



Hommage aux 12 apotres
Óleo sobre Lienzo
120x120 cms
2009
Colección Privada Universidad Santo Tomás

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL AGROECOLÓGICO DE CAÑA DE AZÚCAR EN ARGENTINA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES.

*Renée Alicia Anschau¹, Noelia Flores Marco²
Stella Maris Carballo³, Jorge Hilbert⁴*

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos a partir de la evaluación del cultivo de Caña de Azúcar; La puesta en vigencia de las leyes argentinas, que fija incentivos específicos para este cultivo, reabren las posibilidades de retomar la producción de bioetanol anhidro para uso como combustible.

El objetivo final del presente estudio es entonces, contribuir al uso ordenado del territorio a partir de las potencialidades agroecológicas que ofrece el mismo, considerando también variables de índole ambiental, económico y social. Con análisis confiables sobre las posibilidades de expansión de los cultivos que vayan a ser destinados a la producción de biocombustibles y con estudios que contabilicen la disponibilidad de recursos biomásicos que puedan ser orientados a la producción de energía.

PALABRAS CLAVE

Bioetanol, Biocombustibles, Sistemas de Información Geográfica, Zonificación Agroecológica

ABSTRACT

The current work shows the results obtained from the evaluation of the Sugar Cain crop; the activation of the Argentinean laws that fixes specific incentives for this crop, reopen the possibilities to restart the production of unhydro bioethanol for use as fuel.

The final objective of this current study is then to contribute to the organized use of the territory based on the agro-ecological potentialities that it self offers, considering also environmental, economic and social variables. With reliable analysis about the expansion possibilities of crops that are destined for the production of bio-fuels, and with studies that account for the availability of biomass resources that could be oriented towards energy production.

KEY WORDS

Bioethanol, bio-fuels, Geographical Information System, Agroecological zones.

-
- 1 Especialista en Sistemas de Información Geográfica, GPS y Teledetección. Investigadora Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA- Argentina
 - 2 Máster en Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Investigadora Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA-Argentina
 - 3 Especialista en Agro negocios. Investigadora Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA-Argentina
 - 4 M.Sc. en Mecanización Agrícola, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA-Argentina.

Introducción

Según datos de la IEA (International Energy Agency) la demanda mundial total de energía primaria asciende a unos 11400 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) anuales; con un marcado predominio de los combustibles fósiles (80%), mientras que la biomasa, incluidos los productos agrícolas y forestales y los desechos y residuos orgánicos, representan el 10%.

Entre las fuentes de energía renovable, que representan aproximadamente el 13% del suministro de energía primaria a nivel mundial, la biomasa ocupa un lugar importante, siendo sus vectores más comunes los sólidos, tales como la leña, el carbón vegetal y el estiércol. Los biocombustibles líquidos participan en una escala mucho menor, representan menos del 2% de la bioenergía total (IEA, 2008).

Es importante destacar que la composición de las matrices energéticas difiere entre las distintas regiones del mundo. Mientras que en algunas regiones en desarrollo, tales como algunos países asiáticos, la biomasa proporciona hasta un 90% del consumo total de energía, otros países industrializados tienen su matriz energética fuertemente ligada a los combustibles fósiles (FAO, 2008). El sistema de transporte y gran parte de las actividades industriales dependen, en gran medida, de estos combustibles no renovables.

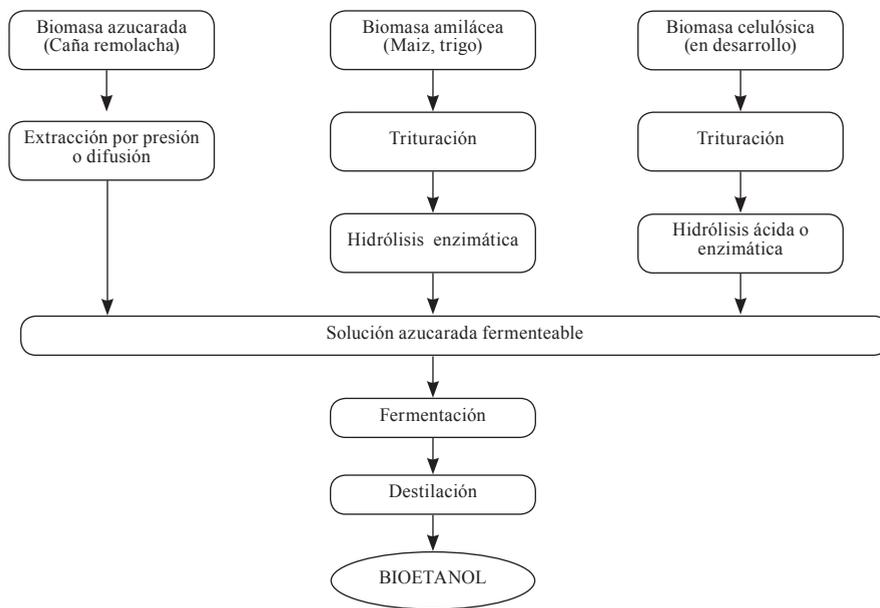
En Argentina esta situación es mucho más acentuada, ya que el consumo de energía está fuertemente concentrado en fuentes no renovables, con una participación del 46,6% de gas y 40,3% de petróleo, que totalizan casi el 90% del consumo energético del país bajo vectores provenientes de hidrocarburos (Secretaría de Energía, 2007).

Precisamente porque las reservas de petróleo son finitas, la seguridad de abastecimiento es problemática para muchos países que los importan y su uso es la principal fuente de los gases que provocan cambios climáticos y el calentamiento global, es preciso encontrar sustitutos para esos combustibles.

Una alternativa es producirlos en base a materia orgánica renovable (biomasa), siendo una de las opciones el etanol, un excelente sustituto para la gasolina, principal combustible usado en automóviles en el mundo, y que representa un tercio de los combustibles líquidos utilizados en Argentina.

