

Potenciales áreas de cultivo de *Melia azedarach* L. en Argentina, como productora de aceite para biodiesel y bioinsecticida

*Potential growing areas for Melia azedarach L. in Argentina,
as oil producer for biodiesel and bio-insecticide*

Falasca S.¹; A. Ulberich² y C. Miranda del Fresno³

Recibido en marzo de 2014; aceptado en abril de 2015

RESUMEN

El paraíso, *Melia azedarach*, posee racimos de flores púrpuras fragantes. Su madera se utiliza para muebles y leña, las hojas y los frutos tienen propiedades insecticidas. De sus drupas se puede extraer un aceite que sirve para elaborar biodiesel o bioinsecticida. En Argentina se introdujo como ornamental y se naturalizó con rapidez. El objetivo de este estudio fue identificar las potenciales áreas de cultivo de esta especie para producir aceite, ya sea para biodiesel o bioinsecticida, utilizando tierras que no son aptas para la producción de alimentos. Fue necesario identificar los requerimientos, límites y tolerancia de las condiciones biometeorológicas para esta especie, teniendo en cuenta las características climatológicas de las zonas nativas y regiones de cultivo exitoso en todo el mundo. Se utilizaron los datos de precipitación media anual y de temperatura para el período 1981-2010, de las 125 estaciones meteorológicas y agrometeorológicas presentes en el país. La superposición de los mapas de temperatura y de precipitación permitió obtener el mapa de aptitud agroclimática y delimitar áreas óptimas, muy apropiadas, apropiadas, marginales y no aptas. Las áreas clasificadas desde el punto de vista agroclimático como óptima y muy apropiadas presentan clima húmedo y subhúmedo-húmedo. En base a literatura consultada, bajo esas condiciones la especie ha manifestado un comportamiento invasor. Por lo tanto, el cultivo con fines energéticos deberá relegarse a climas subhúmedo-secos. En climas húmedos se recomienda la forestación con paraíso sólo en aquellas tierras que necesitan rehabilitación, por presentar problemas de erosión hídrica.

Palabras clave: *Melia azedarach*; necesidades bioclimáticas; zonificación agroclimática; Sistema de información geográfica; biodiesel; bioinsecticida.

ABSTRACT

Melia azedarach, Chinaberry or bead tree, is cultivated for its panicles of fragrant lilac, or pink-purple, flowers. The wood is utilized for furniture and firewood. The leaves and fruits have insecticidal properties. Oil can be extracted from the drupes and can be used for biodiesel or bio-insecticide. In Argentina it was introduced as an ornamental and soon became naturalized.

The aim of this study was to identify the potential growing areas for cultivation of this species, using lands which are unsuitable for food production but can be useful to produce oil for biodiesel or bio-insecticide. It was necessary to identify the requirements, limits and tolerance of biometeorological conditions for this species, taking into account the climatic characteristics of its native areas and of those regions where it has been successfully grown worldwide.

Mean annual rainfall and temperature data available for the period 1981-2010, from the 125 meteorological and agrometeorological stations existing in the country, were used. By overlaying maps of temperature and rainfall, it was possible to produce an agroclimatic suitability map and to define five areas, namely: optimal, very suitable, suitable, marginal and unsuitable.

Those areas classified as optimal and very suitable are found in humid and subhumid-humid climates, respectively. Based on the reviewed literature, the species has exhibited an invasive behavior under such conditions. Therefore, planting this species as an energy crop should be restricted to subhumid-dry climates. In humid climates, afforestation with Chinaberry tree is only recommended for those lands which require rehabilitation, due to water erosion problems.

Keywords: *Melia azedarach*; bioclimatic requirements; agroclimatic zoning; geographic information system; biodiesel; bio-insecticide.

¹ Investigadora de CONICET. Instituto Clima y Agua. INTA, Castelar. Buenos Aires. Programa de Estudios sobre el Medio Ambiente y la Producción Agropecuaria (PREMAPA). CINEA. FCH. UNICEN. E-mail: sfalasca@conicet.gov.ar

² Investigadora del Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA). PREMAPA, Facultad de Ciencias Humanas (FCH). UNICEN. Pinto 399. 7000. Tandil, Pcia. Buenos Aires. Argentina.

³ Becaria de CONICET, PREMAPA, CINEA. FCH. UNICEN. Pinto 399. 7000. Tandil, Pcia. Buenos Aires. Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

Los problemas de contaminación ambiental debido a acciones antropogénicas y al cambio climático, manifestado a través de la mayor ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos, generan preocupación a nivel internacional. Por eso, se están promoviendo nuevas políticas ambientales que intentan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, incentivando el uso de energías renovables.

A partir de la entrada en vigencia del Programa Nacional de Biocombustibles en el año 2010, Argentina se ha posicionado a nivel mundial como uno de los países con mayor porcentaje de corte de biodiesel en gasoil (7 % o B₇), es decir, a la par de Alemania y Francia. Dicho corte en 2013 se elevó a un 10 % (B₁₀) con una adaptación gradual entre los meses de abril y junio, buscando reducir la necesidad de importación de combustibles tras los daños que provocó el incendio en la destilería YPF (Yacimientos petrolíferos Fiscales) de Ensenada, La Plata (Cabot, 2013); y aumentando la demanda tanto para la industria de biocombustibles como la aceitera que, en los últimos años, registraron fuertes crecimientos motorizados por los buenos precios de la soja, componente esencial en la fabricación de biocombustibles (Revista el Inversor Energético & Minero, 2013).

Desde hace unos años, la agricultura argentina está atravesando un proceso de transformación histórico, que cambió el entorno ambiental y la cultura rural, sosteniendo una extracción minera de recursos naturales renovables (agua, nutrientes y el banco de diversidad biológica), impulsada y manejada por los mercados importadores de los países desarrollados o de aquellos países emergentes con fuerte crecimiento (Pengue, 2006). La producción de soja (*Glycine max*), que es el principal cultivo agrícola en Argentina, genera muy altos ingresos económicos debido a la exportación de granos y subproductos, superiores a cualquier otra producción de origen agropecuario, constituyendo una significativa proporción de las divisas que ingresan al país. La industria del biodiesel emplea como principal materia prima el aceite de soja, representando más del 95 % del total procesado (Falasca, 2012). Sin embargo, muchos autores, entre ellos Pengue (2006), ya han demostrado la no sostenibilidad en el tiempo de este modelo de producción.

