$, temperatura media estival $> 20^{\circ}\text{C}$ y 400-800 mm anuales de precipitación; las áreas apropiadas poseen un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media $> -5^{\circ}\text{C}$, temperatura media estival $> 20^{\circ}\text{C}$ y 200-400 mm anuales de precipitación; las áreas apropiadas con limitaciones térmicas presentan un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media $> -5^{\circ}\text{C}$, temperatura media estival $< 20^{\circ}\text{C}$ y 200-400 mm anuales de precipitación; las áreas marginales muestran un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media $> -5^{\circ}\text{C}$, temperatura media estival $> 20^{\circ}\text{C}$ y > 800 mm anuales de precipitación mientras que

las áreas no aptas registran un período medio libre de heladas > 120 días, temperatura mínima anual media < -5°C, temperatura media estival < 20°C y < 100 mm anuales de precipitación. La Figura 6 se obtuvo de la superposición de las Figuras 2, 3 y 5. Esta figura, es casi idéntica a la Figura 4 (aptitud agroclimática para producir biomasa), con la salvedad que las áreas costeras presentes sobre las provincias de Chubut y Santa Cruz, ubicadas al sur del paralelo 43°S pasaron a poseer aptitud apropiada con limitaciones por baja temperatura estival; se redujo la superficie con aptitud muy apropiada en las provincias de Salta y de Jujuy, y las clases con aptitudes muy apropiada y marginal presentes en la provincia de Buenos Aires presentaron una menor superficie con respecto a la Figura 4.

DISCUSIÓN

Las áreas destacadas de la Figura 4 con aptitud muy apropiada (que cubren el norte, centro y este de la provincia de Salta; este de Jujuy; oeste de Chaco y Formosa; norte, centro y oeste de Santiago del Estero; sur de Tucumán; sur de Catamarca; La Rioja; noroeste de San Luis; noroeste de Córdoba; noroeste y centro de Córdoba y sur de Buenos Aires), podrán destinarse al cultivo del *palán-palán*, sólo si las tierras no tienen un uso productivo más rentable como es la producción de alimentos o se trate de tierras que necesiten fitorremediación. Estas áreas clasificadas como muy apropiadas coinciden con las áreas húmedas chilenas, donde habita el *palán -palán*, cuyo período sin lluvias dura de 3 a 5 meses, con precipitaciones que alcanzan 400 a 800 mm anuales concentradas fundamentalmente durante el invierno (Chileflora, 2006).

En nuestro país, convendrá cultivar esta especie en las áreas clasificadas con aptitud apropiada, que comprenden parte de las provincias de Mendoza, San Juan, La Rioja y parte del sector costero patagónico, cubriendo parte de las costas de las provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz. Estas áreas reciben anualmente de 200 a 400 mm de lluvias, es decir que presentan condiciones semiáridas a áridas. Estas regiones son coincidentes con las áreas de secano chilenas que habita el *palán - palán*, donde el período seco sin lluvias dura de 6 a 10 meses con 100 a 300 mm anuales concentradas en invierno (Chileflora, 2006).

Consideramos que la implantación del cultivo en esas tierras ayudará a disminuir los procesos de erosión eólica y la desertización de tierras abandonadas. Por otro lado, permitirá el asentamiento de la población en áreas rurales creando empleo.

Se ha demostrado a través de la zonificación agroclimática desarrollada en este trabajo, la existencia de una gran extensión latitudinal con potencial para el cultivo del *palán -palán* con fines energéticos, desde los 22°S hasta 47°S. Esta zonificación coincide en gran parte con el mapa presentado por Ragonese & Milano (1984) donde muestran una distribución aproximada de la especie, en base al reconocimiento florístico, desde los 22°S hasta los 36°S. Casi todas las áreas que resultaron clasificadas con aptitud muy apropiada, apropiada y marginal para producción de biomasa de la Figura 4, fueron contrastadas a través de citas documentadas mediante bibliografía nacional (Cabrera, 1965, Cabrera, 1977; Cabrera, 1979; Cabrera, 1983; Zuloaga & Morrone, 1996; Arambarri *et al.*, 2008; SIB, 2010; Flora Vasculosa Argentina, s/f) en base al reconocimiento de la especie en esas provincias. Sin embargo, no hay estudios hechos en Argentina que documenten la dispersión de la especie entre los 36° y los 47°S. No