El bioetanol se puede producir a base de cualquier biomasa que contenga cantidades significativas de almidones o azúcares. A continuación se sintetizan las rutas tecnológicas para la producción de bioetanol, consideradas las diferentes materias primas de interés. La producción de bioetanol a partir de celulosa está aún en un nivel de laboratorio y plantas piloto, con obstáculos tecnológicos y económicos que se deben superar.

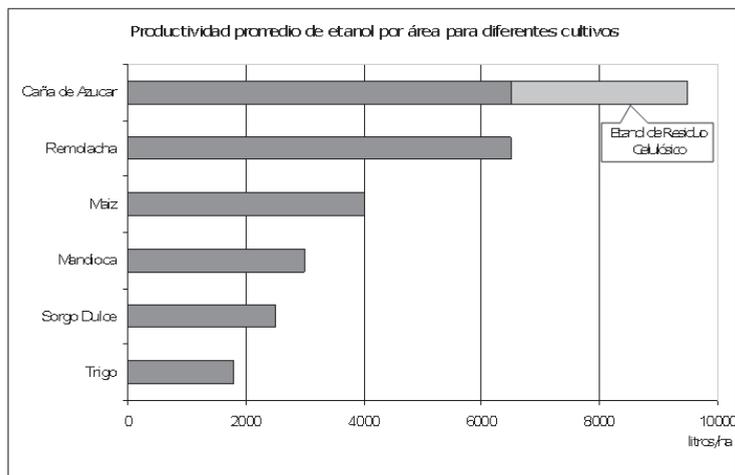
Gráfico 1. Rutas tecnológicas para la producción de Bioetanol



Fuente: (BNDES, 2008)

En el Gráfico 2 se presenta una comparación entre las diferentes materias primas para la producción de bioetanol, evidenciándose cómo pueden diferenciarse los índices de productividad por unidad de área cultivada. Los resultados del Gráfico 2 corresponden a labranzas en condiciones de buena productividad, que en algunos de los casos pueden implicar un elevado uso de insumos, fueron tomados de la literatura (GPC, 2008) y modificados en el caso de la caña y del sorgo (BNDES, 2008). Las tecnologías industriales implícitas para la conversión de azúcares y almidón en bioetanol, se pueden considerar maduras y disponibles, con excepción de las relacionadas a la hidrólisis de materiales lignocelulósicos, ahora en desarrollo, adoptadas también para la obtención de bioetanol de la parte celulósica de la caña. Para la caña, se considera una producción de 80 toneladas de caña por hectárea, una productividad de 85 litros de bioetanol por tonelada de caña procesada, y la utilización del 30% del bagazo disponible, además de la mitad de la paja convertida en bioetanol a razón de 400 litros por tonelada de biomasa celulósica seca. (BNDES, 2008)

Gráfico 2. Productividad promedio de etanol por hectárea para diferentes cultivos energéticos.



Fuente: BNDES, 2008

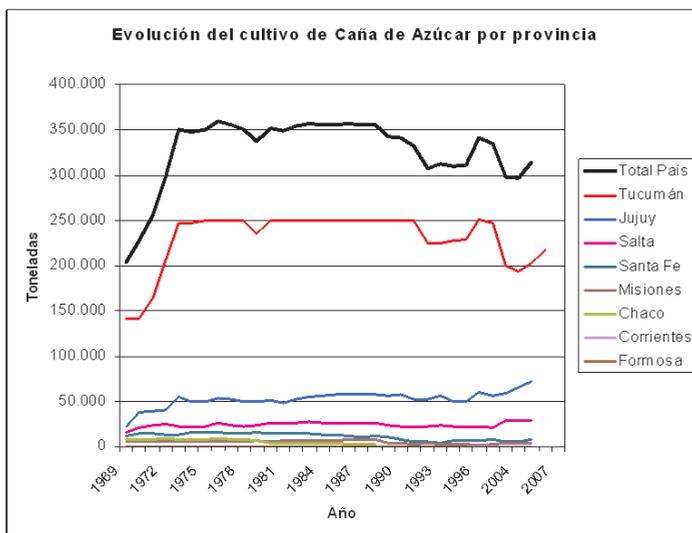
Contexto histórico regional

El cultivo de Caña de azúcar

La caña de azúcar es uno de los cultivos más antiguos de la humanidad, introducido en Santo Domingo en 1501 desde donde se extendió a toda América y el Caribe. En la Argentina fue introducida por los Jesuitas, y se constituyó en el motor de la primera agroindustria con la instalación de los primeros Ingenios a mediados del siglo XVIII en las provincias norteñas de Salta, Jujuy y Tucumán. La industrialización llegó al Noreste de Santa Fe en el año 1884 y finalmente a Misiones alrededor de 1960. En estas Provincias y en las de Chaco y Corrientes, subsisten pequeñas explotaciones que utilizan la caña en productos artesanales y como forraje.

En el Gráfico 3 se presenta la evolución del cultivo de caña de azúcar en las distintas provincias argentinas, pudiéndose observar que la superficie implantada se ha mantenido relativamente estable en las últimas décadas, con ciertas fluctuaciones alrededor de las 300.000 has. También se observa que la principal provincia productora es Tucumán, seguidas por Jujuy y Salta, y en mucho menor medida sigue las provincias del Litoral y NEA.

Gráfico 3. Superficie implantada con Caña de Azúcar por Provincia.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SAGPyA

Se observa un pico de crecimiento en los '80 impulsado por el Plan Alconafta y una retracción en los '90 con la finalización del plan de promoción.

Producción de Biocombustibles:

En cuanto a la producción de biocombustibles, en el contexto latinoamericano, Brasil es el líder en la producción de etanol a partir de caña de azúcar, y cuenta con una gran experiencia, ya que ha iniciado programas para su desarrollo hace ya más de tres décadas, motivados por la necesidad de reducir la dependencia con los países de los cuales importaban combustibles fósiles, al mismo tiempo que por consideraciones económicas y sociales de la cadena productiva de la caña que influenciaron en la perdurabilidad de estos programas.

