

Aptitud agroclimática de áreas áridas y semiáridas de Argentina para el cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica*) como fuente de bioetanol

Agroclimatic aptitude of the arid and semi-arid areas in Argentina for the cultivation with prickly pear (Opuntia ficus indica) as bioethanol source

Falasca, S.¹; M. A. Bernabé² y C. Lamas²

Recibido en mayo de 2010; aceptado en octubre de 2011

RESUMEN

La tuna (*Opuntia ficus indica*) cumple con los requisitos que deben reunir los cultivos energéticos para zonas áridas y semiáridas. Gran parte de su habilidad para crecer en esos hábitats marginales se debe a que puede cumplir su ciclo con 150 mm anuales de precipitación.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aptitud agroclimática argentina para plantar *Opuntia ficus indica* en áreas marginales con el doble propósito de cosechar higos tuna y utilizar los cladodios para producir bioetanol.

En base a datos climáticos, necesidades bioclimáticas y resistencia a las heladas en diferentes estados ontogénicos de la especie se delimitaron áreas óptimas, apropiadas y marginales de cultivo. Las áreas marginales por heladas delimitadas para plantaciones jóvenes no lo son para plantaciones adultas y las áreas marginales por humedad podrían modificarse mediante la aplicación de riego, ampliando la extensión del agroclima en Argentina.

La zonificación agroclimática permitió ver la potencialidad de expansión del cultivo con fines energéticos en tierras marginales.

Palabras clave: Opuntia; Necesidades bioclimáticas; Zonas agroclimáticas; Bioetanol.

ABSTRACT

The tuna (*Opuntia ficus indica*) fulfills the requirements expected for crops that produce energy growing in arid and semiarid zones. Great part of its ability to grow in marginal habitats is due to it can complete its cycle in areas with a precipitation of 150 mm per year.

The aim of the present paper was to evaluate the agroclimatic aptitude of Argentina to plant *Opuntia ficus indica* in marginal areas for the double purpose to produce tuna as edible fruit and to use the cladodes to produce bioethanol.

Taking on account the available climatic data, the bioclimatic necessities of the tuna and the resistance to frost in its different ontogenetic stages; optimal, appropriate and marginal areas could be delimited for its possible implantation in Argentina.

It must be considered that the marginal areas delimited because of frost are not the same for young and adult plants but on the other hand, the marginal zoning because of moisture could be modified by irrigation, thus increasing the agroclimatic area for this specie.

The agroclimatic zoning of tuna let us see the potentiality of this crop to produce energy growing in marginal areas in Argentina.

Keywords: Opuntia; Bioclimatic necessities; Agroclimatic zones; Bioethanol

¹ Investigador CONICET. Instituto Clima y Agua. INTA. Castelar. Buenos Aires.
E-mail: sfalasca@conicet.gov.ar

² Investigador CONICET. Instituto Clima y Agua. INTA. Castelar. Buenos Aires

1. INTRODUCCION

Los cultivos energéticos deben cumplir con una serie de condiciones: a) producir una elevada cantidad de biomasa a bajo costo de producción, b) desarrollarse en tierras marginales, c) no degradar el medioambiente y d) tener un balance energético positivo, es decir que la energía neta contenida en el biocombustible sea superior a la gastada en el cultivo y en el proceso de transformación.

La tuna, *Opuntia ficus indica*, cumple con todos los requisitos para ser considerado un cultivo energético. *Opuntia* posee un mecanismo fotosintético especializado conocido como Metabolismo del Ácido Crassuláceo (CAM), por el cual las plantas abren sus estomas para captar el CO₂ en la noche, momento en que las temperaturas son bajas y la humedad más alta que durante el resto del día. Esto reduce la pérdida de agua (Nobel, 1995) y ofrece enormes posibilidades de producción de biomasa para destinarla al consumo forrajero en áreas donde la disponibilidad hídrica es limitada (Felker *et al.*, 2006).

Varios investigadores (Felker and Russell, 1988; Le Houérou, 1994; Nobel, 1998; De Kock, 2001; Guevara and Estevez, 2001) han mostrado que la eficiencia de conversión de agua en materia seca en plantaciones maduras es en general, para el género *Opuntia* mejor que las plantas C₃ o C₄.