existen relevamientos de la especie en las áreas clasificadas con aptitud apropiada ubicadas en el sur de la provincia de Buenos Aires y en el sector patagónico. Ello puede obedecer a dos posibles causas: que no hubo interés sobre la especie en esas latitudes o que la especie se haya dispersado hacia el sur, con posterioridad a los relevamientos botánicos por los cambios de temperatura registrados en las últimas décadas en latitudes medias y altas, como resultado del calentamiento global. Ese incremento se observa principalmente en la frecuencia de valores extremos de la temperatura, es decir, con temperaturas mínimas cada vez más altas (IPCC, 2002). Por eso, Rusticuchi & Barrucand (2001), sostienen que el aumento de la temperatura media del verano en el sur del país está más afectada por la disminución de eventos fríos que por el aumento de eventos cálidos.

Por otro lado, el *palán - palán* ha sido introducido, tal vez de manera accidental pero exitosa, en otros países y es posible encontrarlo a mayores latitudes que las reconocidas en Argentina y en ambos hemisferios, según cita Discover Life (s/f). Prueba de ello, son los registros de la especie en 38°05'S y 72°W (Chile), en 41°S y 171°W (Nueva Zelanda), en 44.1°N y 114.7°W (Estados Unidos de América), en 58.1°N y 173.5°W (Alaska) y en 62°N y 15°E (Suecia). Estas citas confirman que el *palán-palán* podría cultivarse en las áreas clasificadas como apropiadas a latitudes mayores que donde fue reconocida la especie en Argentina.

La especie presenta una producción grande de biomasa sobre suelos pobres y climas secos. En la península ibérica *N. glauca* se ha naturalizado sobre suelos pobres, en barrancos arenosos, zanjas del camino y dunas (Curt & Fernández, 1990). Sin embargo, algunos autores (Chittendon, 1956; Huxley, 1992) argumentan que la especie prefiere suelos profundos y húmedos en una posición soleada.

Sobre el continente norteamericano se ha encontrado arbustos en diferentes sitios: bordes de carretera, áreas cultas, bancos de zanja, y alrededor de drenajes secos (Parker, 1972). En Arizona, se identificaron ejemplares desde los 30 m hasta los 914 m de altitud (Parker, 1972). Sin embargo se cita que puede encontrarse plantas de *palán - palán* hasta los 3,000 m de altura (Flora Vascular Argentina, s/f). En Argentina y Uruguay también crece sobre muros viejos, suelos removidos húmedos, entre escombros, etc (Arrillaga, 1997).

Dado que el *palán-palán* se adapta a climas cálidos semiáridos y áridos consideramos que es posible desarrollar su cultivo en Argentina con fines energéticos, como productor de biomasa o para producir aceite industrial, en zonas sin interés agrícola, con altas temperaturas en verano y suaves en invierno, y sobre suelos ubicados fuera del área de agricultura tradicional. En Chile se ha reconocido a la especie habitando áreas extremadamente áridas, donde la temporada seca dura de 8 a 12 meses con precipitaciones inferiores a 100 mm/año (Chileflora, 2006). Sin embargo, como actualmente la producción de semillas y de aceite son bajas, de no mediar una modificación genética, la producción de biodiesel no estará disponible en el corto plazo. En efecto, Fogher (2010) afirma que existen patentes internacionales que han mejorado genéticamente la especie para aumentar el contenido de aceite y el rendimiento de semillas por hectárea.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado la existencia de una gran extensión latitudinal para el potencial cultivo del *palán-palán* con fines energéticos en Argentina, desde los 22°S hasta los 47°S.

