



Papers

**METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR  
EL ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS  
PARA BIOCOMBUSTIBLES  
EN LOS PAÍSES DEL CONO SUR**

*Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur  
Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay, Uruguay,  
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*





# METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS PARA BIOCOMBUSTIBLES EN LOS PAÍSES DEL CONO SUR



**Autora:**

Virginia Lobato

**Co-autores:**

Jorge Hilbert  
Alejandro Tarifa  
Evandro Mantovani  
M<sup>a</sup> Inés González  
Edgard Alvarez  
Jorge Sawchick

Esta publicación también está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio web institucional en [www.procisur.org.uy](http://www.procisur.org.uy)

Coordinación editorial: PROCISUR

Corrección de estilo: PROCISUR

Diagramado: MERCOSOFT CONSULTORES

Diseño de portada: MERCOSOFT CONSULTORES

Impresión: IMPRENTA BOSCANO S.R.L.

Lobato, Virginia

Metodología para optimizar el análisis de materias primas para biocombustibles en los países del Cono Sur / Virginia Lobato, Jorge Hilbert, Alejandro Tarifa, Evandro Mantovani [et al...]. Montevideo: PROCISUR, IICA, 2007.

94 p. ; 21 x 29,7 cm

ISBN 92-90-39-777-2

1. Combustibles 2. Insumos agrícolas I. Hilbert Jorge II. Tarifa Alejandro III. Mantovani Evandro IV. González Ma. Inés V. Álvarez Edgard VI. Sawchick Jorge VII. PROCISUR/IICA VIII. Título

AGRIS  
P06

DEWEY  
333.79

Montevideo, Uruguay - 2007

El Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR), creado en 1980 con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), constituye un esfuerzo conjunto de los Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria, INIAs, de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay, y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

En los últimos años con el incremento en el precio del petróleo, la mayor preocupación por la seguridad energética y los efectos del calentamiento global, han ido creando las condiciones para explorar otras fuentes de energía. En ese contexto, surge con creciente interés la posibilidad de usar productos agropecuarios como materia prima para la producción de biocombustibles. En algunos países de la región, como Brasil, ya existe una interesante experiencia, principalmente, en la producción de etanol con caña de azúcar y, en menor grado, de biodiesel con aceites vegetales. Sin embargo, el desarrollo de esta iniciativa a gran escala en los países de la región conlleva una situación de alta complejidad, en el que deben intervenir numerosas variables de orden económico,

político, tecnológico, social, y principalmente las disponibilidades de suelos y cultivos con ventajas competitivas para estos fines. Por lo tanto, en lo inmediato, se está requiriendo cada vez más información de carácter multidisciplinario para analizar, desde otras perspectivas (no exclusivamente con una finalidad alimentaria), a los actuales y nuevos cultivos más adaptados a este objetivo.

Este estudio elaborado por una especialista en el tema y con la participación de profesionales de los seis países integrantes del PROCISUR, pretende hacer un aporte a los países de la región con una metodología que permita analizar las materias primas más promisorias de origen agropecuario para la elaboración de biocombustibles, incorporando en el análisis parámetros de orden económico, energético y agroecológico. Esperamos que este trabajo sea de utilidad para los países en la búsqueda de nuevas alternativas para ampliar su matriz energética y también, estimule al sector científico y tecnológico a emprender nuevas líneas de investigación que permitan resolver los vacíos de conocimientos frente a este desafío y oportunidades que se abren para el sector agropecuario.

Emilio Ruz  
Secretario Ejecutivo  
PROCISUR



1. INTRODUCCIÓN .....	7
2. CONCEPTO OPERACIONAL DE AGROENERGÍA.....	9
3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA .....	11
3.1. APLICACIÓN DEL ECVB .....	12
4. ALCANCE .....	17
5. ANTECEDENTES .....	19
6. INDICADORES Y UNIDADES .....	21
6.1. Unidad funcional .....	21
6.1.1. Unidad funcional de energía .....	21
6.1.2. Unidad funcional económica .....	21
6.1.3. Unidad funcional de carbono.....	21
6.2. Indicadores Energéticos .....	22
6.3. Indicadores Económicos .....	22
6.4. Indicadores Ambientales.....	23
7. BALANCES .....	25
7.1. Balance de Energía .....	25
7.1.1. Energía utilizada en la producción del cultivo.....	26
7.1.2. Energía utilizada en la transformación del biocombustible .....	31
7.1.3. Energía obtenida de la combustión del biocombustible .....	33
7.1.4. Energía obtenida de la utilización de coproductos.....	34
7.1.5. Rendimiento energético de la producción del biocombustibles.....	35
7.2. Balance Económico.....	37
7.2.1. Costo de producción del cultivo .....	37
7.3. Balance de Carbono .....	38
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
9. ESTUDIO DE CASO	
PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	
A PARTIR DE <i>RICINUS COMMUNIS L</i> EN URUGUAY .....	47
9.1. OBJETIVO .....	48
9.2. UNIDAD FUNCIONAL .....	48
9.3. FRONTERAS DEL SISTEMA .....	48
9.4. CATEGORÍAS DE IMPACTO .....	49
9.4.1 Energía.....	49
9.4.2 Costos.....	49
9.4.3 Empleo.....	49