Estados Unidos es el gran productor mundial de etanol a base de maíz (es también el primer productor mundial de este cereal), justifican la incorporación de estos biocombustibles en la eliminación de aditivos en la gasolina (decretados nocivos para la salud) y la reducción de gases de efecto invernadero. En los países de Europa Occidental también se usa etanol producido a partir de trigo y de remolacha azucarera.

En Argentina las experiencias en la producción de etanol a partir de caña de azúcar datan desde 1922, cuando una publicación de la Estación Experimental Agro-Industrial Obispo Colombres, situada en Las Talilas y dependiente del Gobierno de la Provincia de Tucumán, informaba sobre la posibilidad del uso de alcohol como combustible, especialmente para motores de combustión interna, ya sea solo o en mezclas con éter, bencina o nafta. Durante los siguientes años se llevaron a cabo experiencias exitosas en motores, y en 1978, en medio de la crisis petrolera se relanzó en Tucumán la idea de adicionar alcohol etano a las naftas, iniciándose, en la Estación Experimental Agro-Industrial Obispo Colombres, el Programa Alconafta que tenía por objeto promover la utilización del alcohol etílico como combustible. Tucumán comienza el consumo masivo de Alconafta. En los siguientes años, las provincias de Salta, Jujuy, La Rioja, Catamarca, Santiago del Estero adhieren al Plan Alconafta, se absorben de esta manera los excedentes de alcohol de melaza, sin realizar ninguna extensión de los cultivos de la caña de azúcar. Mas tarde, a mediados de la década de los 80, las provincias de las regiones Litoral y NEA se integran al plan, se totalizan 12 provincias adheridas y un consumo de aproximadamente 250 millones de litros de alcohol anhidro por año, mientras que las estimaciones indicaban que la industria y el cañaveral existentes poseían capacidad para producir 450 millones de litros de alcohol.

Durante los años siguientes, las zafras azucareras no fueron buenas, no alcanzándose a cubrir el consumo necesario de alcohol. Por otra parte, el precio internacional del azúcar recuperó su rentabilidad, haciendo que el Plan Alconafta fuera dejado de lado poco a poco, hasta desaparecer por completo (IICA, SAGPyA, 2007).

Situación actual y Marco legal Argentino

A partir de la sanción de la ley 26093 (Ley de Biocombustibles) en el año 2006, y su decreto reglamentario (109/2007), Argentina cuenta con un marco legal que regula y promueve la producción y uso de biocombustibles. La introducción de los biocombustibles en la oferta energética argentina constituye una decisión trascendental por sus implicancias ambientales (reducción de las emisiones de carbono); económicas (agotamiento de combustibles fósiles frente al crecimiento continuo de su consumo, la potencialidad del sector agropecuario para ofrecer una parte de su producto como fuente de energía, la generación de alternativas de empleo y diversificación para la empresa agropecuaria), y estratégicas (promoción de fuentes energéticas renovables) (INTEA, 2008).

La ley determina para el año 2010 un corte obligatorio del 5% de etanol en la nafta y 5% de biodiesel en el diesel. La Subsecretaría de Combustibles, dependiente de la Secretaría de Energía estima que para cumplir con este mandato, se necesitará un volumen aproximado de 330 millones de metros cúbicos de etanol y 890 millones de metros cúbicos de biodiesel (INTEA, 2008).

A fines de 2008 la Secretaría de Energía como órgano de aplicación de la ley, dictó la Resolución 1293 en la que se establece el mecanismo de selección, aprobación y orden de prioridad para los proyectos de producción de bioetanol, mediante el cual se otorgarán los beneficios promocionales acordes al Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles de la Ley N° 26.093. Esta resolución da prioridad a aquellos proyectos que favorezcan el desarrollo de las economías regionales, y entiende como tales a todas las provincias del Territorio Nacional a excepción de Buenos Aires, Córdoba y Entre Ríos. Los proyectos sujetos a beneficios promocionales tendrán que: tratarse fundamentalmente de Pequeñas y Medianas Empresas, que tengan mayoritaria participación de productores agropecuarios y, con igual prioridad, de personas comprendidas en la Ley N° 26.334. Otro aspecto reclamado por el sector fue el de contar con cierta previsibilidad en cuanto al precio de referencia de los combustibles destinados al corte. En este sentido se ha dictado la Resolución 1294/2008 de la misma secretaría que establece el procedimiento para calcular el precio de adquisición del bioetanol, destinado a la mezcla para la Producción y Uso Sustentable de Biocombustibles prevista en la Ley N° 26.093.

Esta Resolución complementa a la Ley N° 26.334, la cual intenta fomentar un Régimen de Promoción de la Producción de Bioetanol, cuyo objetivo principal es satisfacer tanto las necesidades de abastecimiento de bioetanol del país, como las de generar excedentes para la exportación.

Con respecto a la producción de bioetanol, y a partir de la ley 26334, en Argentina se promueve el armado de cadenas de valor entre productores e ingenios para la producirlo a partir de caña de azúcar. Los emprendimientos en desarrollo son los siguientes:

- Los Balcanes S.A., en estado operativo
- Ledesma S.A., en ejecución
- Tabacal, con su ampliación de la destilería de alcohol en ejecución.

Existen dos formas, básicamente, de obtener etanol de ese cultivo, la primera es la conversión de melaza en etanol. Permite obtener azúcar y una pequeña cantidad de etanol, de aproximadamente 10 litros (0,01 m³) por cada tonelada de azúcar producida, con esta forma de producción el etanol es un subproducto de la elaboración del azúcar. Hasta octubre del 2006 todo el etanol que se producía en Argentina se obtenía a mediante este proceso. Durante el 2006, los 22 ingenios azucareros argentinos molieron 20,5 millones de toneladas de caña y obtuvieron 2,3 millones de toneladas de azúcar. Se estima que la producción total de etanol en Argentina fue de aproximadamente 23.000 m³, de las cuales se ha exportado el 40 % aproximadamente.