Existen evidencias arqueológicas que el cultivo de la tuna comenzó en América con la cultura azteca (Pimienta, 1990). Probablemente haya sido Colón quien lo llevó a España como muestra de la flora exótica del nuevo mundo (Barbera, 1999).

Opuntia es una xerófita que comprende unas 300 especies (Mobhamer *et al.*; 2006) las cuales crecen mayormente en zonas áridas y semiáridas. *Opuntia ficus indica* es una especie tropical o subtropical originaria de México y Centroamérica que se ha expandido a países de África, Asia, Europa y Oceanía, en donde se la cultiva o existe en forma asilvestrada. Perteneciente a la familia de las Cactáceas, recibe diferentes nombres vulgares como chumbera (España), nopal (México), fico d'India (Italia), figue de Barbarie (Francia), cactus pear (USA), beles (Etiopía), palma forrajera (Brasil), tuna (Argentina), etc.

Esta planta arbustiva puede alcanzar alturas de 3,5 a 5,0 m. Los tallos se lignifican con el tiempo hasta hacerse leñosos grisáceos. Las flores, hermafroditas, se desarrollan en la parte superior de las pencas. Florece generalmente una sola vez al año. Las flores y los cladodios se consumen como verdura en México. Los cladodios parcialmente lignificados se emplean para producción de harinas y otros subproductos (Villegas y De Gante, 1997).

Las lluvias aisladas favorecen la formación de raíces secundarias para aprovechar el agua disponible. Cuando se inicia la sequía, las raíces comienzan a contraerse de manera radial para disminuir las pérdidas de agua (Nobel, 1998). Sus raíces pueden correr de 4 a 8 m por debajo de la planta madre (Sudzuki, 1999).

En Etiopía se la utiliza como alimento para el ganado en época de sequía, utilizándose los frutos y los cladodios (SAERT, 1994).

Como cultivo, la tuna ha demostrado su éxito agronómico en vastas áreas semiáridas de Brasil, Marruecos, México, Sudáfrica y Túnez (Nefzaoui y Ben Salem, 2001).

Esta especie está siendo utilizada para prevenir la erosión, combatir la desertificación y recuperar áreas degradadas, que tienen pedregosidad, o pendiente elevada o bajo contenido de materia orgánica, etc. Sin embargo, esa capacidad de adaptación ha causado problemas en lugares donde se la introdujo por la ausencia de enemigos naturales y manejo apropiado, para convertirse en maleza nociva en varios países.

En Argentina, sólo se consume la fruta fresca. Los consumidores argentinos prefieren las variedades amarillas, sin espinas, las que representan el 80 % de los biotipos disponibles; sin embargo, se exportan los tipos rojos y anaranjados (Ochoa, 2003).

Según Ochoa (1997a) en Argentina el cultivo de la tuna está extendido principalmente en la región del NOA, tradicionalmente en pequeñas plantaciones. El cultivo tecnificado ha aumentado en los últimos años y actualmente existen cerca de 2.000 hectáreas (Ochoa, 2003). Esta área se suma a las 200.000 has de tuna silvestre explotada en localidades rurales (Ochoa y Uhart, 2004). Consiguen buenos rendimientos, entre 8 y 12 toneladas de tunas por hectárea en zonas de secano, volumen similar al que se logra en países que disponen de riego. El 39 % de las plantaciones nacionales están en Tucumán, 22 % en Catamarca, 14 % en Santiago del Estero, 12 % en La Rioja, 10 % en Salta, 2 % en Córdoba y 1 % en Mendoza.

Existe además, cierto grado de industrialización de los frutos y en el comercio local se encuentran algunos productos procesados; como el arrope, mermeladas y jaleas (Ochoa, 1997b). En Argentina, existen antecedentes de la utilización de la cochinilla desde los tiempos coloniales; el colorante se usaba para teñir lanas, telas y ponchos. Actualmente se está tratando de reimpulsar esta actividad a fin de lograr una actividad más integrada en torno a este cultivo. En el medio rural se utilizan los cladodios cortados para clarificar el agua de represa o de lluvia recolectada para beber. El mucílago se usa como adherente, mezclado con cal para el blanqueo de las habitaciones de las casas de adobe (Ochoa, 1997b).