Las provincias que presentan áreas clasificadas agroclimáticamente como muy apropiadas, apropiadas y marginales, fueron documentadas mediante el reconocimiento botánico de la especie en dichas provincias, brindado por diferentes fuentes bibliográficas.

Por la rusticidad del *palán-palán*, convendrá cultivarla en las áreas clasificadas con aptitud apropiada (Mendoza, San Juan, La Rioja y parte del sector costero patagónico de las provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz). Estas áreas presentan un régimen hídrico semiárido a árido, ya que reciben anualmente de 200 a 400 mm de precipitación. Estas tierras están ubicadas fuera del área de agricultura tradicional y carecen de interés agrícola a menos que se les suministre riego artificial. Por todo lo expuesto, el *palán – palán* cumple con todos los requisitos que debe reunir un cultivo energético para ser cultivado en tierras semiáridas y áridas de Argentina.

En el corto plazo, podría implementarse el ensayo del *palán – palán* en Argentina como productor de biomasa para obtener bioetanol o biocombustible sólido. No solo hay que destacar el enorme potencial agronómico de esta especie, que produce biomasa de gran interés energético, perfectamente adaptado a condiciones de extrema escasez hídrica (Chileflora, 2006), sino también, que las posibilidades de producción de biocombustible líquido (bioetanol) en tierras no destinadas a la producción de alimentos, implican un cambio en el paradigma actual, ya que se podrán desarrollar plantas de destilación a pequeña escala que operen *in situ*, favoreciendo el desarrollo local en esas provincias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arambarri AM., S.E. Freire, M. Colares, N. Bayón, M.C. Novoa, C. Monti & S. Stenglein. 2008. Anatomía foliar de arbustos y árboles medicinales de la selva misionera de la Provincia Paranaense (Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 43 (1-2): 31-60.
- Baldwin, IT. & P. Callahan, 1993. Autotoxicity and chemical defense: nicotine accumulation and carbon gain in solanaceous plants. *Oecologia* 94 (2):534-541.
- Buchanan, R. 1987. *A weaver's garden*. Interweave Press, Loveland, Colorado. 230 pp.
- Cabrera, AL. 1965. Solanaceae. In: Cabrera, A.L. (Ed.). *Flora de la Provincia de Buenos Aires*. INTA 4(5): 190-250.
- Cabrera, AL. 1977. Flora de la provincia de Jujuy, República Argentina. Parte II. INTA. Buenos Aires.
- Cabrera, AL. 1979. Solanaceae. In: A. Burkart (Ed.). *Flora Ilustrada de Entre Ríos*. INTA 6(5): 346-452.
- Cabrera, AL 1983. Flora de la Provincia de Jujuy. Tomo XIII. Parte VIII. Colección Científica del INTA. Buenos Aires.
- Cámara Argentina de Biocombustibles. 2012. Ensayos llevados a cabo por CARBIO demuestran la viabilidad técnica de aumentar el corte de gasoil con biodiesel. Disponible en <http://www.carbio.com.ar/>[Consulta: abril 2014].
- Carrere, R. 2007. El misterioso ciudadano Palán-palán (*Nicotiana glauca*). Disponible en:

<http://www.guayubira.org.uy/.../el-misterioso-ciudadano-palan-palan-nicotiana...> [Consulta: abril 2014].

Chileflora. 2006. Disponible en:

www.chileflora.com/Florachilena/FloraSpanish/.../SH2400.htm [Consulta: abril 2014].

Curt, MD. & JM. Fernández. 1990. Production of *Nicotiana glauca* R.C. Graham aerial biomass in relation to irrigation regime. *Biomass* 23:103-115.

Chittendon, F. 1956. *RHS Dictionary of Plants plus Supplement*. Oxford University Press 1951.

Dajoz, R. 1969. *Les insecticides*. Presses universitaires de France. Paris.