9.5. INDICADORES DE CATEGORÍAS.....	49
9.5.1 Energía.....	49
9.5.2 Costos.....	49
9.5.3 Empleo.....	49
9.6. UNIDAD DE MEDIDA COMÚN (VER ANEXO 3) .....	49
9.6.1 Energía.....	49
9.6.2 Costos.....	49
9.6.3 Empleo.....	49
9.7. INVENTARIOS.....	50
9.7.1 Inventario de la especie en estudio.....	50
9.7.1.1 Descripción de la especie <i>Ricinus communis</i> L.....	50
9.7.1.2 Descripción de la planta.....	50
9.7.1.3 Características Agronómicas.....	51
9.7.2 Inventario de productos y coproductos.....	61
9.7.2.1 Aceite de ricino.....	61
9.7.2.2 La toxina ricina y la RCA.....	64
9.7.2.3 La torta de ricino.....	65
9.7.3 Evaluación de los resultados de los inventarios.....	65
9.7.4 Cuantificación de productos y procesos .....	68
9.7.5 Evaluación de resultados según Categoría de Impacto .....	70
9.7.5.1 Evaluación de la Categoría de Impacto Energía .....	70
9.7.5.2 Evaluación de la Categoría de Impacto Costos .....	70
9.7.5.3 Evaluación de la Categoría de Impacto Empleo .....	71
9.8. AGREGACIÓN DE LOS RESULTADOS PARCIALES.....	73
9.9. TOMA DE DECISIONES.....	73
9.10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
9.11. ANEXOS .....	85
ANEXO 1. MODELO DE INVENTARIO DE UNA CAIE PARA BIODIESEL DE SOJA COMO FASE PRIMARIA DE UN ECVB.....	85
ANEXO 2. MODELO DE BALANCE PARCIAL PARA LA ENERGÍA UTILIZADA EN LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO.....	87
ANEXO 3. MODELO DE ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO .....	89
ANEXO 4. UNIDADES, FACTORES DE CONVERSIÓN .....	90
ANEXO 5. RELEVAMIENTO DE PROGRAMAS PARA EL ANÁLISIS DE BIOCOMBUSTIBLES.....	90



A través de este estudio, PROCISUR hace una primera contribución a los países de la región en el tema de Agroenergía, aportando los elementos básicos que ayuden a establecer una metodología común, para el análisis de las materias primas de origen agropecuario más promisorias para la producción de biocombustibles, en base a parámetros energéticos, tecnológicos, agroecológicos y económicos, entre otros.

Es en este marco que PROCISUR define la necesidad de generar una metodología de análisis independiente de las coyunturas locales, que sea útil a los países en la búsqueda de nuevas materias primas aptas para la producción de biocombustibles, al mismo tiempo que estimule a los equipos técnicos e investigadores a emprender nuevas áreas de investigación que esta temática requiere.

Como una forma de alcanzar ciertos grados de autosuficiencia e independencia, es determinante considerar que los parámetros cruciales en la producción de energía a partir de cultivos son, la disponibilidad de tierras de cultivo, los niveles de rendimiento en biocombustibles de las mismas y el incremento en el consumo de energía, asociado éste al crecimiento económico.

Estos parámetros interrelacionan fuertemente con los niveles tecnológicos alcanzados por los diferentes países y dependen en grado extremo del desarrollo de la investigación local y del avance en la identificación de las rutas tecnológicas alcanzables en las condiciones locales. Esta situación de partida implica que la metodología, aun cuando tenga una base conceptual general, en su aplicación debe contemplar los escenarios particulares de cada país y debe ser llevada a cabo por los expertos locales, dada su experiencia y

conocimiento, tanto de la investigación previa como de las proyecciones.

En la elaboración de este estudio se realizó una extensa revisión bibliográfica que ha permitido la identificación de las tecnologías más frecuentes, desarrolladas y aplicadas en diversidad de situaciones y países.