Necesidades bioclimáticas y rendimiento

Gran parte de su habilidad para crecer en áreas marginales se debe a que puede cumplir su ciclo anual con 150 mm, siendo desde el punto de vista hídrico la condición óptima a partir de los 300 mm anuales. La mayoría de las plantaciones comerciales con doble propósito (verdura y fruto) se ubican donde las precipitaciones primaverales totalizan 600-800 mm (Saénz *et al.*, 2006).

Una hectárea de plantas de tuna de más de cinco años puede producir hasta 100 toneladas frescas de cladodios al año en superficies que reciben poca lluvia, es decir, 150 mm anuales (Saénz, *et al.*, 2006). Con 250 mm de precipitación anual y un riego en julio de 40 mm aporta 15 tn/ha de frutos y 105 tn/ha de cladodios (en peso fresco). Ello da una producción de 1 m³ de etanol/ha (Fernández, 2007).

La temperatura del suelo es la responsable del crecimiento de la raíz y la simulación de la elongación con una concentración doble de CO₂ indica un mayor crecimiento de la raíz frente a un escenario de calentamiento global (Drenan and Nobel, 2002).

Un factor muy importante que le afecta es la humedad relativa; ya que cuando es demasiado baja, deshidrata los tejidos y al aumentar, la planta encuentra condiciones menos favorables para su desarrollo y fructificación, además de estar más propenso al ataque de plagas y enfermedades. Se encontró que el factor responsable directo en la emisión de cladodios es la temperatura y no la humedad, ya que existe un aumento en la producción asociado con el aumento de temperatura y viceversa.

Desarrolla bien con temperaturas medias de 12 °C a 34 °C (Sosa y García, 1997). El rango óptimo de temperatura se circunscribe entre 16 °C a 28 °C, (Cony *et al.*; 2008), soportando una temperatura máxima de 35 °C, fuera del cual la brotación se ve afectada.

Con respecto a las heladas, la mayor parte de los cultivares presentan daños irreversibles con temperaturas en el rango de -5 °C a -12 °C (Nobel, 1990; Nobel and Loik, 1993). Sin embargo, en dormición, en pleno invierno, resistieron en África -8.1 °C, pero los mayores daños por heladas ocurrieron en primavera (Snyman, 2006).

L'Houérou (1996) cita la supervivencia de plantas con temperatura absoluta de -16 °C. No obstante, según Guevara y Estévez (2001) el principal problema para la expansión del cultivo en la provincia de Mendoza (Argentina) lo constituye el frío invernal.

En un ensayo llevado a cabo en esa provincia, frente a temperaturas de $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ hubo destrucción total en plantas de 9 meses de edad, pero el daño fue sólo del 25 % cuando las plantas tenían 3 años. Por eso Guevara *et al.*, (2000) sostienen que deberá prestarse protección a las plantas durante los 2 primeros años. Entonces, la severidad del daño en la tuna se relaciona con la edad, el estado fisiológico y la duración de la temperatura debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Le Houérou, 1994; 1996; Guevara *et al.*, 2000).

La tolerancia al frío depende no sólo de las temperaturas mínimas, sino de la forma que actúan, es decir, en forma gradual o repentinamente, y del estado fenológico. Le Houérou (1994) y Wang *et al.* (1997) sostienen que la diferencia entre la temperatura diurna y nocturna genera la tolerancia a las heladas.

Rusel and Felker (1987) reportaron que clones de *Opuntia sp* soportaron temperaturas mínimas de $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante unas pocas horas. Cony *et al.* (2008) comprobaron que una plantación resistió $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 10 horas pero eso significó una merma en los rendimientos, expresado como peso seco de los cladodios.