La segunda es la conversión de jugo de caña en etanol. Este proceso se utiliza extendidamente en Brasil. Una tonelada de caña industrializada de esta forma produce aproximadamente 85 litros de etanol. A partir del 2006, el Ingenio la Florida inauguró una planta para convertir el jugo de caña en etanol con esta forma de producción.

Por otra parte existen proyectos a base de maíz, como es el caso del anteproyecto de Soros, en Venado Tuerto, en la Provincia de Santa Fe, cuya producción anual se proyecta en 200.000 m³. Además están en proyección los emprendimientos de Arcor, en San Pedro, Bioetanol Río Cuarto S.A., en la Provincia de Córdoba, y San José S.A. en San Luis. En la Tabla 1 se identifican los proyectos existentes en el país, su capacidad y estado de desarrollo.

A fines del 2008 el gobierno nacional anunció medidas para estimular la producción de bioetanol a partir de inversiones por US \$500 millones para el desarrollo del NOA (Nor Oeste Argentino) y del NEA (Nor Este Argentino), en proyectos para producir un total de 300.000 m³ anuales que demandará el país a partir de 2010. La inversión se repartirá entre Tucumán, Salta, Jujuy, Chaco, Formosa, Misiones y Santa Fe (CEADS - CAI, 2008).

Estas medidas han generado que varias provincias adhieran a las ya tradicionalmente productoras de caña de azúcar, tal como es el caso de las provincias del NEA: Chaco y Formosa, donde existen proyectos para sembrar unas 30.000 hectáreas, 15.000 en cada una de ellas. Es importante considerar que en la provincia de Formosa será necesario implantar el cultivo en áreas bajo riego. Se estima producir en estas provincias un total de 310.000 m³ anuales de bioetanol, monto al que se llegaría con el procesamiento complementario de sorgo y maíz.

Tabla 1 - Plantas de Bioetanol en Argentina

Empresa	Capacidad (m ³ /año)	Ubicación	Mat. Prima utilizada	Estado de Desarrollo
Los Balcanes SA	126.000	La Florida – Tucumán	Caña de azúcar	Operativo
Soros	200.000	V. Tuerto – Sta. Fé	Maíz	Proyecto
Ledesma SA		Lib. S. Martín – Jujuy	Caña de azúcar	Construcción
Tabacal		Orán – Salta	Caña – Sorgo	Construcción
ARCOR	100.000	San Pedro – Bs. As.	Maíz	Proyecto
Bioetanol Río Cuarto SA	50.000	Río IV – Córdoba	Maíz	Proyecto
San José	100.000	San Luis - SL	Maíz	Proyecto

Fuente: CEADS-CAI, 2008

Ante la necesidad de conocer el límite de expansión probable de superficie destinada a cultivos que pueden ser utilizados como materia prima para la producción de biocombustible, es necesario analizar las reales implicancias de las actividades asociadas a esa producción y tener en cuenta algunos dilemas ya planteados en la sociedad, tales como el que indica una competencia entre la producción de alimentos y la de biocombustibles, o las consecuencias de los cambios de uso del suelo (LUC) que puedan plantear problemas de degradación o atentar contra la biodiversidad.

Estas y otras temáticas son introducidas en los lineamientos y criterios de certificación de la sustentabilidad de la producción de biocombustibles (Unión Europea, Alemania, RSB e Inglaterra, entre otros).

Análisis agroecológico del cultivo de caña de azúcar

A fin de contar con las herramientas que orienten a un uso ordenado del territorio, es necesario caracterizar ambientes con condiciones similares (zonas agroecológicas), que expresen el potencial productivo de la zona para el cultivo.

El objetivo principal del trabajo fue estimar desde el punto de vista agroecológico, económico y ambiental las zonas aptas con distintas potencialidades para el cultivo de caña de azúcar en el territorio argentino. La delimitación de estas zonas se generó mediante la implementación de un sistema de información geográfica (SIG), el cual facilitó la manipulación y superposición de capas de información temática, correspondiente a información de clima y suelos atento a las necesidades agroclimáticas y edáficas del cultivo, al mismo tiempo que se integró en el SIG información de tipo económica (costos de producción, industrialización, transporte y demás); de uso actual del suelo y de restricciones legales a la explotación de las tierras (áreas protegidas, bosques nativos, reservas indígenas). Del análisis realizado surgen áreas muy aptas, aptas, moderadamente aptas, marginalmente aptas, y no aptas.

La información presentada en el mapa de Aptitud Agroecológica a escala 1:500.000 es importante en la planificación a nivel nacional, ya que permite una visión amplia y panorámica de las posibilidades de expansión del cultivo en Argentina. No obstante, esta macro-zonificación debe ser considerada como referencial para la fase de producción.

Materiales y Métodos

Para realizar la Zonificación de la Aptitud Agro-ecológica de la caña de azúcar fue necesario contar con mapas que reflejen tanto la aptitud agro-climática como la aptitud edáfica del cultivo, los cuales han sido construidos a partir de bases de datos climáticos e información temática de suelos, relieve y capacidad de uso de las tierras.

Aptitud agroclimática

La caña de azúcar es una planta semiperenne con ciclo fotosintético de tipo C4, perteneciente al género *Saccharum*, de la familia de las gramíneas, compuesta por especies de gramas altas perennes, oriundas de regiones templadas calientes a tropicales de Asia, específicamente de India. La parte aérea de la planta se compone, esencialmente, por los tallos, en los que se concentra la sacarosa, y por las puntas y hojas, que constituyen la paja de la caña de azúcar. Un cultivo eficiente puede producir 100 a 150 toneladas de caña por hectárea por año, siendo nuestro rendimiento promedio nacional cercano a las 70 tn/ha, hallándose el máximo en el departamento de Gral. Güemes, Salta, con más de 130 tn/ha.

El clima ideal para el cultivo de caña es el que presenta dos estaciones distintas: una caliente y húmeda, para proporcionar la germinación, el macollaje y el desarrollo vegetativo, seguida de otra fría y seca, para lograr la madurez y la consecuente acumulación de sacarosa en los tallos. La caña no presenta una buena productividad en climas como el de las regiones ecuatoriales húmedas (BNDES, 2008).

