

## EL AGROCLIMA DEL CARDO (*CYNARA CARDUNCULUS*) COMO CULTIVO ENERGÉTICO EN ÁREAS SEMIÁRIDAS DE ARGENTINA

S. Falasca<sup>1</sup>, A. Ulberich<sup>2</sup>.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
PROGRAMA DE ESTUDIOS SOBRE EL MEDIOAMBIENTE Y LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA.  
CINEA. Facultad de Ciencias Humanas. UNICEN. Pinto 399.CP. 7000. Tandil, pcia Buenos Aires.  
Tel: 011-4222-0570 – Fax 011-4222-0680 e-mail: sfalasca@conicet.gov.ar

**RESUMEN:** El objetivo del presente trabajo fue identificar el área geográfica para el desarrollo del cardo (*Cynara cardunculus var cardunculus*) en Argentina, como materia prima para producir biocombustibles, dando especial énfasis a los sectores marginales. Para buscar una probable zonificación en Argentina, se tuvieron en cuenta los límites térmicos e hídricos de su lugar de origen. Luego se calcularon los índices agroclimáticos a partir de los datos climáticos extraídos de las Estadísticas climáticas editadas por el Servicio Meteorológico Nacional, para el período 1961-1990. Se elaboraron los mapas correspondientes a cada uno de los índices agroclimáticos y el mapa resultante de la superposición fue el que definió al agroclima de la especie en Argentina. Dicho mapa muestra la superficie con condiciones óptimas desde el punto de vista hídrico para el desarrollo del cardo, limitada por la isoyeta de 400 mm y el límite hídrico de 200 mm que permite realizar el cultivo aún en condiciones de secano, no existiendo limitantes desde el punto de vista térmico.

**Palabras clave:** *Cynara cardunculus*, biodiesel, biomasa, agroclima, Argentina.

### INTRODUCCION

El desafío actual en Argentina consiste en desarrollar materiales que puedan ser utilizados como biocombustibles en zonas que hoy están fuera de la producción agrícola tradicional. El factor tierra es escaso y, como tal, debe enfocarse a producir aquella materia prima que tenga demanda fluida. Con el crecimiento del negocio de los biocombustibles comenzaron en nuestro país a ser corrientes planteos de diversificación de las fuentes de materias primas, en especial para evitar un mayor crecimiento del cultivo de soja. Cuando se define un cultivo como apto hay que analizar el volumen que podría obtenerse en distintas zonas, los recursos técnicos y humanos y las facilidades para una industrialización eficiente. Es importante relevar las tierras potencialmente aptas para estudiar sus aspectos edáficos, disponibilidad de agua e impacto ambiental potencial en la agricultura.

*Cynara cardunculus var cardunculus* L., pertenece a la familia de las Compuestas. Se conoce con nombres vulgares como penca, cardo penquero, cardo de castilla, cardón. El centro de origen se ubica en sur de España y norte de África (Fernández et al., 2006), donde se la ha utilizado como hortaliza desde tiempos muy antiguos, incluso antes que el alcaucil (*Cynara cardunculus var scolymus*), ya que éste derivaría de él. Su difusión como cultivo para consumo humano es muy escasa.

Fue introducido en nuestro país de forma accidental a mediados del siglo XVIII posiblemente con semillas de trigo para ser cultivadas en las pampas. La actividad humana lo sembró conjuntamente con las semillas buenas pero luego se expandió por efecto del viento (Amaral, 1997). Crece en Argentina a fines de verano y principios de otoño, florece a finales de primavera y principios de verano, pero produce semillas casi todo el año (Marzocca, 1976). Es considerada una maleza que crece en los caminos, en tierras cultivables y no cultivables. Todo el mundo procura evitarlas por las espinas. En nuestro país es considerada como Plaga Nacional y está citada por la Ley de Sanidad Vegetal N° 5.770

En su centro de origen, la semilla, diseminada en verano, germina en otoño y hasta el final de la primavera, momento en el que sale el tallo del centro de la planta. Éste sale con varios capítulos secándose al final del verano, pero las raíces y las yemas remanentes de la base del tallo permanecen vivas (Fernández et al.; 2007).