Características de *Melia azedarach*

Melia azedarach L. (sinónimo: *M. orientalis*) es un árbol nativo del sur de Asia. Se lo conoce con diferentes nombres comunes: Paraíso, Syringa, Azedarach, Lilas, Cinnamomo, Jacinto, Aleli, Persian lilac, Chinatree, Umbrella tree, Chinaberry, Indian lilac, etc (Orwa *et al.*, 2009).

Como especie exótica se distribuye en América desde California hasta Argentina (Orwa *et al.*, 2009). Según FAO-Ecocrop (2002) su distribución latitudinal en ambos hemisferios se extiende desde los 10° a los 40°.

Esta especie florece en primavera, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre en el hemisferio sur, junto con la aparición de las hojas. Las flores, aromáticas, son de color blanquecino o rosado a violeta, dispuestas en racimos en las axilas de las hojas. Sus bayas presentan un largo período de maduración. Los frutos maduros se encuentran en el árbol entre marzo y junio (Doran *et al.*, 1997) aunque pueden permanecer colgados 10-11 meses, finalizando la maduración a fines de otoño y en invierno, cuando el árbol pierde las hojas. Los pájaros comen frutos secos maduros y dispersan sus semillas. Esta especie tiene potencial como maleza invasora (ABRS, s/f). Puede producir rodales jóvenes provenientes de regeneración natural que, debido a la alta densidad y facilidad de establecimiento, se la ha mencionado como plaga forestal (Brassiolo y Gomez, 2004).

En Argentina se ha visto que cuando se la tala, rebrota con más vigor, saliendo varios rebrotes del mismo tocón. En el Río de la Plata es una especie subespontánea e invasora. En el

Parque Nacional El Palmar se ha naturalizado, donde ha reemplazado a la vegetación nativa formando bosques casi puros (Lahitte *et al.*, 1999, 2004).

Usos

El paraíso es una especie agroforestal que se cultiva para sombra y como ornamental, como medicinal e insecticida (Kahn *et al.*, 2001; D'Ambrosio y Guerriero, 2002; Lev, 2002). Sus frutos, flores, hojas, corteza y raíces tienen propiedades medicinales (Padrón *et al.*, 2003). Algunas sustancias, presentes en los frutos, pueden causar la muerte a animales y humanos. En Argentina se emplea para el tratamiento de granos, caspa, insecticida, vermífugo, etc (Lahitte *et al.*, 1999).

La actividad insecticida de *M. azedarach* está en hojas, tallos, frutos y semillas. De estas estructuras se han extraído, principalmente “meliartenin”, un limonoide, con cualidades antialimentarias, y “azadirachtina”, el mayor compuesto natural antialimentario, estudiado en la planta de neem: *Azadirachta indica* (Vergara *et al.*, 1997). Estas sustancias inhiben la alimentación de insectos fitófagos. Se han probado variados extractos de hojas y frutos de *M. azedarach* sobre distintas plagas con resultados promisorios. El mecanismo de acción de la mayoría de las sustancias provenientes del paraíso consiste en inhibir la acción de las oxidasas en el intestino medio, por lo que el insecto inmaduro muere o se convierte en pupa o adulto anormal por deficiencia de nutrientes o interferencia en los procesos fisiológicos. Esto se traduce en inhibición de la alimentación, disminución del crecimiento y desarrollo, descenso de la tasa metabólica relativa, emergencia de adultos deformes, inhibición de la oviposura o mortalidad (Pascual-Villalobos, 1996).

El árbol presenta crecimiento rápido y se puede cultivar en una amplia variedad de suelos bien drenados, pudiéndose utilizar como cortina rompevientos por tolerar vientos costeros salados y para el control de la erosión (Doran *et al.*, 1997).

En México se cultiva a escala comercial como maderable (Calderón y Germán, 1993). En Argentina hay plantaciones comerciales en las provincias de Misiones y Corrientes. El árbol desarrolla de 1,5 a 2 m año⁻¹ en altura. La madera, blanda y de densidad baja, sirve para elaborar pulpa de papel y producir carbón; es adecuada para muebles pero es susceptible al ataque de termitas (Doran *et al.*, 1997; Lahitte *et al.*, 2004). La leña presenta un poder calórico es de 5100 kcal/kg (CATIE, 1986).

De sus bayas se extrae aceite que se utiliza para iluminación. La composición de ácidos grasos principales del aceite son: ácido palmítico (9,31 %), ácido esteárico (3,08 %), ácido oleico (18,71 %), ácido linoleico (65,95 %) y otros (Gu and Liu, 1994).

Akhtar *et al.* (2011) estudiaron diferentes propiedades del biodiesel obtenido a partir del aceite de paraíso, incluyendo la viscosidad, índice de yodo, el número de acidez, punto de nube y el número de cetano, siendo los valores obtenidos de 4,7; 112; 0,45 mg de KOH/g, < -10°C y 45, respectivamente. Aunque la estabilidad a la oxidación es menor que el valor estándar requerido por la norma EN 14214, se puede mejorar mediante la introducción de algunos aditivos en el producto final. Las otras propiedades del biodiesel de *Melia azedarach* cumplen las especificaciones requeridas por la norma EN 14214, por lo tanto, el paraíso es una materia prima apta para la producción y no comestible (Staravache *et al.*, 2008).