A los fines de determinar la zonificación agro climática del cultivo en Argentina, se han analizado los requerimientos bio-climáticos del mismo.

Precipitación

Los requerimientos potenciales normales de la caña de azúcar son 1300 mm/año, con variaciones entre 1100 y 1500mm en el ciclo. La mayor demanda se presenta en la fase de gran crecimiento; siendo la maduración la que exige menor disponibilidad de agua (Fogliata, 1995).

Radiación

El promedio total interceptado en 12 meses es de 6350 MJ/m², lo que significa aproximadamente 17,4 MJ/día.

Heladas

Temperaturas entre 0°C y -3°C dañan las hojas y los brotes guía pero no tienen efectos sobre brix y sacarosa, las temperaturas entre -3,8°C a -5°C hielan los entrenudos jóvenes y las yemas y deterioran el jugo entre 6 y 16 días después de la helada; mientras que las temperaturas inferiores a -5°C hielan todo el tallo y el deterioro del jugo se detecta a las 48 horas de producida la helada (Fogliata, 1995).

Temperatura

El rango general se extiende desde los 9°C y los 45°C, siendo óptimas para la fotosíntesis las temperaturas que oscilen entre los 30°C y 35°C. Esta temperatura variará según el estado fenológico de la planta, teniéndose que considerar las siguientes fases:

Brotación: óptima 28°C – 30°C

Crecimiento: óptima 25°C – 26°C; mínima 21°C; mínima crítica 15°C; máxima 28°C; máxima crítica 33°C

Maduración: óptima 13°C – 16°C; mínima 9°C.

Fenología

En Argentina, la época de implantación del cultivo ocurre entre los meses de mayo a noviembre.

Ocurrencia de fases

Germinación y establecimiento; ahijamiento: 90 días

Gran crecimiento: 150 días

Maduración: 60 días.

Duración del ciclo en Argentina

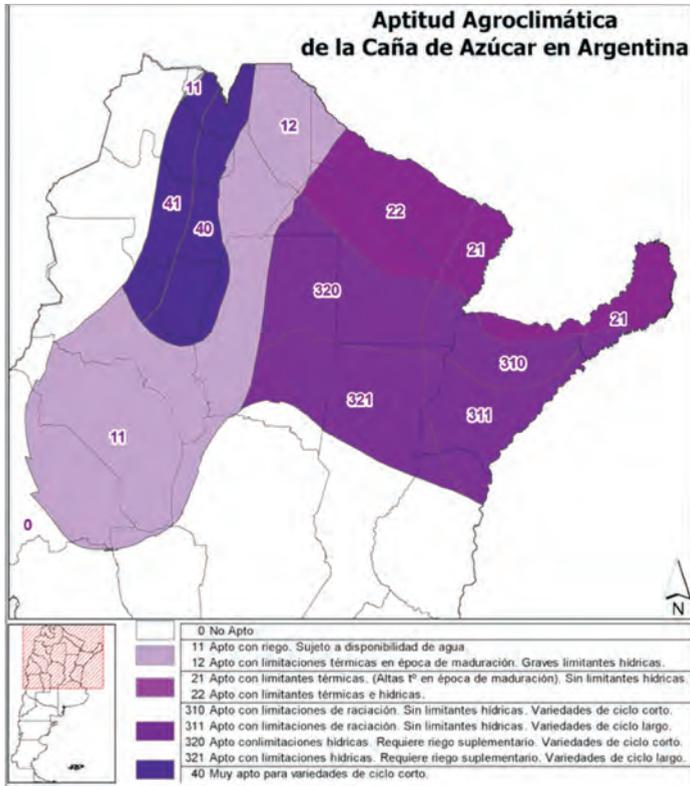
- Ciclo de aproximadamente 1 año y medio, con siembra en los meses de febrero/marzo y cosecha en junio/julio del año siguiente.
- Ciclo anual, con siembra en julio y cosecha en julio del año siguiente.
- Ciclo menor al año, con siembra en septiembre/octubre.
- En la provincia de Tucumán algunos ciclos presentan 300 días desde la brotación a la cosecha.
- Los momentos de cosecha se distribuyen entre los meses de junio a octubre inclusive, de acuerdo al ciclo del cultivo.

Tiempo Térmico

Las variedades más extendidas en el país requieren 17°C, 19°C y 21°C de temperatura base.

A partir del análisis de estos parámetros, y tomando como bases de datos acerca de las condiciones climáticas la información provista por el Servicio Meteorológico Nacional y datos colectados por INTA a lo largo de los últimos 30 años, se ha generado mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica, técnicas de geo-estadística y análisis espacial el siguiente mapa, que refleja la zonificación agro-climática del cultivo.

Gráfico 4. Aptitud Agroclimática de la Caña de Azúcar en Argentina



Fuente: Elaborada por los autores

Aptitud Edáfica

La caña de azúcar no exige ningún tipo específico de suelo y puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos.

Las condiciones ideales de suelo para el cultivo de la caña de azúcar son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³ (1.3 - 1.4 g/cm³ en suelos arenosos), con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos

tamaños, con porosidad total superior al 50%; una capa freática bajo los 1.5 a 2m desde la superficie y una capacidad de retención de la humedad disponible del 15% o superior (15cm por metro de profundidad del suelo).

El pH óptimo del suelo es cercano a 6.5, pero la caña de azúcar puede tolerar un rango considerable de acidez y alcalinidad del suelo. Por esta razón se cultiva caña de azúcar en suelos con pH entre 5.0 y 8.5. El encalado es necesario cuando el pH es inferior a 5.0, y la aplicación de yeso es necesaria cuando el pH sobrepasa 9.5. Las infestaciones por nematodos ocurren naturalmente en suelos muy arenosos.