El cultivo seco puede ser usado como biocombustible sólido debido a su composición lignocelulósica mientras que los frutos secos, vulgarmente conocidos como semillas son ricos en aceite (Curt et al.; 2002). El aceite es similar al de girasol, razón por la cual puede usarse también con fines energéticos (Encinar et al.; 1999 y Raccuia and Melilli, 2007). Es decir que el potencial energético de esta planta incluye biocombustible sólido (material lignocelulósico de la planta) y biocombustible líquido o aceite (Fernández et al.; 2006).

---

<sup>1</sup> Investigador Adjunto CONICET y Director del PREMAPA. (CINEA)

<sup>2</sup> Profesora Adjunta e Investigadora del PREMAPA. (CINEA).

Los frutos representan el 8% de la biomasa, es decir 1.36 Tn de semillas por ha y por año al finalizar el ciclo (Fernández, 1998).

Las hojas basales (20%) poseen un Poder Calorífico Inferior (PCI) de 2400 kcal/kg; la hojas del tallo (13%) un PCI de 3800 kcal/kg; los tallos y ramas, (que poseen un 45% de celulosa) tienen un PCI de 3900 kcal/kg, tienen una médula en su interior que constituye el 25% de su peso; los capítulos (33%), representan las inflorescencias que contienen los frutos secos, los vilanos que sirven para la dispersión de la semilla, los pelos que salen de la base del receptáculo y rodean los ovarios, las brácteas involucrales que rodean todo el exterior del capítulo provistas por grandes espinas y el receptáculo donde se asientan las flores rodeadas por pelos. Los frutos representan el 30% del peso del capítulo (tienen un contenido del 70% de celulosa y un 30% de hemicelulosa). Las hebras que forman los vilanos tienen una estructura plumosa en contraposición a la de los pelos que son lisas. Las brácteas y el receptáculo tienen una consistencia lignocelulósica, representan el 50% del peso de los capítulos con un PCI medio de 3700 kcal/kg. (Fernández González y García Muller, 2004).

#### *Posibilidades de uso del cardo*

- Los frutos (aquenios) con alto contenido de aceite (25%), proteína (20%) y fibra, utilizables para alimentación animal, producción de aceite o ambas a la vez (Fernández y Curt, 2004). El aceite puede tener aplicación humana, en cosmética, farmacia y biodiesel (Fernández et al.; 2007).
- Tallos y ramas desmedulados como materia prima para la producción de pasta celulósica o para obtener bioetanol (Fernández et al., 2006).
- Pelos del receptáculo de los capítulos, de elevado contenido de celulosa utilizables para papel de alta calidad como papel moneda (Fernández y Manzanares, 1990).
- Vilanos de alto contenido de celulosa para papeles de alta calidad. Teniendo en cuenta su estructura plumosa de sus hebras y suavidad podrían ser utilizados como material aislante en confecciones de abrigo y como fibras para materiales compuestos (Fernández et al., 2006).
- Médula (residuo del proceso de desmedulado de los tallos), compuesta por celulosa y hemicelulosa principalmente con aplicación como materia prima en la industria celulósica como absorbente de agua, o en su defecto para usos térmicos.
- Resto de la biomasa lignocelulósica (hojas, restos de capítulos, brácteas, receptáculo, restos de tallos y de ramas como biocombustibles sólidos con un PCI medio de 3200 kcal/kg sobre base seca (Fernández González y García Muller, 2004).

El contenido calórico de la biomasa, con 0% de humedad, es de 4 termias por kilogramo (1 th = 1000 kcal). Si se compara con el contenido calórico del petróleo (10 termias por kg) o el carbón de antracita (7 termias por kg), se puede establecer que una tonelada de biomasa seca de cardo tiene el mismo contenido calórico que 400 kg de petróleo (Agencia Andaluza de Energía, 2007).