Sin embargo, para Nobel y De la Barrera, (2002) aparecen daños en frutos y raíces con temperaturas de $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que Le Houérou, (1996) expresa que en condiciones de campo *Opuntia ficus indica* soporta temperaturas que exceden los $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y hasta $58\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Normalmente las altas temperaturas provocan la deshidratación de los tejidos. Cony *et al.*, (2008) expusieron durante 8 horas especies del género *Opuntia* a $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ y no hubo deshidratación. La capacidad de un alto contenido de agua en los cladodios de *Opuntia sp* actúa como un buffer para mantener elevado el potencial agua por un prolongado tiempo (Osmond, 1978). En adición, la baja densidad estomática, el espesor de la cutícula y la habilidad de las células para evitar la deshidratación son las adaptaciones que presentan las especies del género *Opuntia* (Nobel, 1999).

Puede crecer desde el nivel del mar hasta los 3000 m s.n.m. Se desarrolla en suelos sueltos, arenosos, poco fértiles, superficiales, pedregosos. No es conveniente su cultivo en suelos muy húmedos ni muy arcillosos (Sosa y García, 1997).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la aptitud agroclimática argentina para plantar *Opuntia ficus indica* en áreas marginales con el doble propósito de cosechar higos tuna y utilizar los cladodios para producir bioetanol.

2. MATERIALES Y METODOS

Para buscar la zonificación agroclimática en Argentina, se analizaron las necesidades bioclimáticas de la especie a partir de bibliografía internacional y se graficaron las disponibilidades térmica e hídrica, empleando datos climáticos para el período 1971-2000.

Así se mapearon las isoyetas medias anuales, resaltando las correspondientes a 150 mm y 300 mm. Se clasificó como área inepta cuando el nivel resulta inferior a 150 mm, marginal con 150-300 mm y apta cuando supera ese valor. Así se confeccionó la Figura 1.

Se mapearon las isotermas medias anuales, clasificando como área apta a aquella con temperaturas medias anuales superiores a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Sosa y García, 1997), resaltando como área óptima, a aquella en el rango de $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Cony *et al.*; 2008). Los resultados se volcaron en la Figura 2.

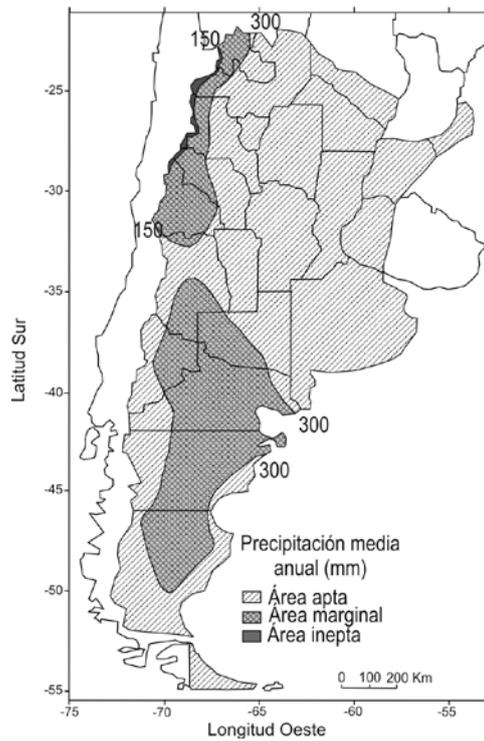


Figura 1. Precipitación media anual.