Discover Life. *Nicotiana glauca - Tree Tobacco* Disponible en: <http://www.discoverlife.org/mp/20q?...Nicotiana+glauca> [Consulta: abril de 2014].

Drake, B. 2001. *Tobacco as an energy and biomass crop*. Disponible en: http://www.bioenergyupdate.com/.../Bioenergy%20Update%2012.../bioenergy_update_December_2001.htm [Consulta: diciembre de 2011].

Falasca S. L. 2012. “Cultivos energéticos para biocombustibles de 1ª y 2ª generación: aptitud agroclimática argentina”. Editorial Académica Española. España. 218 pp.

Falasca, S. & MA. Bernabé. 2009. Zonificación agroclimática de la moringa (*Moringa oleifera*) en Argentina para producir biodiesel y bioetanol. Avances en energías renovables y medio ambiente. 13. Argentina. ASADES 11.65. Disponible en:

<http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2009/2009-t011-a010.pdf> [Consulta: Abril 2014].

Falasca S.L., N. Flores, M. Lamas, S. Carballo & A. Anschau. 2010. *Crambe abyssinica*: an almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35. 5808-5812 (2010).

Falasca S.L., C. Miranda del Fresno & A. Ulberich. 2012a. Possibilities for growing queen palm (*Syagrus romanzoffiana*) in Argentina as a biodiesel producer under semi-arid climate conditions. *International Journal of Hydrogen Energy* 37:14843-14848.

Falasca, S.L., MC. Miranda del Fresno & CP. Waldman. 2014a. Developing an Agro-climatic zoning Model to determine potential growing areas for *Camelina sativa* in Argentina. Q Sciences Connect. *Bloomsbury Qatar Foundation Journals* (BQFJ). (2014) 1-11.

Falasca, S.L., C. Miranda & C. Waldman. 2014b. Halophytes: feedstocks for bioenergy in Argentina. Chapter 7. Nova Science Publishers: S. Advances en Energy Reserch. Morena J. Acosta (Ed). Book 17. NY. 2014. p 159-192.

Falasca S. & A. Ulberich. 2011. Argentina's semiarid lands aptitude to cultivate nontraditional species for biodiesel production”. In: *Biodiesel: Blends, Properties and Applications*. Editor: Jorge Mario Marchetti and Zhen Fang. Nova Science Publishers. N.Y. 2011. Chapter 5: p 123-150.

Falasca, S; A. Ulberich & E. Ulberich. 2012b. “Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L)”. *Industrial Crops and products*. 40: 185-191.

Falasca S; A. Ulberich & C. Waldman. 2013. Possibilities of Argentina to produce biokerosene for aviation under dry subhumid to arid areas. A. Méndez-Vilas (Ed.). En: *Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments*. 327-334.

Formatex Research Center. Spain.

Fernández, J. 2008. Cultivos alternativos para la producción de bioetanol. Jornada de Estudio de la Fundación Foro Agrario: El regadío y los cultivos agrarios y energéticos en España. Madrid. Disponible en: <http://www.foroagrario.com/GEN/20080205/CuAlProBi.pdf> [Consulta: abril 2014].

Flora Vascular Argentina. Disponible en: www.floraargentina.edu.ar [Consulta: abril de 2014].

Fogher, C. 2010. *Patent Application Publication N° US 2010/0058655 A1*. USA.

GRIN. 2000. *Grin Taxonomy*. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service. The Germoplasm Resources Information Network (GRIN). Disponible en: <http://www.ars-grin.gov/npgs/tax/index.html> [Consulta: diciembre de 2011].

Gentry, Jr. & W.G. D'Arcy. 1986. *Solanaceae of Mesoamerica*. In: D'Arcy, W.G. (ed). *Solanaceae, biology and systematics*. Columbia University Press, New York.

Giannelos, PN.; F. Zannikos; S. Stournas; E. Lois & G. Anastopoulos. 2002. Tobacco seed oil as an alternative diesel fuel: physical and chemical properties. *Industrial Crops and Products* 16:1-9.