Los materiales lignocelulósicos son los que sirven en la actualidad para calefacción y generar electricidad (Fernández et al.; 2007) y los que ofrecen en el futuro, un potencial mayor para la producción de bioetanol. El cardo, que presenta un elevado contenido en biomasa lignocelulósica, hace que el proceso de obtención de los azúcares para su transformación en etanol sea más difícil que en el caso del almidón y, aunque todavía no existen plantas comerciales de producción de etanol que utilicen biomasa lignocelulosa, en los últimos años se han realizado avances significativos en investigación y desarrollo.

La producción de biomasa de una tierra cultivada de cardos depende en gran medida de la disponibilidad de agua en primavera y de la época de crecimiento activo. Como valor medio de productividad, para lluvias del orden de los 400 - 450 mm en la Meseta central española, se puede pensar en un rendimiento de biomasa cosechable de unas 17 toneladas por hectárea, con una humedad media del 15%, lo que representa en materia seca 14.5 toneladas (Fernández y Curt, 2004; Agencia Andaluza de Energía, 2007). En condiciones secas González et al.; (2004) reportaron como promedio de 5 años en 5 localidades españolas (Madrid, Navarra, Aragón, Extremadura y Andalucía), un rendimiento promedio de 10 toneladas por hectárea.

Los aspectos más importantes se resumen en la valorización de la biomasa proveniente del cardo, la valorización del aceite extraído de las semillas para producción de biodiesel, la producción de bioetanol y el estudio de viabilidad técnico - económica (Encinar et al., 2002).

El objetivo del presente trabajo fue identificar el área geográfica para el desarrollo del cardo (*Cynara cardunculus var cardunculus*) en Argentina, como materia prima para producir biocombustibles, dando especial énfasis a los sectores marginales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El bioclima en su área de origen fue definido por los siguientes índices: temperatura media de los meses de verano superior a 28 °C, temperatura media mensual de los meses de invierno mayor a 7 °C, precipitaciones medias anuales superiores a 400 mm, que indicarían la condición óptima; y mayores a 200 mm, que delimita el área de secano del cultivo, es decir sin necesidad de recurrir al riego artificial, aunque la producción de biomasa decrece (Fernández, 1998).

Según Fernández y Curt, (2004), para un buen desarrollo de la planta, ésta necesita 400-450 mm, siendo más efectiva la lluvia de primavera. En el área de dispersión mediterránea de *Cyanara cardunculus*, la lluvias están concentradas en otoño y primavera y soporta largos periodos de sequía, secando su parte aérea.

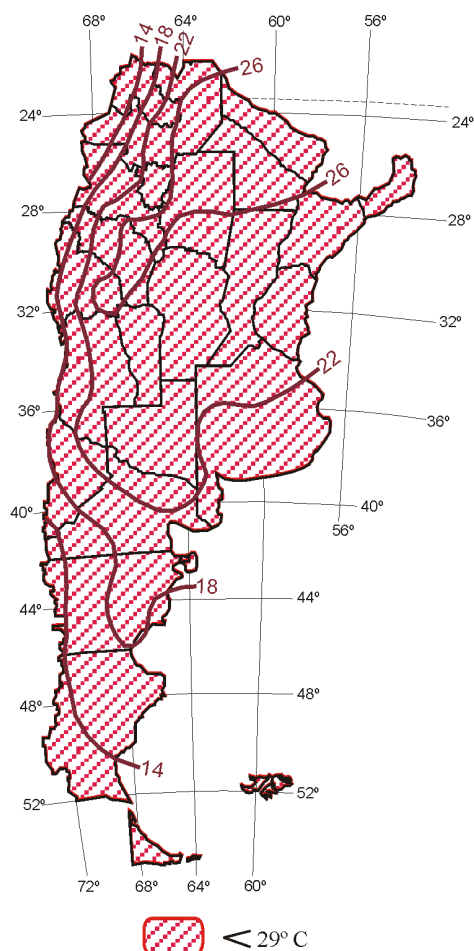


Figura 1. Temperatura media de verano (diciembre, enero y febrero)