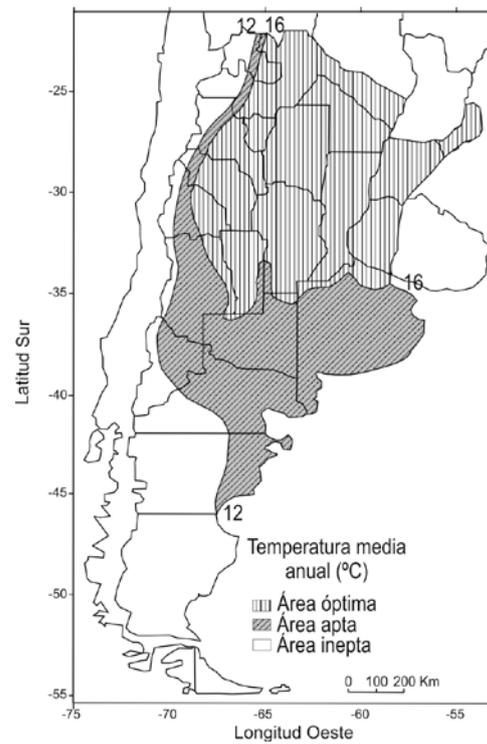


Figura 2. Temperatura media anual

Para considerar el frío invernal y la resistencia a las heladas se tomó como límite la intensidad de heladas invernales de $-8.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Snyman, 2006) para plantaciones jóvenes, de menos de un año. Al considerar plantaciones adultas, de más de 3 años, se tomó la temperatura mínima absoluta de $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (L´ Houérou, 1996) como límite de resistencia a bajas temperaturas en el descanso invernal. Los resultados se presentaron en la Figura 3.

Se graficaron las temperaturas medias primaverales, indicando como rango de temperaturas óptimas: de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Rojas, 1961). Dicha zonificación se aprecia en la Figura 4.

Con respecto a las temperaturas máximas, según datos bibliográficos, la tuna tolera hasta $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Nobel y De la Barrera, 2002); o hasta $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Le Houérou, 1996) sin que se produzcan daños en los cladodios. En ninguna parte del territorio nacional se registran durante el período analizado temperaturas de esa magnitud, por lo que se presenta la tuna como un cultivo alternativo para la producción de bioetanol en lugares donde muy pocas especies vegetales pueden prosperar con esos regímenes térmicos.