La diversificación de la producción agrícola representa el pilar básico de la sustentabilidad de los agroecosistemas. Gracias a la extensión latitudinal de Argentina, hay una gran variedad de condiciones climáticas y edáficas; existe una amplia gama de cultivos energéticos que podrían producir biodiesel. Es por ello que, el objetivo de este trabajo fue delimitar las potenciales áreas de cultivo de *Melia azedarach* L. en tierras no aptas para la producción de alimentos, como materia prima para producir biodiesel y bio-insecticidas a partir del aceite que se obtiene de sus semillas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Necesidades bioclimáticas

Esta investigación, orientada a delimitar las potenciales áreas de cultivo en Argentina de *Melia azedarach*, utilizó como herramienta a la agroclimatología. A tal fin, fue necesario identificar los requerimientos, los límites y la tolerancia de las condiciones biometeorológicas para esta especie, teniendo en cuenta las características climatológicas de las zonas nativas y las regiones de cultivo exitoso en todo el mundo.

Según FAO-Ecocrop (2002), la zona de adaptación climática de la especie abarca clima tropical húmedo (Af), tropical húmedo con estación seca (Aw), templado húmedo (Cf), templado húmedo con verano seco (Cs) y templado húmedo con invierno seco (Cw).

En América del Norte, hay registros de que esta especie habita en diferentes tipos de climas: húmedo, como en Alabama y Virginia (Naumann y Young, 2007), subtropical húmedo, subtropical subhúmedo (Nixon *et al.*, 1991), y subhúmedo-seco a semiárido, como en Texas (Wood y Wood, 1989).

Florabank of Australia (s/f) informa que para lograr un buen crecimiento, la temperatura media anual debe oscilar dentro del rango de 17 a 26 °C mientras que para obtener un desarrollo óptimo la temperatura media del mes más cálido puede fluctuar de 26 a 32 °C y la temperatura media del mes más frío de 3 a 10 °C. Para FAO-Ecocrop (2002) el rango de temperaturas óptimas durante el período de crecimiento oscila de 16 a 30°C, siendo las temperaturas máxima y mínima cardinales de 8 y 35 °C, respectivamente.

Es resistente a la sequía, tolerando hasta 8 meses de déficit hídrico, y se desarrolla en áreas con 600 a 1500 mm de precipitación anual (Doran *et al.*, 1997). Según FAO-Ecocrop (2002) y Orwa *et al.* (2009) habita sitios con un rango de precipitaciones anuales de 350 a 2000 mm, siendo el rango óptimo de 600 a 1000 mm.

Si bien prefiere zonas libres de heladas, puede tolerar hasta -18 °C (Little, 1961) durante el descanso vegetativo, aunque temperaturas de -1°C dañan a la planta al comienzo de la brotación (FAO-Ecocrop, 2002), tolerando heladas de ligeras a moderadas (0 a -5 °C) cuando tiene mayor edad el árbol (Doran *et al.*, 1997). Puede vivir desde el nivel del mar hasta altitudes de 900 m (Gunn, 2001)

Es una planta de fotoperíodo corto, ya que se induce a floración con días cortos, con menos de 12 horas (FAO-Ecocrop, 2002).

Las semillas comienzan a germinar en unos 10 días si se siembran con temperaturas de 30 °C sin tratamiento previo (Gunn, 2001). Las semillas son muy tolerantes al desecamiento, y llegan a sobrevivir hasta con 3,5 % de su volumen de humedad normal. Además pueden permanecer viables por períodos prolongados hasta al menos 26 meses (Doran *et al.*, 1997).

Zonificación agroclimática

Se conocieron las necesidades bioclimáticas de *Melia azedarach* mediante el análisis de la bibliografía citada en el apartado anterior.

Para delimitar las potenciales zonas de cultivo, desde el punto de vista agroclimático, se utilizaron los datos climáticos procedentes de las 125 estaciones meteorológicas de Argentina correspondientes al período 1981-2010. La información base en la cartografía climática está representada por los registros puntuales de las variables climáticas medidas en las estaciones meteorológicas. A partir de esos datos puntuales se debe extrapolar al resto del territorio donde no se dispone de información, pretendiendo que los mapas agroclimáticos a obtener tengan un elevado grado de ajuste con la realidad. Para lograr este objetivo se aplicó un procedimiento que resulta de la combinación de métodos estadísticos con sistemas de información geográfica,

denominada Geoestadística. Esta metodología permite inferir información con ajustada precisión sobre áreas donde no hay registros meteorológicos. Esta es una ventaja, ya que la red de estaciones meteorológicas y agrometeorológicas manejadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) respectivamente, presentan baja densidad y algunas estaciones muestran discontinuidad de las mediciones. De esta manera, la geoestadística, permite tener un mejor manejo de la información a nivel espacial al generar datos más precisos (Childs, 2004).

Si bien puede haber similitudes entre las estadísticas espaciales y las no espaciales (tradicionales) en términos de conceptos y objetivos, las estadísticas espaciales son únicas ya que se desarrollaron específicamente para ser utilizadas con datos geográficos. A diferencia de los métodos estadísticos tradicionales (no espaciales), las estadísticas espaciales incorporan el espacio directamente en sus operaciones matemáticas.

A partir de la base de datos disponible, se asignaron los límites geográficos a las diferentes variables agroclimáticas que definen las clases de aptitud: zona óptima, muy apropiada, apropiada, marginal y no apta para esta especie. La autora tiene una amplia experiencia en zonificación agroclimática., prueba de ello son los numerosos trabajos publicados en la temática (Falasca, 2012; Falasca y Bernabé, 2012; Falasca *et al.*, 2011; Falasca *et al.*, 2012; Falasca *et al.*, 2013; Falasca *et al.*, 2014a; Falasca *et al.*, 2014b; Falasca *et al.*, 2014c; Falasca y Ulberich, 2011; Falasca y Ulberich, 2014).

Para las regiones hídricas se consideraron los valores de las isohietas medias anuales. Se clasificó como área no apta cuando la precipitación media anual resultaba inferior a 350 mm; de 350 a 600 mm calificó como área apropiada (FAO-Ecocrop, 2002); área óptima con 600 a 1000 mm (Doran *et al.*, 1997; FAO-Ecocrop, 2002); y cuando superaba los 1000 mm se volvió a calificar como área apropiada.