Hurrell, J. & D. Bazzano, 2003. *Arbustos 1: nativos y exóticos*. Buenos Aires, L.O.L.A.

Huxley, A. 1992. *The New RHS Dictionary of Gardening*. Mac Millan Press. N.Y.

IPCC. 2002. Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. WMO-PNUMA.

LADA Argentina. Land Degradation Assessment in Drylands. Disponible en: <http://www.lada.crean.unc.edu.ar/> [Consulta: abril 2014]

Lahitte, H. & J. Hurrell, 1998. *Plantas medicinales rioplatenses*. Buenos Aires, L.O.L.A. 240 pp.

Lauwerys, R. 1990. *Toxicology industrielle et intoxication professionells*. Masson. 3° Edición. Paris, Milán, Barcelona. 254 pp.

Marzocca, A. 1986. Manual de Malezas. 3ª ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires.

Moerman, D. 1998. *Native American Ethnobotany*. Timber Press. Oregon.

Murphy, G. 2008. Atlas agroclimático de la República Argentina. Ed. Facultad de Agronomía. 129 pp.

Panter, KE; RF. Keeler; LF. James & TD. Bunch. 1992. Impact of plant toxins on fetal and neonatal development: a review. *Journal of Range Management* 45:52-57.

Plants for a Future (s.f.). *Nicotiana glauca*. Database report. Disponible en: http://www.ibiblio.org/pfaf/cgi-bin/arr_html?Nicotiana+glauca [Consulta: diciembre de 2011].

Parker, KE. 1972. *An Illustrated Guide to Arizona Weeds*. The University of Arizona Press, Tucson, AZ. 338 pp. Disponible en: <http://www.uapress.arizona.edu/online.bks/weeds/> [Consulta: diciembre de 2011].

Pérez Zavala, LA. 2008. *Fitorremediación de suelo contaminado por Pb y Zn mediante la especie vegetal Nicotiana glauca G.* Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

Ragonese E. & VA. Milano. 1984. Vegetales y sustancias tóxicas de la flora argentina. En: *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería*. Tomo II. Segunda edición. Edit. ACME S.A.C.I Buenos Aires.

S. Falasca, A. Ulberich

Robledo Miras A. & E. Correal Castellanos. 2013. Cultivos energéticos de segunda generación para producción de biomasa lignocelulósica en tierras de cultivo marginales. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

Rusticucci, M. & M. Barrucand. 2001. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorológica* 26: 69-84.

SIB. Sistema de Información de Biodiversidad. 2010. Administración de Parques Nacionales. Disponible en: http://www.sib.gov.ar/ficha/PLANTAE*nicotiana*glauca [Consulta: diciembre de 2011].

Smith, WD. 1999. Agronomy and physiology. Seedling production, p. 70-75. In: D. D. L. & M. T. Nielsen (eds.). *Tobacco. Production, chemistry and technology*. Blackwell Science, Oxford.

Uphof, JC. 1959. *Dictionary of Economic Plants*. H.R. Engelmann (J. Cramer). Weinheim. 400 pp.

Usher, GA. 1974. *Dictionary of Plants Used by Man*. Constable. London.

Ware, GW. 1980. *Complete guide to pest control*. Thomson Publ. Fresno. CA.

Zuloaga, FO & O. Morrone, eds. 1996. Catálogo de las plantas vasculares de la República Argentina. I. Pteridophyta, gimnospermas y angiospermas (Monocotyledonae), II. Dicotyle.