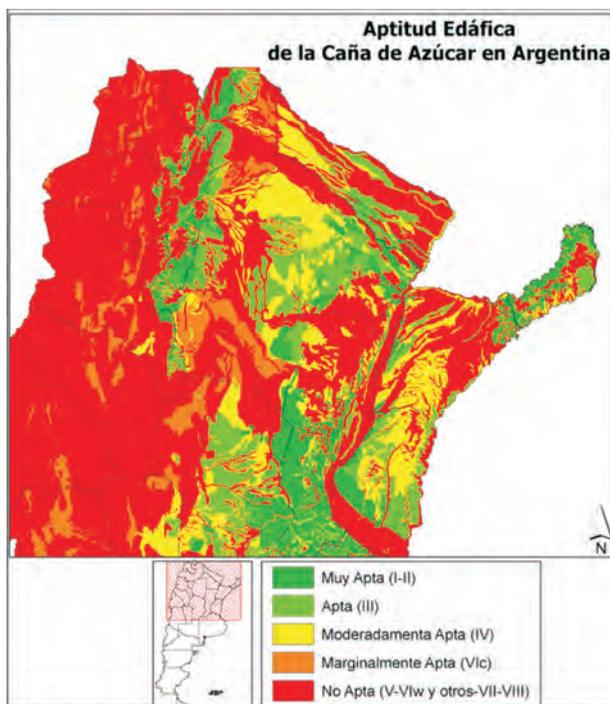
El análisis del suelo antes de la plantación es recomendable para determinar la cantidad óptima de aplicación de macro y micronutrientes. Las restricciones químicas en los suelos, tales como la acidez y una baja fertilidad, son relativamente fáciles de corregir o controlar. Malas condiciones físicas, tales como la compactación del suelo debido a la intensa mecanización requerida para el encalado, son mucho más difíciles de corregir. Por esta razón, las propiedades físicas del suelo son consideradas como un factor en el crecimiento de la caña de azúcar.

Teniendo en cuenta estas características, se ha confeccionado un mapa de suelos clasificado según las clases de capacidad de uso de las tierras (USDA-SCS). Esta categorización asigna a las tierras aptas para cultivos labrados y otros usos, valores que van desde el I al IV; y a las tierras de uso limitado, generalmente ineptas para las labranzas, valores comprendidos entre V y VIII. A su vez establece subclases de capacidad de usos que obedecen a unidades con el mismo tipo de limitaciones dominantes para su uso agrario, provenientes del suelo y clima, siendo estas erosión (e), exceso de humedad, drenaje deficiente o peligro de inundación (w), limitaciones en la zona de actividad radical (s) y limitaciones climáticas (c).

En el presente trabajo se ha tomado como base el Atlas Digital de Suelos de INTA (INTA, 1996), el cual fue ajustado espacialmente con imágenes Landsat TM y Landsat ETM+, considerando que la clasificación de suelos que se presentaba en dicho mapa ha sufrido cambios a lo largo del tiempo, no solamente por el mayor conocimiento proporcionado por estudios más detallados, sino también por avances en materia de tecnología de los cultivos que pueden cambiar la capacidad de producción de ciertas áreas.

De esta manera, se han agrupado las clases de suelo, tal que, las clases I y II fueron consideradas como Muy aptas, la clase III como Apta, las clases IV como Moderadamente aptas requiriendo enmiendas, la subclase VIc como Marginalmente apta sujeto a la disponibilidad de agua para riego, y las restantes subclases VI, las clases V, VII y VIII se consideraron No aptas. A continuación se presenta el mapa resultante.

Gráfico 5. Aptitud Edáfica de la Caña de Azúcar en Argentina



Fuente: Elaborada por los autores

Restricciones a la posible expansión de los cultivos

Para poder determinar, con criterios de sustentabilidad, las áreas donde los diferentes cultivos podrían ser expandidos sin atentar contra la biodiversidad, fue necesario recopilar información cartográfica que refleje aquellas zonas que presentan restricciones para su uso.

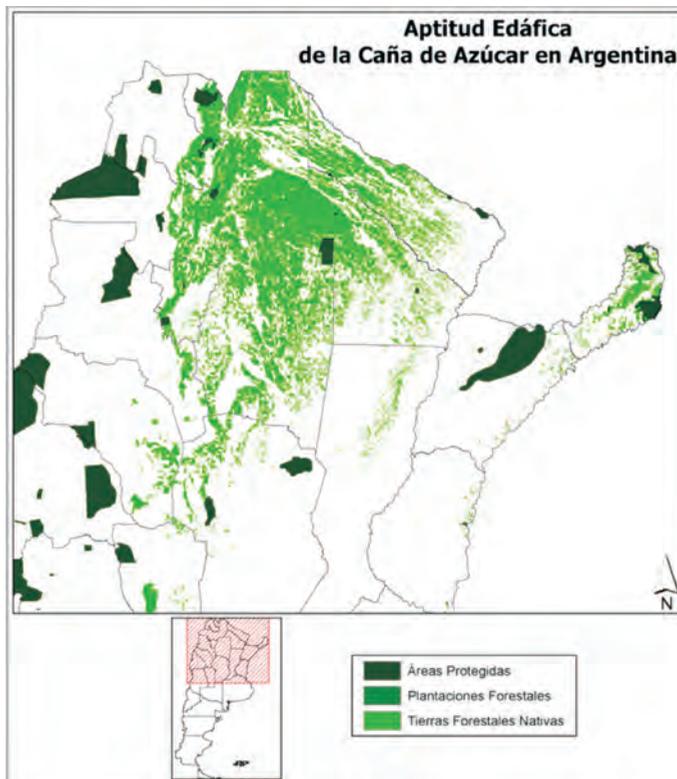
Se tomaron en cuenta las áreas cubiertas con bosques o montes nativos, sobre las cuales a partir de 2008 rige la Ley 26.331, que ha fijado restricciones de uso específicas. También se consideraron las forestaciones implantadas y las áreas protegidas comprendidas en el Sistema Federal de Áreas Protegidas.