Para las regiones térmicas, se tuvo en cuenta la temperatura media anual, la temperatura media del mes más cálido y la temperatura media del mes más frío a que se encuentra sometido el árbol. Si la temperatura media anual era superior a 17 °C se definió como área apropiada y si la temperatura media del mes más cálido superaba los 26 °C delimitó como área óptima. Cuando la temperatura media del mes más frío superaba los 3 °C calificó como área apropiada y si resultaba superior a 10 °C se definió como área óptima (Florabank of Australia s/f).

Posteriormente se analizaron las temperaturas mínimas absolutas. Si bien esta especie puede tolerar hasta -18 °C durante el descanso vegetativo (Little, 1961), se verificó que sólo se registran temperaturas mínimas absolutas de ese nivel o inferiores en el sector cordillerano o en la meseta patagónica al sur del paralelo 40°, donde prevalece el efecto de continentalidad. Por esta razón y porque la temperatura mínima absoluta representa la temperatura más baja registrada en el período de 30 años analizados, las mismas no fueron tenidas en cuenta a los fines de la zonificación.

Con los datos de necesidades bioclimáticas de la especie se generó un modelo agroclimático en el que quedaron definidas las siguientes clases de aptitud: *Área óptima* (temperatura media anual >17 °C, temperatura media del mes más cálido >26 °C, temperatura media del mes más frío >10 °C y precipitación anual de 660 a 1000 mm); *Área muy apropiada* (temperatura media anual >17 °C, temperatura media del mes más cálido <26 °C; temperatura media del mes más frío >10 °C y precipitación anual de 660 a 1000 mm); *Área apropiada* (temperatura media anual >17 °C, temperatura media del mes más cálido <26 °C; temperatura media del mes más frío de 3 a 10 °C y precipitación anual de 350 a 600 mm o > 1000 mm); *Área marginal* (temperatura media anual <17 °C, temperatura media del mes más cálido <26 °C; temperatura media del mes más frío >3 °C y precipitación anual >350 mm); y *Área no apta* (presenta varias limitaciones: temperatura media anual <17 °C, temperatura media del mes más cálido <26 °C; temperatura media del mes más frío <3 °C o precipitación anual <350 mm).

Al superponer los mapas de regiones térmicas e hídricas se obtuvo el mapa de aptitud agroclimática de *M. azedarach* para Argentina.

Para la obtención de los mapas se utilizó la serie de variables climáticas citadas anteriormente previamente interpoladas, y posteriormente procesadas con la herramienta de Sistema de Información Geográfica 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 Arc-GIS 9.3, con el método de interpolación Ordinary Kriging.

El método Ordinary Kriging, es un método geoestadístico de interpolación que ha demostrado ser útil en muchos campos. A partir de una muestra de puntos, distribuidos ya sea de manera regular o irregular, el método proporciona valores estimados en aquellos lugares carentes de información. Este método de interpolación de Kriging calcula los pesos que se dan a cada punto de referencia, usados en dicha aplicación. Esta técnica de interpolación se basa en la premisa de que la variación espacial continúa con el mismo patrón (Childs, 2004).

Las variables mapeadas de aptitud agroclimática se obtuvieron a partir del geoprocesamiento de integración multivariable, utilizando la herramienta “Raster Calculator” de la extensión “Spatial Analyst” del mismo programa (Childs, 2004).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan las regiones hídricas. Se diferenciaron dos áreas apropiadas separadas por un área óptima ubicada entre ambas y un área no apta. En líneas generales se aprecia que Argentina solo carece de aptitud hídrica para cultivar paraíso en la franja semiárida que recibe menos de 350 mm de precipitación anual y que comprende el sur de la provincia de Mendoza, gran parte de Neuquén y todo el sector central patagónico.

En la Figura 2 se observa la temperatura media del mes más frío (Julio). Para que la zona resulte apropiada la temperatura media del mes más frío debe superar los 3 °C, por lo tanto, el rango comprendido de 3 a 10 °C corresponde al área apropiada y si supera los 10 °C califica como área óptima. De esta forma, se aprecia en el mapa que el área óptima cubre el sector noreste, norte y centro del país; y el área apropiada abarca gran parte de la pradera pampeana, el sector oeste del país y gran parte del centro-este del sector patagónico.

En la Figura 3 de regiones térmicas, se delimitaron áreas óptimas, cuando la temperatura media del mes más cálido supera los 26 °C (Enero) y áreas apropiadas, definidas en base a la temperatura media anual que debe ser superior a los 17 °C.

Finalmente en la Figura 4 se presenta el mapa de aptitud agroclimática para el cultivo de paraíso en Argentina, que surgió de la superposición de las Figuras 1, 2 y 3. En la misma se diferencian nueve clases de aptitud, determinando al norte de la isoterma anual de 17 °C y al oeste de la isohieta de 1000 mm el área muy apropiada y al norte de ésta, el área óptima, cuyo límite sur es la isoterma de 26 °C. Así, el área óptima abarca el sector oriental de Salta; sector occidental de Formosa y Chaco, norte y centro de Santiago del Estero y un pequeño sector del noroeste de Santa Fe. El área muy apropiada comprende centro este de Santa Fe, sur de Santiago del Estero, norte y centro de Córdoba y un área reducida en el noreste de San Luis. Otra área muy apropiada cubre parte de las provincias de Salta, Jujuy y Catamarca, y casi toda Tucumán y se ubica al oeste de la isohieta de 600 mm.

Hacia el sur aparece una gran área clasificada como apropiada, que comprende oeste de Córdoba, sector oriental de las provincias de Catamarca, La Rioja y San Juan, noreste de Mendoza y noroeste de San Luis. Hacia el sur de la isoterma de 17 °C y con límite oeste la isohieta de 600 mm se delimitó el área apropiada con limitaciones térmicas estivales y que se extiende desde el centro de Córdoba, sur de Santa Fe, este de San Luis, cubriendo el noreste de La Pampa y gran parte de Buenos Aires. Hacia el sur de la misma isoterma de 17 °C y limitada por el oeste por la isohieta de 1000 mm, se delimita otra área apropiada con limitaciones

térmicas estivales y lluvias excesivas, que cubre el sur de Entre Ríos y parte del norte de la provincia de Buenos Aires.