La maleza *Nicotiana glauca* (Graham) como cultivo energético en sectores áridos y semiáridos de Argentina

FIGURAS

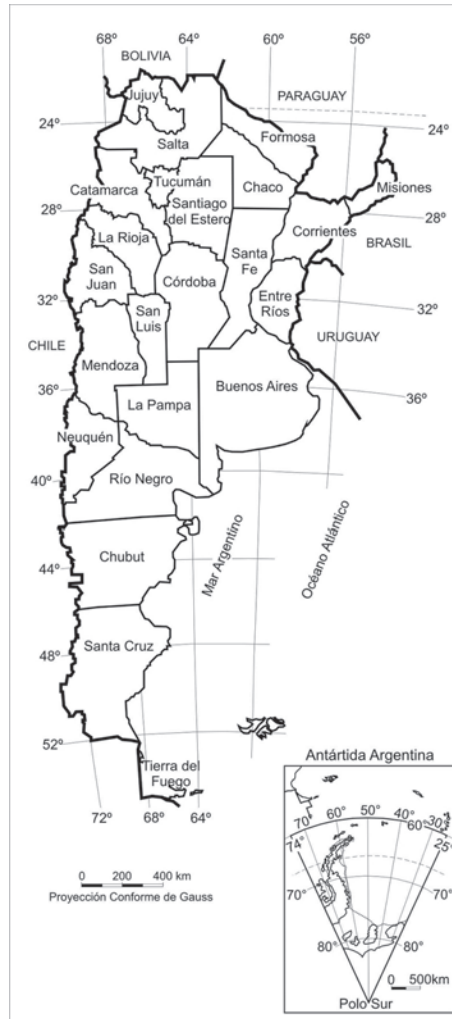


Figura 1. División política de Argentina.