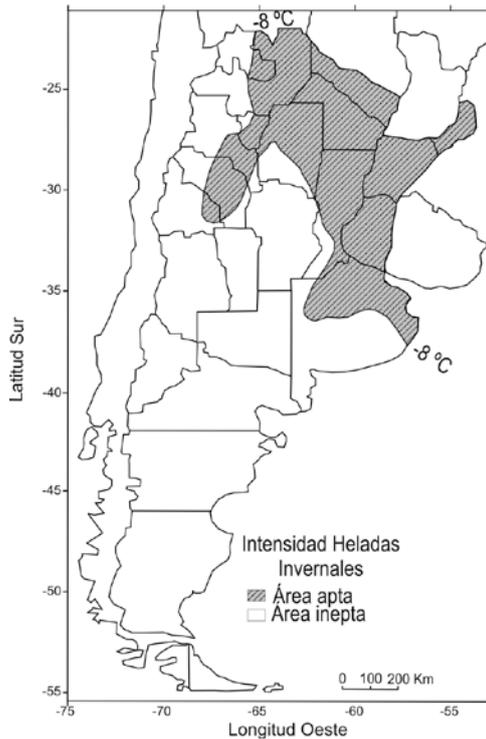


Figura 3. Intensidad de heladas invernales

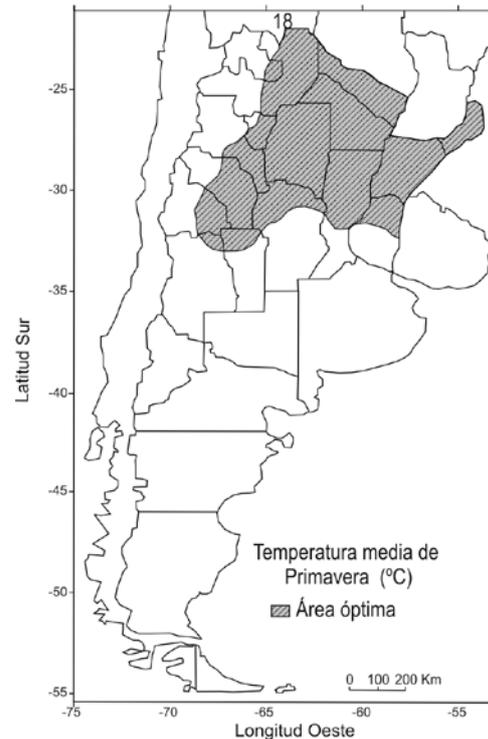


Figura 4. Temperatura media Primavera

3. RESULTADOS

La Figura 5 muestra la aptitud agroclimática argentina para plantaciones jóvenes. El área óptima para instalar plantaciones jóvenes, abarca las provincias del litoral, la totalidad de las provincias de Formosa y Chaco, parte oriental de Jujuy, este y centro de Salta, casi toda Tucumán, sector oriental de La Rioja y Catamarca, norte y centro de Santa Fe y gran parte de Santiago del Estero. Las áreas aptas se ubican en el NE de Mendoza, N de San Luis, centro-sur de Santiago del Estero, N de Córdoba, SE de Santa Fe, centro-sur de Entre Ríos, norte y centro de Buenos Aires. Áreas marginales por heladas para plantaciones jóvenes aparecen en el N de Salta, centro de Jujuy, de Catamarca y de Salta, parte de las provincias de Mendoza, San Luis, Neuquén, La Pampa, Córdoba, Chubut, y centro-sur y oeste bonaerense. Estas áreas dejan de ser marginales para plantaciones adultas que toleran hasta -16 °C durante el invierno, sin que se registren daños.

Se presenta esta área como apta para plantaciones adultas, como se puede apreciar en la Figura 6. Es así porque la temperatura mínima absoluta de -16 °C que cabe esperar con una recurrencia de 1 vez cada 30 años se sitúa más al sur que el límite sur impuesto por el área señalada como marginal por humedad.

Las áreas marginales por humedad podrían complementarse con riego ampliando el agroclima natural, anulando la condición hídrica adversa que le impediría a la tuna cumplir el ciclo. De esta forma si se suman las áreas óptimas, aptas, marginales por humedad, que podrían, en cierto modo modificarse en parte mediante la implementación de riego cada 15 días, se puede afirmar que más de la mitad de la superficie del país presenta aptitud para el cultivo de la *Opuntia*, como se aprecia en la Figura 6.