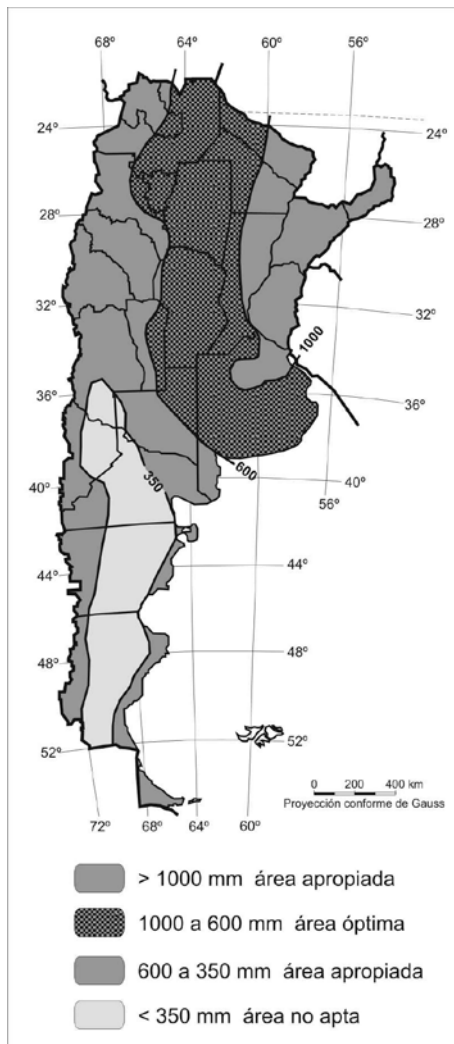


Figura 1. Precipitación anual

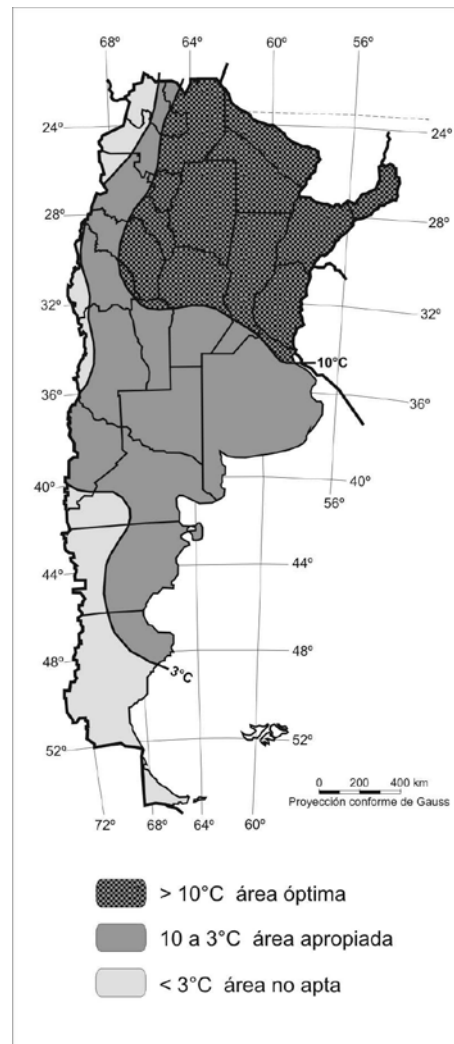


Figura 2. Temperatura media del mes más frío (julio)

Hacia el este de la isohieta de 1000 mm aparecen delimitadas dos áreas con limitaciones por lluvias excesivas, separadas por la isoterma del mes más cálido de 26 °C. Las lluvias excesivas en la etapa de floración afectará la presencia de insectos polinizadores, que podrían perjudicar la polinización y por ende, la fructificación. El área ubicada al norte está clasificada como muy apropiada y hacia el sur, como apropiada, ambas con las limitaciones señaladas por lluvias excesivas.

El área delimitada como marginal llega hasta aproximadamente los 40° de latitud sur en la provincia de Neuquén, coincidente con FAO-Ecocrop (2002) quien cita la distribución de la especie en ambos hemisferios desde los 10° a los 40°L. Sin embargo, en el mapa de aptitud agroclimática aparecen zonas delimitadas como áreas marginales a mayores latitudes, en las costas del sur de la provincia de Buenos Aires, este de Río Negro, Chubut y noreste de Santa Cruz, no tan frías por el efecto amortiguador del océano que ejerce sobre la temperatura.

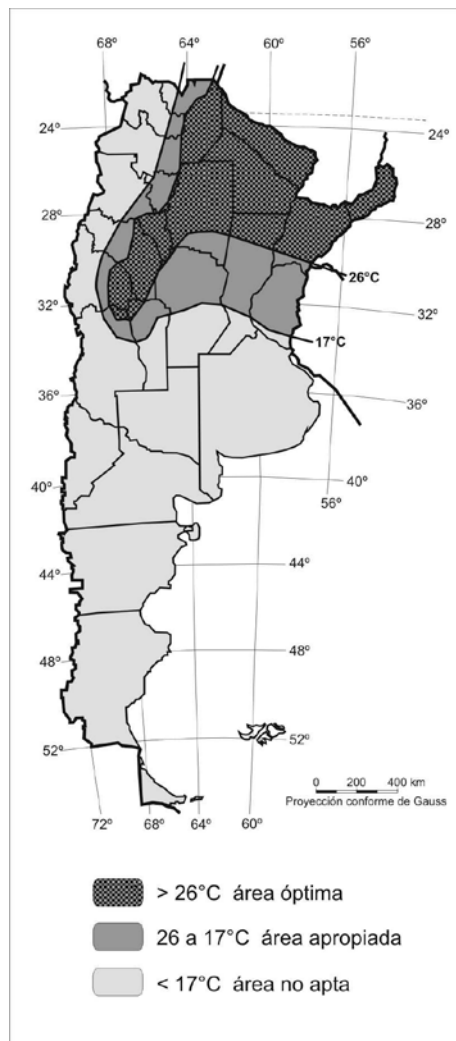


Figura 3. Regiones térmicas: Temperatura media del mes más cálido >26°C (enero) y Temperatura media anual > 17°C.