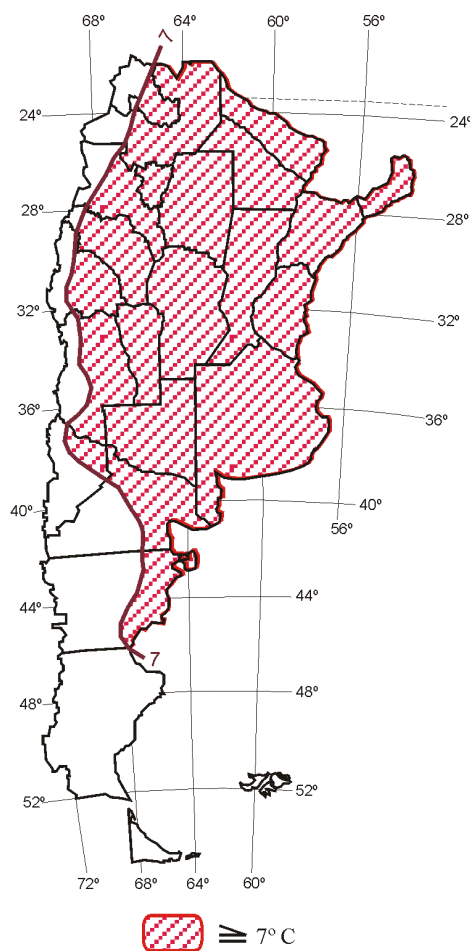


Figura 2. Temperatura media de invierno (junio, julio y agosto)

Para buscar una probable zonificación en Argentina, se calcularon los índices climáticos a partir de los datos climáticos extraídos de las Estadísticas Climáticas para el periodo 1961-1990 (SMN, 1996) y teniendo en cuenta las características climáticas del centro de origen de la especie. Las estaciones meteorológicas involucradas fueron 86, todas pertenecientes a la red del Servicio Meteorológico Nacional, que contaban con registros continuos para todo el periodo. Se tomaron como meses de verano a diciembre, enero y febrero, y como meses de invierno a junio, julio y agosto, a los fines de obtener los índices agroclimáticos correspondientes.

Además se analizaron para el mismo récord de años las temperaturas mínimas absolutas, ya que el Cardo, en estado de plántula, es muy sensible a las heladas, incrementándose notablemente la resistencia a medida que va teniendo más hojas. Según Fernández (1998) con 4 hojas puede aguantar temperaturas inferiores a  $-5^{\circ}\text{C}$  y en estado avanzado de desarrollo tolera hasta  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Esta información sirvió de base para verificar en qué lugares geográficos de Argentina es posible su explotación comercial con fines energéticos. Luego se elaboraron todos los mapas correspondientes a cada uno de los índices agroclimáticos y el mapa resultante de la superposición de todos los anteriores fue el que definió al agroclima de la especie.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figura 1 y 2 marcan el límite térmico para el cultivo de *Cynara cardunculus*. Mientras que la Figura 1 considera las isotermas de verano para excluir las áreas que sobrepasan los  $29^{\circ}\text{C}$  (como promedio de diciembre, enero y febrero) la Figura 2 muestra las isotermas medias de invierno que superan el límite de los  $7^{\circ}\text{C}$ . Así, en la Figura 1 se aprecia que la isoterma más alta que recorre el país es la de  $26^{\circ}\text{C}$ , lo que estaría indicando que no le afectarían al cardo las temperaturas altas que se registran en el norte argentino y las raíces se mantendrán frescas con abundantes sustancias de reserva, lo que garantizará el crecimiento de la planta en la siguiente primavera, aunque se le seque la parte aérea.

La Figura 2 abarca una gran área que cubre el noreste, norte y centro del país llegando el límite sur hasta el límite interprovincial oriental entre Río Negro y Santa Cruz. Ello está indicando su posible dispersión hacia latitudes altas ( $46^{\circ}\text{LS}$ ).