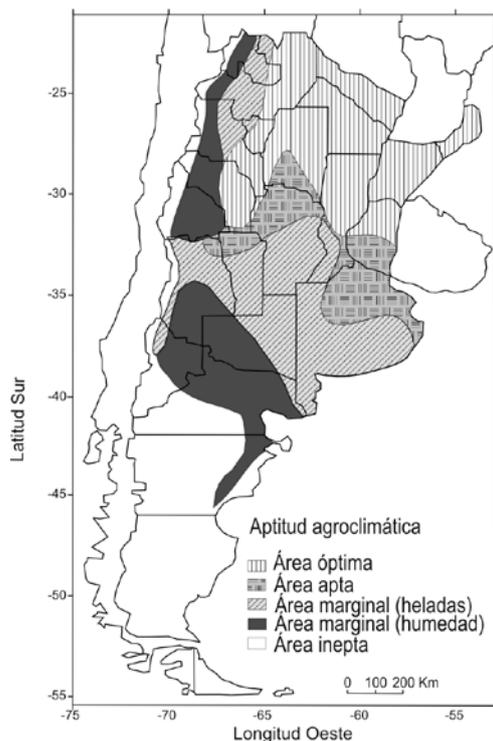


Figura 5. Aptitud agroclimática plantaciones jóvenes

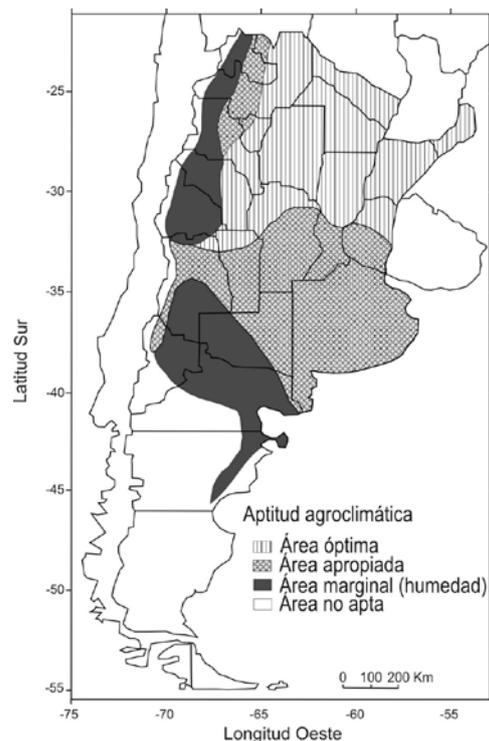


Figura 6. Aptitud agroclimática plantaciones adultas

El cultivo deberá relegarse a áreas marginales, donde resulta costoso implantar cultivos tradicionales. Además de las típicas provincias del NOA, se dan condiciones agroclimáticas para la explotación con el fin de producir frutos y bioetanol en sectores de las provincias de La Rioja, Catamarca, San Juan, Mendoza, San Luis, Córdoba, Santiago del Estero, Neuquén, La Pampa y Río Negro. Aún en las tierras de la diagonal árida con baja disponibilidad de agua resulta muy probable que se obtengan rendimientos satisfactorios.

El cultivo de la tuna en esos sectores semiáridos puede ayudar a detener la erosión, servir de alimento para el ganado, y producir etanol o biogas, en áreas rurales, donde falta energía y contribuir a una mejor calidad de vida de sus lugareños.

Obviamente que el factor económico y la rentabilidad jugarán un papel importante en la motivación por parte de los agricultores para la adopción de este nuevo cultivo.

4. CONCLUSIONES

Se delimitó la aptitud agroclimática argentina para plantaciones jóvenes y para plantaciones adultas de *Opuntia ficus indica*, plantaciones que podrán ser destinadas con doble propósito: para producción de fruta y como cultivo energético.

Más de la mitad de la superficie de Argentina posee aptitud apropiada para el cultivo de la *Opuntia*, incluidas las aptitudes óptima y marginal con riego.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbera, G. 1999. "Agroecología, cultivo y usos del nopal". In: G. Barbera, P. Inglese y E. Pimienta, eds. p 1-12. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 132. Roma.
- Cony, M; J.C. Guevara; S. O. Trione y O. R. Estevez. 2008. "Response to freezing and high temperatures of detached cladodes from *Opuntia* species". J. PACTD: 36-48.
- De Kock, G.C., 2001. "The use of *Opuntia* as a fodder source in arid areas of Southern Africa". In: C. Mondragón-Jacobo and S. Pérez-González Eds. Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. p 101-105. FAO Plant protection and production. Paper 169. Rome.
- Drenan, P. and P.S. Nobel. 2002. "Root growth dependence on soil temperature and a double CO₂ concentration". Functional Ecology 12 (6): 959-964.
- Felker, P. and C.E Russell. 1988. "Effects of herbicides and cultivation on the growth of *Opuntia* in plantations". Journal of Horticultural Science 63(1):149-155.
- Felker, P.; A. Paterson and M. M. Jenderek. 2006. "Forage Potential of *Opuntia* Clone Maintained by the USDA, National Plant Germplasm System (NPGS) Collection". Crop Sci, 46:2161-2168.
- Fernández, J. 2007. "El agua en la producción de alimentos y biocombustibles". Economía exterior N° 41. España. 7 pp.
- Guevara, J.C. and O.R. Estevez. 2001. "Opuntia spp. for fodder and forage production in Argentina: Experiences and prospects". In: C. Mondragón-Jacobo and S. Pérez-González eds. Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. p 66-69. FAO Plant protection and production. Paper 169. Rome.
- Guevara, J.C.; J.M. Gonnet and O.R. Estevez. 2000. "Frost hardiness and production of *Opuntia* forage clones in the Mendoza plain, Argentina". Journal of Arid Environments 46: 199-207.
- Le Houérou, H.N. 1994. « Drought-tolerant and water-efficient fodder shrubs, their role as a "drought insurance" in the agricultural development of arid and semi-arid zones in Southern Africa". Report to the Water Research Commission of South Africa. N° KV 65/94, 139 pp.
- Le Houérou, H.N. 1996. « The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin". Journal of Arid Environments 33: 135-159.
- Mobhammer, M.R.; F.C. Stintzing and R. Carle. 2006. "Cactus pear fruits (*Opuntia* spp.): A review of processing technologies and current uses". Proceedings of the Professional Association for Cactus Development 8: 1-24.
- Nefzaoui, A. y H. Ben Salem. 2001. "Cactus (*Opuntia* spp.) as forage *Opuntia*". In: Mondragon-Jacobo, C. y Perez-Gonzalez, S. eds. A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the Wana region. p 73-89. FAO Plant Production and Protection. Paper 169. Roma.
- Nobel, P.S. 1990. "Low-temperatures tolerance and CO₂ uptake for platyopuntias - a laboratory assessment". Journal of Arid Environments 18: 313-324.
- Nobel, J.L. 1995. "Changes in water potential and its component during shoot formation in cacti callus". *Physiol. Plant*, 45: 92-97
- Nobel, P. S.1998. "Los incomparables ágaves y cactus". Ed. Trillas. México. 211pp.
- Nobel, P.S. 1999. "Biología ambiental". In: Barbera, G., Inglese, P. y Pimienta, Eds. Agroecología, cultivo y usos del nopal. p 37-50. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 132. Roma.
- Nobel, P.S., and E.M. Loik. 1993. Low-temperature tolerance of prickly pear cacti. In: Proceedings 4^o Annual Texas Prickly Pear Congress. Lubbock, Texas.
- Nobel, P.S. and E. De la Barbera. 2002. "Tolerances and acclimation to low and high temperatures for cladodes, fruits and roots of a widely cultivated cactus, *Opuntia ficus indica*". New Phytologist 157 (29): 271-279.