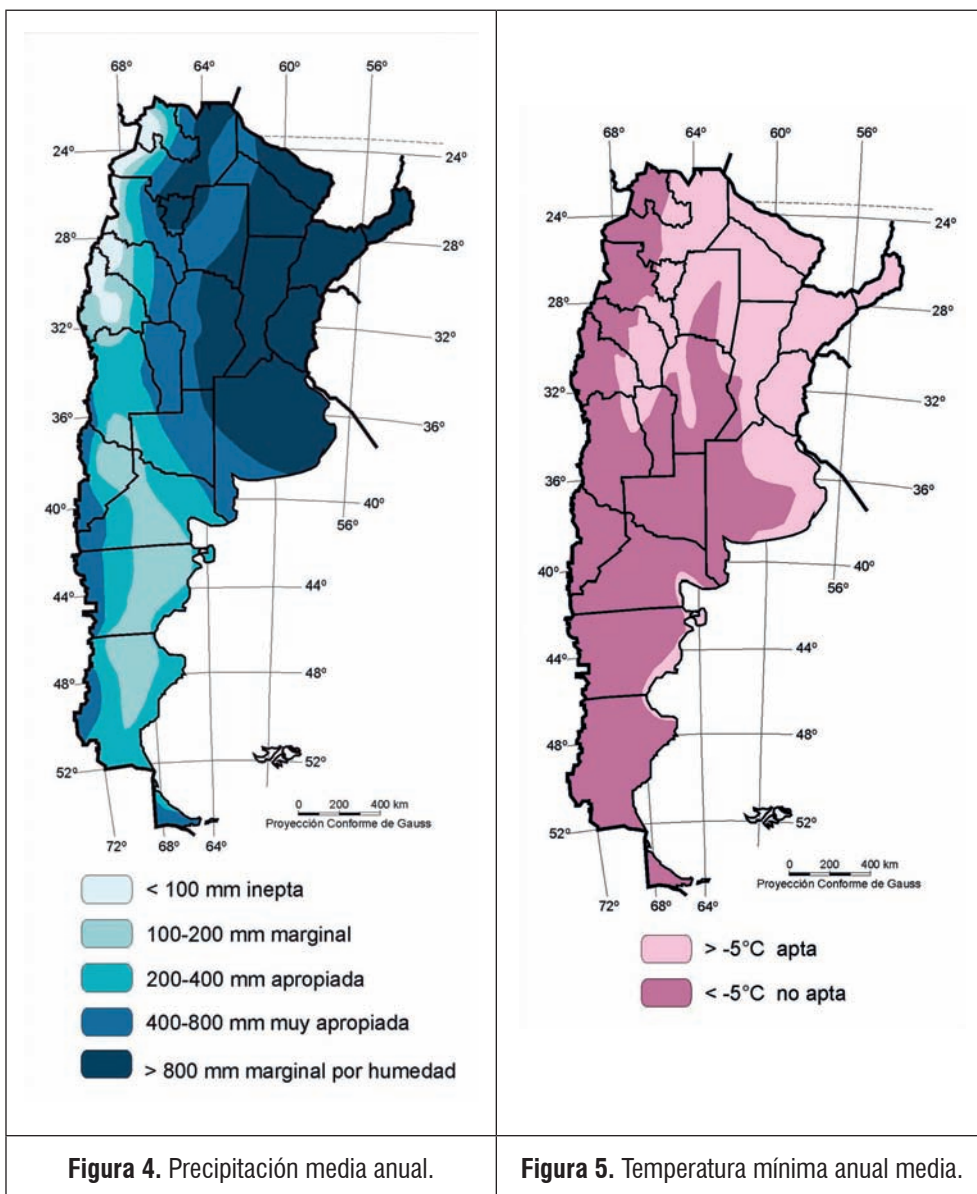


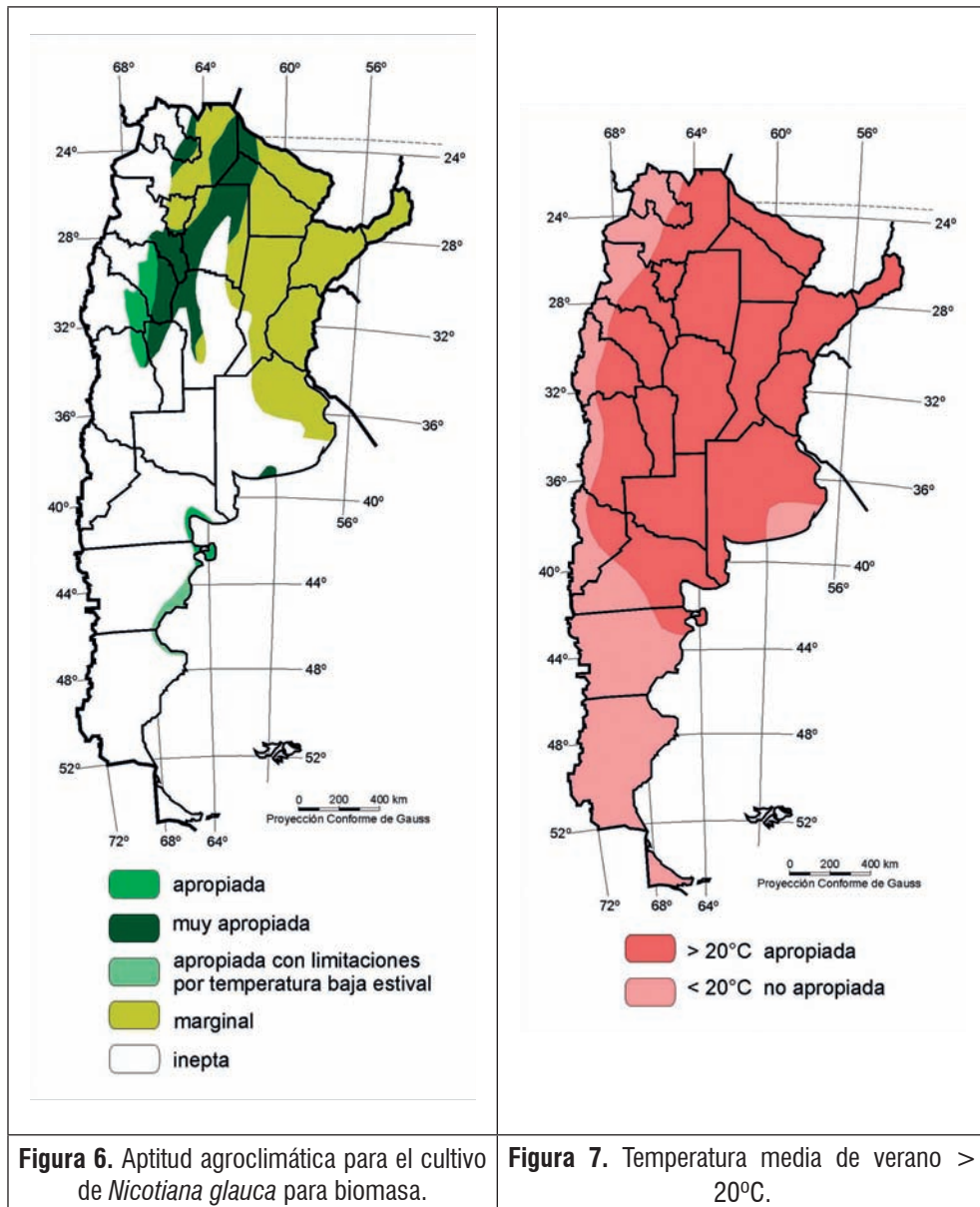
Figura 2. *Nicotiana glauca* creciendo silvestre en la provincia de Chaco (Argentina).