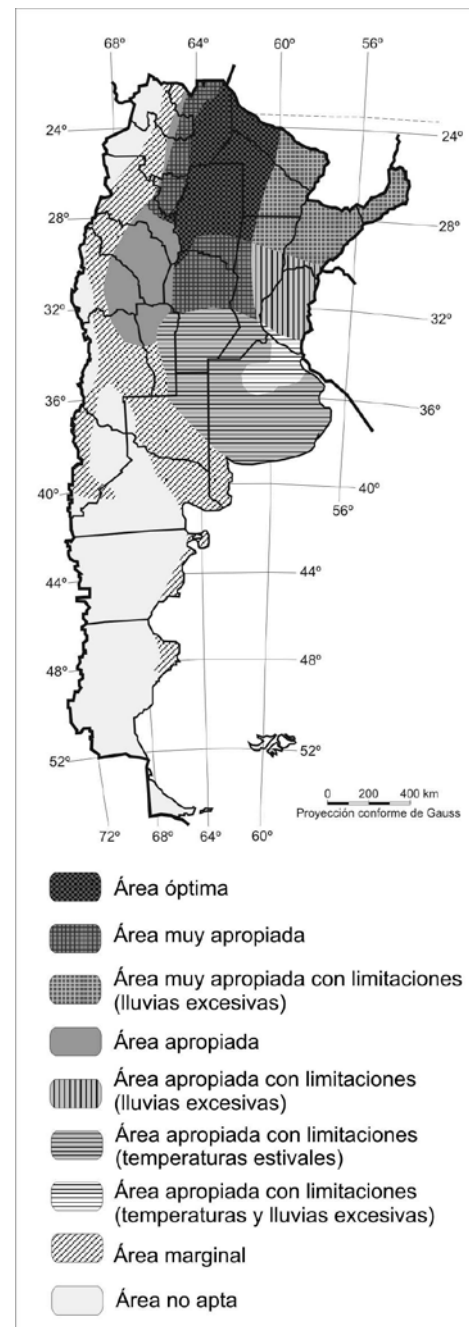


Figura 4. Aptitud agroclimática para el cultivo de *Melia azedarach*

Según el Sistema de Información de Biodiversidad de Argentina (SIB) fue documentada la existencia de la especie, en las provincias de Buenos Aires, Chaco, Córdoba, Corrientes, Entre Ríos, Jujuy, La Pampa, Misiones, Salta, Santiago del Estero y Tucumán.

Sin embargo, en la Figura 4 aparecen clasificadas con algún grado de aptitud agroclimática ciertas provincias no citadas por el SIB. Entonces para validar la zonificación agroclimática se procedió a la búsqueda bibliográfica para corroborar si la especie fue reconocida en esas provincias. Así, la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (1999) expresa que el paraíso se ha asilvestrado en el Parque Chaqueño. Según Cozzo (1994) en los últimos 30 años en nuestro país se han hecho muchas prácticas experimentales en Misiones, Formosa, Salta, que

han derivado de su aplicación a escala empresarial en cientos de hectáreas, repoblando áreas degradadas de esas provincias con plantines de vivero de *M. azedarach* cv. *Gigantea*. Pensiero *et al.*, (2006) citan la existencia de *M. azedarach* y las claves para el reconocimiento de la especie en la provincia de Santa Fe. Almirón *et al.* (2008) describen a la especie como integrante del arbolado urbano en las localidades de Vallecito y Difunta Correa, en la provincia de San Juan.

Del análisis de la Figura 4 se infiere que existe una gran superficie del territorio nacional con aptitud agroclimática para el cultivo de paraíso para producir aceite, ya sea con fines energéticos o para bio-insecticida. Las áreas clasificadas como óptimas, muy apropiadas y apropiadas para producir aceite no necesariamente deben coincidir con aquellas destinadas a la producción de madera como especie forestal. Para producir aceite interesa que existan una buena floración y una buena fructificación.

Debido a su comportamiento invasor en zonas húmedas (precipitaciones anuales >1000 mm) y subhúmedo-húmedas (600-1000 mm) se recomienda la forestación con paraíso con fines energéticos en aquellas tierras que necesitan rehabilitación (por ejemplo con problemas de erosión hídrica), ya que por ser una especie perenne se reducen las labores culturales, contribuyendo al mejoramiento del suelo, a la par de producir aceite industrial para biodiesel o bio-insecticida.

El cultivo con fines energéticos deberá relegarse a climas subhúmedo-secos, es decir que reciben precipitaciones anuales entre 350 y 600 mm. Las zonas potenciales para su cultivo son las clasificadas como apropiadas (La Rioja, Catamarca, San Juan, Córdoba, Mendoza y San Luis), aunque podrán utilizarse las áreas clasificadas como marginales. La implantación en áreas costeras con aptitud marginal puede ayudar al control de la erosión, ya que como se dijo anteriormente tolera vientos salados.

Finalmente, las áreas no aptas están caracterizadas por presentar dos o más de las siguientes limitaciones: temperatura media anual <17 °C, temperatura media del mes más frío <3 °C o precipitación anual <350 mm. Las áreas no aptas cubren casi todo el sector patagónico y el sector situado al oeste de las provincias de Mendoza, San Juan, Catamarca, Salta y Jujuy.

Tratándose de un cultivo energético no deben destinarse al cultivo de paraíso, tierras aptas para producción de alimentos ni utilizarse agua potable para riego. Tampoco habría que utilizar las áreas óptimas y muy apropiadas desde el punto de vista agroclimático para alcanzar el rendimiento potencial de aceite, cuando se trata de una especie invasora como lo es *M. azedarach*.