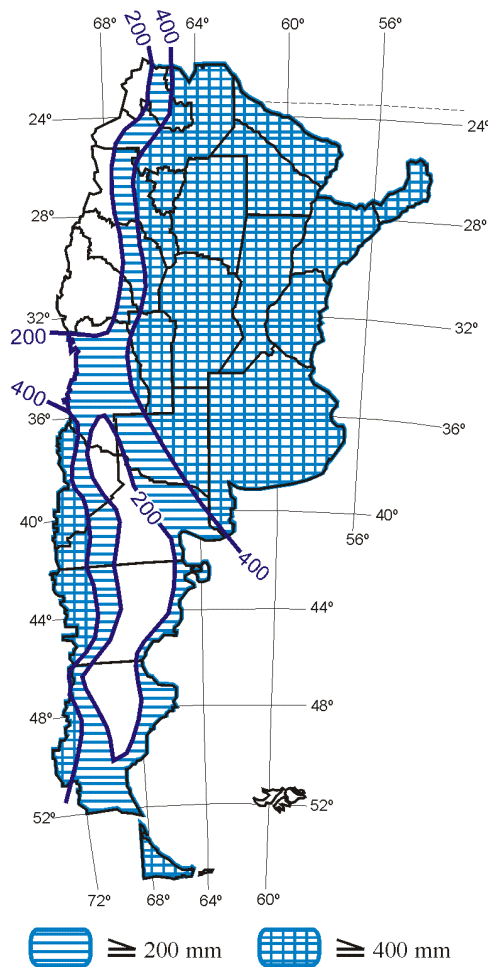


Figura 3. Precipitación media anual

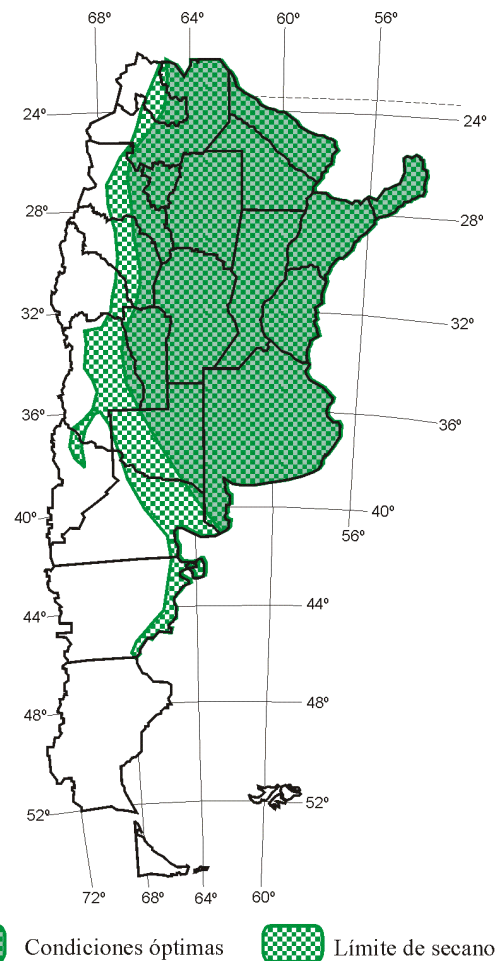


Figura 4. Zona potencialmente apta para el cultivo de *Cynara cardunculus*

La Figura 3 muestra la superficie con condiciones óptimas desde el punto de vista hídrico para el desarrollo del cardo, limitada por la isoyeta de 400 mm y el límite hídrico de 200 mm que permitiría realizar el cultivo aún en condiciones de secano, abarcando grandes extensiones en el sector patagónico.