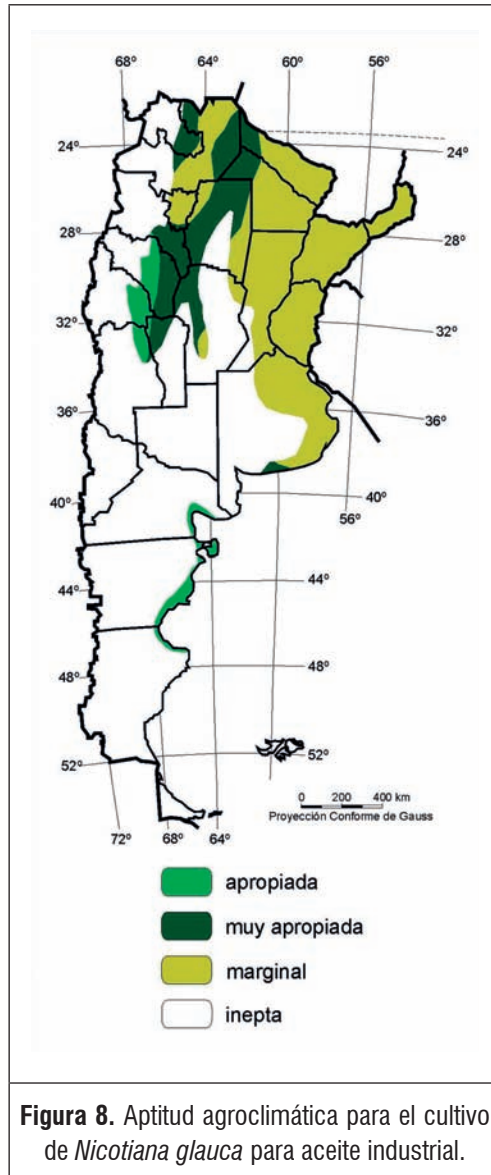
Figura 3. Ensayo de *Nicotiana glauca* en Lorca, Murcia, España.

La maleza *Nicotiana glauca* (Graham) como cultivo energético en sectores áridos y semiáridos de Argentina





La maleza *Nicotiana glauca* (Graham) como cultivo energético en sectores áridos y semiáridos de Argentina



CUADROS

Cuadro 1. Producción de biomasa y de bioetanol al cabo de 3 años de ensayos. (Fuente: Curt y Fernández, 1990).

Año	Biomasa t MS/ha	Bioetanol m ³ /ha
1	3,4	0,22
2	4,6	0,30
3	8,7	0,86