La forestación con paraíso en climas subhúmedo-secos aportará otros beneficios ambientales como la protección de suelos afectados por erosión eólica, la recuperación de suelos erosionados, la captura de CO₂, etc. La biomasa de un bosque es un depósito importante de los gases de efecto invernadero y contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo a través de la acumulación de la materia orgánica (Schneider, 1989). La implantación de bosques, es una de las opciones más eficaces para modificar el balance de GEI mediante el secuestro de carbono (Gunn, 2001). Si bien el potencial de secuestro de carbono del paraíso es de bajo a moderado, su implantación en zonas costeras de la provincia de Buenos Aires resultaría beneficioso porque actuaría como cortina rompevientos a la vez de proteger de la erosión y permitiría obtener materia prima para elaborar biodiesel (Falasca *et al.*, 2012).

4. CONCLUSIONES

Los autores desarrollaron un modelo de zonificación agroclimática para *Melia azedarach*, en base a sus requerimientos bioclimáticos. Dicho modelo podrá ser utilizado en cualquier parte del mundo utilizando los mismos límites agroclimáticos que definen cada clase de aptitud, presentados en este trabajo.

El mapa de aptitud agroclimática argentina para producir aceite con fines energéticos a partir de paraíso muestra nueve clases: seis de las cuales presentan clima húmedo o subhúmedo-húmedo, dos con clima subhúmedo-seco mientras que el área no apta posee clima semiárido a árido.

Debido a su comportamiento invasor, bajo condiciones de clima húmedo o subhúmedo-húmedo se recomienda la forestación con paraíso con fines energéticos sólo en aquellas tierras que necesitan rehabilitación. Por lo tanto, su cultivo con fines industriales (para producir aceite) deberá relegarse a climas subhúmedo-secos. Las zonas potenciales recomendadas para su cultivo son las clasificadas como *apropiadas*, que cubren parte de las provincias de La Rioja, Catamarca, San Juan, Córdoba, Mendoza y San Luis, y las áreas clasificadas como *marginales*, ya que al tratar a la especie como energética no es necesaria su implantación en las zonas con mayor aptitud desde el punto de vista agroclimático ni buscar de alcanzar los rendimientos máximos de producción de aceite.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRS. Australian Species Bank. [Fecha de consulta: marzo 2014]. Disponible en: <<http://www.environment.gov.au/cgi-bin/species-bank/sbank-treatment2.pl?id=15221>>
- Akhtar, T.; M. I. Tariq and S. I. Ranaa. 2011. "Production of biodiesel from *Melia azedarach* seed oil: a non-edible feedstock for biodiesel". Pakistan: International Islamic University, Faculty of Engineering and Technology, Islamabad. [Fecha de consulta: agosto 2014] Disponible en: <http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:43013945>
- Almirón, M.; A. D. Dalmasso; J. Márquez, y M. Hadad. 2008. "Diversidad del arbolado urbano en la localidad de Vallecito, Difunta Correa -San Juan". Quebracho 16:102-109
- Brassiolo, M. M. y C. Gomez. 2004. "Manejo de la regeneración natural de Paraíso (*Melia azedarach*) en el Chaco Húmedo". Quebracho 11: 42-53.
- Cabot, D. 2013. "Luego del incendio, la refinería de YPF producirá entre 15 y 20 % menos". Diario *La Nación*. (7 Abr. 2013). p18. [Fecha de consulta: agosto 2014]. Disponible en: <<http://www.lanacion.com.ar/1570415-luego-del-incendio-la-refineria-de-ypf-producira-entre-15-y-20-menos>>
- Calderón, R. G. y M. T. Germán. 1993. "Meliaceae" In: Rzedowski, J. et al. (eds.). Flora del Bajío y regiones adyacentes. 11:1-22. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1986. "Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central". Serie Técnica. Informe Técnico N° 86. Costa Rica. 220 pp.
- Cozzo, D. 1994. "Los intercambios e interacciones de especies arbóreas exóticas y nativas en la complementación y diversificación de sus respectivos sistemas forestales". Quebracho 2: 39-46.
- Childs, C. 2004. "Interpolating Surfaces in Arc-Gis Spatial Analysis". [Fecha de consulta: marzo 2015]. Disponible en: <<http://webapps.fundp.ac.be/geotp/SIG/interpolating.pdf>>
- D'Ambrosio, M. and A. Guerriero. 2002. "Degraded limonoids from *Melia azedarach* and biogenetic implications". Phyto-chemistry 60: 419-424.