En la Figura 4 se visualizan las áreas potenciales de cultivo. Las condiciones óptimas están delimitadas por la isoyeta de 400 mm y el límite de cultivo en condiciones de secano lo fija la isoyeta de 200 mm, aunque con menores rindes según la bibliografía citada. Ambas áreas delimitadas incluyen además de la región argentina con agricultura tradicional, sectores subhúmedos a semiáridos de las provincias de Salta, Jujuy, La Rioja, Catamarca, San Juan, San Luis, Mendoza, La Pampa, Neuquén, Río Negro y Chubut. Sin embargo, analizando las temperaturas mínimas absolutas para el mismo período, aparecieron estaciones que han registrado valores inferiores a  $-10^{\circ}\text{C}$ , lo que estaría indicando una probabilidad de muerte del cardo. En esas localidades se debería calcular el período de retorno de que ocurran valores iguales o inferiores a ese nivel. Las localidades involucradas fueron: General Pico, Santa Rosa, Río Colorado, Pigüé, Bahía Blanca y Viedma.

Lo recomendable sería efectuar la siembra en el otoño temprano para que varias yemas de la base del tallo broten formando cada una de ellas una roseta de hojas. Es ventajoso que se formen antes de la llegada de las bajas temperaturas invernales. Pero en aquellas zonas en que la fecha media de primera helada sea muy temprana, o donde la mínima absoluta sea inferior a  $-10^{\circ}\text{C}$ , lo conveniente sería sembrar en primavera. De esta manera, la planta aprovecha del agua edáfica almacenada durante el invierno, nace en primavera, alcanzando en verano el estado de roseta y continúa su crecimiento en otoño, finalizando el ciclo de vida en el verano siguiente.

Si bien éste es un estudio de base agroclimática, quedaría por estudiar a través de ensayos geográficos los componentes del rendimiento creciendo bajo diferentes condiciones ambientales, evaluar los genotipos presentes en el país y los rendimientos con la edad del cultivo y con las precipitaciones de cada año en particular. Por eso, se habla de un área potencialmente apta.

Al ser una especie perenne disminuyen las labores culturales y por ende, la erosión del suelo, ya que año tras año se desarrolla íntegramente el proceso de la planta por un número indeterminado de años, que normalmente oscila entre 6 y 8. Además la semilla mantiene su poder germinativo por 5-7 años, por lo que tras el corte no sería necesario volver a sembrar. Otra ventaja que presenta es la baja demanda de fertilizantes y riego, resultando bajo el costo de implantación. Fundamentalmente se deberá analizar el impacto en la economía agrícola ante la posibilidad de que sea viable la

implantación de esta especie desde el punto de vista técnico y económico. De nada valdría intentar imponer un cultivo, si el resultado proyectado para los productores es negativo desde el punto de vista económico. Además deberá evaluarse el impacto ambiental que podría ocasionar la siembra de grandes extensiones, ya que por acción de los vientos del oeste podría dispersar las semillas hacia la zona con agricultura tradicional. Cabe enfatizar que al ser el cardo una maleza asilvestrada, con capacidad de adaptación a casi todo el país, requerirá de un manejo especial para evitar el incremento en el uso de herbicidas en áreas aledañas y cercanas, destinadas a la producción agrícola.

## CONCLUSIONES.

- Se ha delimitado el agroclima del cardo (*Cynara cardunculus var cardunculus*), especie adaptada a las condiciones de clima subhúmedo a semiárido de Argentina, empleando índices climáticos. El área potencial de cultivo comprende sectores subhúmedos a semiáridos de las provincias de Salta, Jujuy, La Rioja, Catamarca, San Juan, San Luis, Mendoza, La Pampa, Neuquén, Río Negro y Chubut, además de la superficie del país con clima húmedo.

- Este trabajo contribuyó a estudiar una de las especies potencialmente aptas para producir biocombustibles (biodiesel, bietanol y biomasa) en las tierras no destinadas a la agricultura tradicional. El área delimitada no es definitiva, ya que el tema requiere del estudio de un abanico de variedades posibles para la producción y para el desarrollo de ensayos geográficos a lo largo de varios años.