A fin de identificar las zonas de bosque o monte nativo se consideraron los datos de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SA y DS, 2007), donde se identifican las áreas correspondientes a tierras forestales nativas distribuidas en las distintas eco-regiones del territorio nacional. Para reconocer las tierras con plantaciones forestales, se incorporaron los datos provenientes del Inventario

Nacional de Plantaciones Forestales de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA, 2001), sobre los cuales se realizó una actualización mediante técnicas de fotointerpretación sobre imágenes Landsat. Finalmente, para identificar las áreas que están sometidas a algún régimen de protección jurídica, ya sean éstas parques nacionales o provinciales, reservas naturales o cualquier otra designación con objetivos específicos de conservación, se hizo una recopilación de información a partir de diversas fuentes, tomando como referencia la documentación existente en el Sistema Federal de Áreas Protegidas (SIFAP) y del World Database on Protected Areas (WDPA). Toda esta información fue cartografiada y compilada para generar el mapa de áreas protegidas.

En el siguiente mapa se representan las áreas identificadas como áreas protegidas, plantaciones forestales o bosque nativos, las cuales posteriormente serán utilizadas para definir zonas de restricción de avance de las actividades agrícolas.

Gráfico 6. Áreas con restricciones a la implantación del cultivo de Caña de Azúcar en Argentina



Fuente: Elaborada por los autores

Zonificación Agro-ecológica y Ambiental

La metodología de trabajo combina el enfoque agro ecológico con análisis de información satelital y uso de sistemas de información geográficos, para lograr la integración y poder evaluar los numerosos factores convergentes en la definición del potencial de expansión del cultivo en vistas de la producción de bio-etanol y definir riesgos o vulnerabilidades en las distintas áreas.

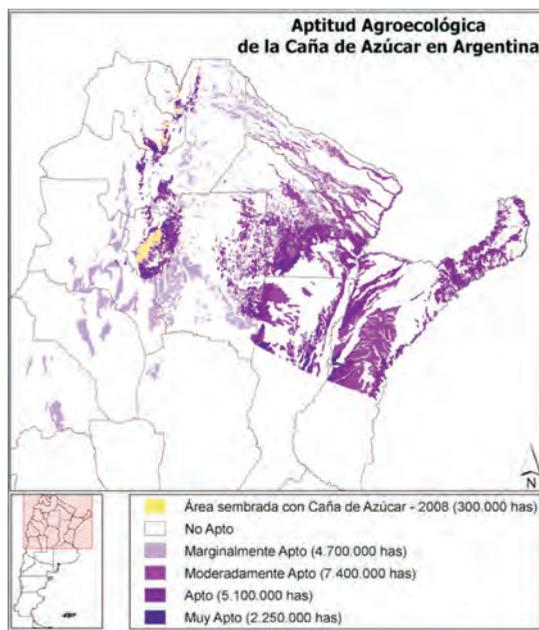
Una vez delimitadas las áreas tanto por su aptitud agro-climática, como por su aptitud edáfica, se han elaborado matrices para relacionar los requerimientos del cultivo en ambos sentidos.

Cómo último paso, mediante técnicas de álgebra de mapas, se han eliminado aquellas áreas que presentan restricciones de uso; obteniéndose así una cartografía que refleja la zonificación agro-ecológica del cultivo de caña de azúcar con sus diferentes niveles de aptitud y la superficie de expansión potencial del cultivo.

Resultados

A través de esta metodología de trabajo, se han reconocido, a lo largo del territorio nacional, las áreas en las que potencialmente podría desarrollarse o expandirse el cultivo de la caña de azúcar destinado a la producción de biocombustibles con criterios de sustentabilidad agro-ecológica y ambiental.

Gráfico 7. Aptitud Agro-ecológica de la Caña de Azúcar en Argentina



Fuente: Elaborada por los autores

A continuación detallan las superficies provinciales con mayor grado aptitud para la caña de azúcar.

Es importante considerar que en las áreas indicadas como agro-ecológicas y ambientalmente aptas para el cultivo, existen situaciones de solapamiento de superficie con otros cultivos aptos para diferentes zonas (soja, tabaco, algodón y sorgo, entre otros) que deberán ser resueltos considerando la información de orden económico que exige el análisis detallado en cada zona, tales como costo de insumos, costo de labores, rendimientos, logística de comercialización, precio internacional y demás. Para definir la rentabilidad neta, que en definitiva inclinará la preferencia por implementar el cultivo de caña de azúcar u otro.

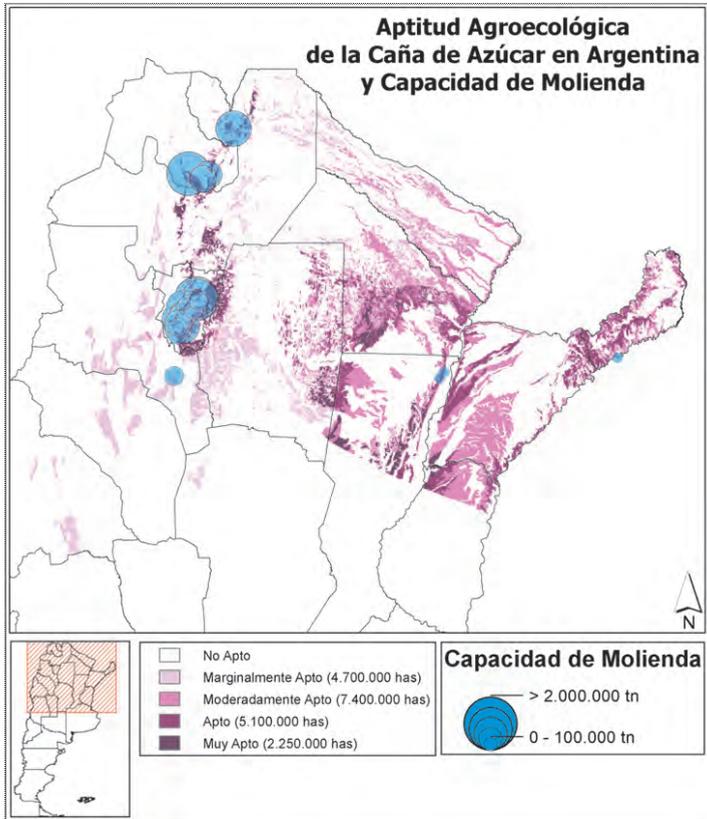
Tabla 2 - Superficies de expansión potencial (miles de hectáreas)