- Ochoa, J. 1997a. "Aspects of *Opuntia* cultivation and post-harvest handling in South America". International Workshop on Promotion of minor fruits crops: Cactus pear. University of Sassari, Sassari, Italy and FAO. Roma.
- Ochoa, J. 1997b. "Estado actual del nopal en la Republica Argentina". In: Memorias VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Monterrey, México. p 21-27.
- Ochoa, J. 2003. "Principales características de las distintas variedades de tuna (*Opuntia* spp.) de la República Argentina". In: Inglese, P. y Nefzaoui, A. eds. Cactusnet Newsletter. FAO International Technical Cooperation Network on Cactus pear. Número especial. Roma.
- Ochoa, J. y S. Uhart. 2004. "Nitrogen availability and fruit yield generation in tuna (*Opuntia ficus-indica*): IV. Effects on fruit yield on dry matter partitioning to reproductive sinks". In: Memorias. X Congreso Nacional y VIII Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Chapingo, México. p 65-76
- Osmond, C.B. 1978. "Crassulacean acid metabolism: a curiosity in context". Annual Review of Plant Physiology 29: 379-414.
- Pimienta, E. 1990. "El nopal tunero". Universidad de Guadalajara, México. 246 pp.
- Rojas M., P. 1961. "Aprovechamiento de las zonas áridas. Cultive nopal tierno". Agronomía 79. ITESM. Monterrey, N.L., México.
- Russel, C. and P. Felker. 1987. "The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): A source of human and animal food in semiarid regions". Econ. Bot. 41:433-445.
- Sáenz, C; H. Berger; J. Corrales García; J. Galletti; V. García de Cortázar; I. Higuera; C. Mondragón; A. Rodríguez-Félix; E. Sepúlveda y M.T. Varnero. 2006. "Utilización agroindustrial del nopal". Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 162. 165 p.
- SAERT. 1994. "Cactus as supplementary food and forage support component of SAERT. Volume VII" prepared by UNDP, ECA/FAO. The Regional Government of Tigray and TDA.
- Snyman, H.A. 2006. "Frost Sensitivity of *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* in a Semiarid Climate of South Africa". J. PACT: 1-21.
- Sosa, V.E y M.P. García. 1997. "Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina". 100-105. FAO. Santiago de Chile.
- Sudzuki, F. 1999. "Anatomía y morfología". In: Barbera, G., Inglese, P. y Pimienta, E., eds. Agroecología, cultivo y usos del nopal. p 29-36. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 132. Roma.
- Villegas y de Gante, M. 1997. "Los Nopales (*Opuntia* spp.) recursos y símbolos tradicionales en México". In: Memorias. VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma de Nueva León, Monterrey, México. p 271-273.
- Wang, X., P. Felker, and A. Paterson. 1997. "Environmental influences on cactus pear fruit yield, quality and cold hardiness and development of hybrids with improved cold hardiness". Journal of the Professional Association for Cactus Development 2: 48-59.