## REFERENCIAS

- Agencia Andaluza de la Energía. (2007). Situación de la biomasa en Andalucía. Conserjería de Innovación, Ciencia y Empresa. 87 pp. España.
- Amaral, S. (1997). Producción Agropecuaria 1810-1850. Academia Nacional de la Historia Argentina. Planeta. 6, 41-64. Buenos Aires. Argentina.
- Curt, M.D; Sánchez, G. y Fernández, J. (2002). The potential of *Cynara cardunculus* L. for seed oil production in a perennial cultivation system. Biomass and Bioenergy. 23 (1) 33-46.
- Encinar, J.M.; González, J.F.; Rodríguez, J.J. and Tejedor, A. (2002). Biodiesel fuels from vegetable oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. Oil with ethanol. Energy & Fuels. 16, 443-450.
- Encinar, J.M.; González, J.F.; Sabio, E and Ramiro, M.J. (1999). Preparation and properties of biodiesel from *Cynara cardunculus* L. oil. Ind. Eng. Chem. Res. 38(8), 2927-2931.
- Fernández, J. (1998). Cardoon (*Cynara cardunculus* L.) as an energy crop for Spanish rainfed lands. ETSIAM: EECI Network.
- Fernández, J. and Curt, M.D. (2004). Low-cost biodiesel from *Cynara* oil. In: W.P.M. van Swaaij, T. Fjallstrom, P. Helm, A. Grassi, (Ed.) Proceedings of the 2<sup>nd</sup> World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. ETA-Florence & WIP Munich (publ) Vol 1, 109-112.
- Fernández, J.; Curt, M.D. y Aguado, P.L. (2006). Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses. Industrial Crops and Products. 24 (3) 222-229.
- Fernández, J. and Manzanares, P. (1990). *Cynara cardunculus* L. a new crop for oil, paper pulp and energy. In: Grassy, G, Gosse, G y dos Santos, G. (eds). Proceeding of the international Conference on Biomass for Energy and Industry. Elsevier, New York. 1184-1189.
- Fernández, J., Pari, L; García Muller, M; Márquez, L; Fedrizzi, M. and Curt, M. (2007). Strategies for the mechanical harvest of *Cynara*. (2007). 15 th European Conference. Berlin, Germany.
- Fernández González, J. y García Muller, M. (2004). Sistema de separación fraccionada de la biomasa integral de cardo, *Cynara cardunculus*. Instituto Madrileño de Investigación Agraria. Universidad Politécnica de Madrid. Publicación N°2212866. 11 pp.
- González, F; Pérez, F; Fernández, J; Lezaun, J; Rodríguez, D. y Perea, F. (2004). ISHS. V International Congress on Artichoke. Acta Horticulturae N° 660, 221-227. Spain.
- Marzocca, A. 1976. Manual de malezas. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
- Servicio Meteorológico Nacional. "Estadísticas Climatológicas". 1961-1970. 1971-1980 y 1981-1990. Argentina.
- Raccuia, S.A and Melilli, M.G. (2007) Biomass and grain oil yields in *Cynara cardunculus* L. genotypes grown in a Mediterranean environment. Field Crops Research. 101 (2) 187-197.

## ABSTRACT

The objective of the present paper was to identify the geographical area for thistle development (*Cynara cardunculus*) in Argentina, as raw to produce biofuel, giving special emphasis to marginal sectors. To delineate agroclimate in Argentina, thermal limits and hydric limits of their original place were considered. Then, with extracted climatic data from Statistics published by the National Meteorological Service, for the period 1961-1990, agroclimatic index was calculated. Maps corresponding to each one of the agroclimatic index were calculated and the resulting map of the overlapping defined the agroclimate of the specie in Argentina. This map shows the surface with good conditions for thistle development from the hydric point of view, limited by the isohyet of 400 mm and the hydric limit of 200 mm that still allows to carry out the cultivation under unirrigated land conditions, without restrictions since thermal point of view.

**Keywords:** *Cynara cardunculus*, biodiesel, biomass, agroclimate, Argentina.