	MUY APTO	APTO
TUCUMÁN	690	130
SALTA	480	80
SANTA FE	430	435
CHACO	330	1.250
SANTIAGO DEL ESTERO	320	815
JUJUY	155	120
ENTRE RÍOS	50	310
CATAMARCA	45	-
CORRIENTES	40	1.125
MISIONES	-	935
TOTAL	2.540	5.200

Fuente: Elaborada por los autores

Deberá tenerse en cuenta la capacidad instalada para el procesamiento industrial de la caña de azúcar en las distintas regiones. A continuación se presenta la ubicación (dimensionada por su capacidad de molienda) de los ingenios instalados en la actualidad a lo largo del país. Este factor es de suma importancia en cultivos como el de la caña de azúcar dada la enorme masa de biomasa con alto contenido de agua que se debe transportar desde el campo hacia los centros de procesamiento. Al superponer el mapa de aptitud agro-ecológica que hemos generado, con la ubicación y la capacidad industrial instalada, rápidamente podemos observar cuáles serían las áreas en las que se podría establecer nuevos emprendimientos, así como detectar áreas con capacidad de molienda ociosa.

Gráfico 8. Ingenios Azucareros y Capacidad de molienda en las áreas de aptitud para Caña de Azúcar



Fuente: Elaborada por los autores

Desde el gobierno, deberá considerarse razones sociales para favorecer con medidas de incentivo fiscal o crediticio actividades que sean demandantes de mayor mano de obra tanto en el proceso productivo como en el de transformación para cumplir con el criterio de sustentabilidad social que debe primar en los proyectos de desarrollo.

Es asimismo importante considerar que en nuestro país la autonomía federal de las provincias facilita la promulgación de leyes que promocionan determinados cultivos o actividades agrícolas o forestales mediante políticas impositivas o crediticias de alcance local lo que junto a las condiciones socioeconómicas presentes

en cada provincia crean un marco único para las inversiones que obligan un análisis sitio-específico.

Conclusiones

El avance de la tecnología y la facilidad de manejo de grandes cantidades de información geo-espacializada permiten hoy efectuar un desarrollo racional, atendiendo principalmente cuestiones ligadas al desarrollo territorial, el equilibrio ambiental y a la rentabilidad de la producción, para que la misma sea sustentable en el tiempo.

El Sistema de Información Geográfica desarrollado ha sido pensado como soporte técnico a las decisiones gubernamentales y empresariales en bioenergía.

Constituye una herramienta útil a la hora de considerar y evaluar proyectos de inversión destinados a la implantación de cultivos orientados a la generación de biocombustibles, especialmente aquellos que se proyecten sobre zonas marginales o de alta biodiversidad.

Con este trabajo se aporta una visión, a nivel nacional, de las potencialidades agro-ecológicas de las diferentes zonas del país para la difusión del cultivo de caña de azúcar, que podrá ser orientado a bioenergía, de acuerdo a los criterios agroecológicos.

Agradecimientos

Este trabajo no podría haberse realizado sin el aporte invaluable de los integrantes de la cátedra de Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía - UBA, especialmente del Ingeniero Guillermo Murphy y Danilo A. Carnelos, quienes han sido los responsables de la caracterización agro-climática del cultivo. También queremos agradecer al equipo del Instituto de Ingeniería Rural y al equipo de la Oficina de Servicios Especiales y Transferencia de Tecnología del Instituto de Clima y Agua de INTA Castelar.

Referencias

- BNDES (2008). *Bioetanol de Caña de Azúcar: energía para el desarrollo sostenible*. Coordinación BNDES y CGEE. Río de Janeiro. BNDES. 2008
- CEADS – CAI (2008). *Perspectivas de los biocombustibles en Argentina*, Buenos Aires, Argentina. Noviembre de 2008
- FAO (1997). *Zonificación agroecológica. Guía general*. Boletín de suelos, n° 73. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos, Dirección de fomento de tierras y aguas. Roma, Italia
- FAO (2008). *El estado mundial de la Agricultura y la Alimentación 2008: Biocombustibles, perspectivas, riesgos y oportunidades*. Roma, Italia
- Fogliata, F. A. (1995). *Agronomía de la caña de azúcar*. Ediciones El Graduado, Tucumán, Argentina
- GPC – Global Petroleum Club (2008). *Oil from algae*. Recuperado en febrero de 2008, de <http://www.globalpetroleumclub.com>
- IEA, International Energy Agency (2008). *Key world energy statistics 2008*. París, Francia
- IICA – SAGPyA (2007). *Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil*. Buenos Aires, Argentina. Octubre de 2007
- INTA. 1996. *Atlas digital de suelos de la República Argentina*. INTA – Aeroterra. Buenos Aires, 1996
- INTEA (2008). *Principales Insumos en la Producción de Biocombustibles. Estudio Exploratorio*. Buenos Aires, Argentina. Marzo de 2008
- SAyDS. (2007). *Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos*. Proyecto de Bosques Nativos y Áreas Protegidas. BIRF 4085-AR. 1198-2005
- SAGPyA, (2001). *Argentina: Inventario Forestal de Plantaciones Forestales*. Proyecto Forestal De Desarrollo. Buenos Aires. 2001
- Secretaría de Energía (2007). *Balance Energético Nacional. Serie 1960-2005. Avance año 2006*. Buenos Aires, Argentina
- SIFAP. Sistema Federal de Áreas Protegidas. Datos recuperados en abril 2008 de: <http://www2.medioambiente.gov.ar/sifap/default.asp>
- WDPA. *World Database on Protected Areas*. Datos recuperados en abril 2009 de: <http://www.wdpa.org/>