- Doran, J. C.; J. W. Turnbull; P. N. Martensz; L. A. J. Thomson and N. Hall. 1997. "Introduction to the Species" Digests in: J. C. Doran and J. W. Turnbull (Ed). Australian Trees and Shrubs: species for land rehabilitation and farm planting in the tropics. p 328-329. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. [Fecha de consulta: marzo 2012]. Disponible en: <<http://www.aciar.gov.au/publication/MN024>>
- El Inversor Energético & Minero. 2013. [Fecha de consulta: abril 2013]. Disponible en: <<http://www.inversorenergetico.com.ar/el-gobierno-elevo-a-un-10-por-ciento-la-mezcla-de-biodiesel-con-gasoil/>>
- Falasca, S. 2012. "Cultivos energéticos para biocombustibles de 1ª y 2ª generación: Aptitud Agroclimática Argentina". Editorial Académica Española. 218 pp.
- Falasca, S. y M. A. Bernabé. 2012. "El cultivo de la borraja (*Borago officinalis*) como fuente de biodiesel en el sur de Argentina". Geográfica del IPGH N° 151: 31-46.
- Falasca, S.; C. Miranda del Fresno, A. Ulberich. 2012. "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.; M. C. Miranda del Fresno and C. P. 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). 1-11
- Falasca, S. y A. Ulberich. 2014. "La maleza palán-palán (*Nicotiana glauca* G) como cultivo energético en sectores semiáridos de Argentina". En prensa Revista Zonas Áridas N° 15. Universidad de La Molina. Perú.
- Falasca, S. and 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: pp 123-150.
- Falasca, S.; A. Ulberich y C. Miranda del Fresno. 2011. "Forestaciones con paraíso (*Melia azedarach*) como especie mitigadora del cambio climático en Argentina". III Congreso Internacional sobre Cambio Climático y Desarrollo Sustentable. La Plata. Argentina. p. 155-164. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/66678121/Documento-Preliminar-Parte-B-3er-Congreso-de-Cambio-Climatico-y-Desarrollo-Sustentable>>
- Falasca, S.; M. J. Pizarro and R. Mezhner. 2013. "The Agro-ecological suitability of *Atriplex nummularia* and *A. halimus* for biomass production in Argentine saline drylands". International Journal of Biometeorology. Doi 10.1007/s00484-013-0744-x
- Falasca, S.; A. Ulberich and A. Acevedo. 2014b. "Identification of Argentinean saline drylands suitable for growing *Salicornia bigelovii* for bioenergy". International Journal of Hydrogen Energy. 39(16) 8682-8689.
- Falasca, S.; A. Ulberich and S. Pitta. 2014c. "Possibilities for growing kenaf (*Hibiscus cannabinus* L) in Argentina as biomass feedstock under dry-subhumid and semiarid climate conditions". Biomass and Bioenergy 64: 70-80.
- FAO. Ecocrop. *Melia azedarach*. 2002. [Fecha de consulta: agosto 2013]. Disponible en: <<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=7681>>
- Florabank of Australia. 2013. "*Melia azedarach*". [Fecha de consulta: agosto 2013]. Disponible en: <http://www.florabank.org.au/lucid/key/species%20navigator/media/html/melia_azedarach.htm>
- Gu J. and L. Liu. 1994. "Melia trees and their uses." [J]. Jiangxi Science (Biological Research Institute, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang, 330029 PRC); 1994-2002.
- Gunn, B. V. 2001. "Australian Tree Seed Centre Operations Manual". Internal Publication, CSIRO Australian Tree Seed Centre, ACT. [fecha de consulta: marzo 2014]. Disponible en: <<http://www.csiro.au/.../CSIROau/.../CSIRO%20Plant%20Industry/ATSCmanual>>.
- Khan, M.; M. Kihara and A. D. Omolosa. 2001. "Antimicrobial activity of *Horsfieldia helwigii* and *Melia azedarach*". Fitoterapia 72: 423-427.
- Lahitte, H.; J. A. Hurrell; J. J. Valla; L. Jankowski; D. Bazzano y A. J. Hernandez. 1999. "Biota rioplatense IV". Árboles urbanos. LOLA, Buenos Aires, pp. 192-195.

- Lahitte, H; J. Hurrell; M. Haloua; L. Jankowski y M. Belgrano. 2004. "Árboles Rioplatenses". LOLA. Buenos Aires. 300 p.
- Lev, E. 2002. "Reconstructed materia medica of the Medieval and Ottoman al-Sham". Journal of Ethnopharmacology 80: 167-179.
- Little, E. L. 1961. "Sixty trees from foreign lands". Agricultural Handbook 212. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 30 p.
- Naumann, J. C. and D. R. Young, 2007. "Relationship between community structure and seed bank to describe successional dynamics of an Atlantic Coast maritime forest". Journal of the Torrey Botanical Society. 134(1): 89-98.
- Nixon, E. S.; J. R. Ward; E. A. Fountain and J. S. Neck. 1991. "Woody vegetation of an old-growth creek bottom forest in north-central Texas". Texas Journal of Science. 43(2): 157-164.
- Orwa, C.; A. Mutua; R. Kindt; R. Jamnadass and A. Simons. 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 [Fecha de consulta noviembre 2013]. Disponible en: http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/.../Melia_azedarach
- Padrón, B.; A. Oranday; C. Rivas y M. Verde. 2003. "Identificación de compuestos de *Melia azedarach*, *Syzygium aromaticum* y *Cinnamomum zeylanicum* con efecto inhibitorio sobre bacterias y hongos". Ciencia UANL 6(3): 333-338.
- Pascual-Villalobos, M. J. 1996. "Plaguicidas naturales de origen vegetal: Estado actual de la investigación". Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid. 35 pp.
- Pengue, W. A. 2006. "Agua virtual, agronegocio sojero y cuestiones económico - ambientales futuras". Fronteras 5. (GEPAMA. FADU.UBA). Buenos Aires. 1-16.
- Pensiero, J. F.; H. F. Gutiérrez; A. M. Luchetti; E. Exner; V. Kern; E. Brnich; L. Oakley; DE. Prado y JP. Lewis. 2006. "Flora Vascular de la provincia de Santa Fe. Claves para el reconocimiento de las familias y géneros. Catálogo sistemático de las especies". Santa Fe: Ediciones UNL. 403 p.
- Staravache, C. E; J. Morris; Y. Maeda; I. Oyane and M. Vinatori. "Syringa (*Melia azedarach* L: Berries oil a potential source for biodiesel fuel". Revista de Chimie. 2008. 59: 672-677.
- Schneider, S. H. 1989. "The greenhouse effect: Science and Policy". Science 243(10): 271-281.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. 1999. "Estudio Integral de la Región del Parque Chaqueño". Instituto de Cultura Popular (INCUPO) 67 pp. [Fecha de consulta: marzo 2014]. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/regiones.../17-parque_chaqueno.pdf>
- SIB - Parques Nacionales - Sistema de Información sobre Biodiversidad de Argentina. *Melia azedarach*. [Fecha de consulta: marzo 2014]. Disponible en: <http://www.sib.gov.ar/melia_azedarach>
- Vergara, R.; C. Escobar y P. Galeano. 1997. "Potencial insecticida de extractos de *Melia azedarach* L. (Meliaceae). Actividad biológica y efectos". Rev. Facultad Nacional de Agronomía (Colombia) 50(2):186.
- Wood, C. E. and J. K. Wood. 1989. "Riparian forests of the Leona and Sabinal Rivers". Texas Journal of Science 41(4): 395-412.