Se tomó contacto con algunas de las instituciones que han desarrollado la aplicación de software para análisis similares a los que se propone el presente trabajo.



Asimismo, se solicitó a los enlaces designados en los países miembros del PROCISUR una lista corta de materias primas disponibles y potenciales para la producción de biodiesel y etanol, que incluyera las características agronómicas y los costos de producción locales de cada una, con el fin de realizar las proyecciones pertinentes sobre líneas de investigación que permitan allanar el camino para la aplicación de la metodología propuesta. En principio, esta información también podría ser usada para la selección y elaboración de

---

un estudio de caso que fuera de interés de los enlaces designados y que actuara como agente demostrativo.

Luego se realizó una evaluación preliminar de las metodologías referenciales por medio de un FODA, que permitió identificar sus posibilidades de aplicación a la realidad de los países de la región. En el transcurso de la revisión bibliográfica y del FODA, se observó la gran dificultad de aplicación de una metodología universal, sujeta a la premisa de ser independiente de las coyunturas locales. De nada sirve elaborar una metodología que en los

hechos resulte inaplicable, tanto por su complejidad como por la vastedad de su campo de asignación.

Todo lo anterior ha motivado y dado lugar a la propuesta de una metodología probada y aplicable, basada en el Estudio de los Ciclos de Vida de los Biocombustibles (ECVB), para poder discernir los perfiles de las materias primas apropiadas para la producción de biocombustibles y, por tanto, poder realizar revisiones, comparativos y monitoreos periódicos y determinar riesgos e incertidumbres.

Tradicionalmente, el concepto de Agroenergía se refiere a la producción de cultivos y utilización de residuos agrícolas para la producción de energía.

En este estudio se propone adoptar el concepto de Cadenas Agroindustriales Energéticas (CAIE), con el fin de adicionar al análisis, los componentes industriales del proceso de producción de energía biomásica y de incluir los productos y residuos agrícolas y pecuarios en dicho proceso (Weidema, 2000).

Los sistemas agrícolas tradicionales involucran actividades humanas que llevan a cabo la producción de alimentos y fibras provenientes del cultivo de plantas y cría de animales en forma controlada (Spedding, 1998, citado por Iglesias, 2005). Por otro lado, los sistemas industriales son aquellos que involucran actividades humanas para producción de productos y servicios sin el cultivo de plantas y cría de animales. En las CAIE los productos son el resultado de una conjunción de procesos agropecuarios e industriales.

El concepto de “cadena” implica la interdependencia de los sistemas productivos y colabora en la reafirmación de la multidisciplinariedad de la producción de biocombustibles. Pocos productos conocidos involucran tan estrechamente sectores tan diversos como los biocombustibles, ya que en la producción de los mismos intervienen:

- El sector agropecuario, en su doble papel de proveedor de materias primas, tanto de la producción agrícola (aceites, almidón, lignocelulosa) como en la producción animal (sebos) y de consumidor de productos (biodiesel, etanol) y coproductos (harinas y expeller para raciones, fertilizantes, vinazas).
- El sector industrial, en su rol de transformador de productos de origen biomásico en combustibles para la generación de energía.
- El sector transporte, también en su doble papel de proveedor de servicios para el transporte de insumos, productos y coproductos, y de consumidor de biocombustibles.
- El sector energético, involucrado en lo que respecta a la producción y distribución de los combustibles fósiles a ser sustituidos, así como en la producción de biocombustibles.

Cada uno de estos sectores ofrece posibilidades y detenta limitantes para desarrollar su función. Por ejemplo, el sector agropecuario posee limitadas cantidades de suelo fértil, recurso tan finito como el petróleo que se pretende sustituir.

La determinación de las materias primas apropiadas para la producción de biocombustibles debe contemplar estas limitaciones y permitir la adopción de medidas adecuadas que propendan a un desarrollo sustentable de dicha producción.

Por lo expuesto, a los efectos de aplicar una metodología de Evaluación del Ciclo de Vida de los Biocombustibles, se propone operar con el concepto de que la Agroenergía es la disciplina que atiende a la implementación de cadenas agroindustriales con destino a la generación de energía de biomasa en sus diversas formas.



La metodología de análisis propuesta se basa en el Estudio de los Ciclos de Vida de los Biocombustibles (ECVB) producidos a partir de diferentes materias primas y toma como referente principal el proceso de estandarización del procedimiento y el método de Life Cycle Analysis (LCA) de la International Organization for Standardization (Guinée, 2001).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es uno de los métodos más aceptados para estimar el balance de energía relacionado a todos los pasos en la producción de diferentes productos, incluso es reconocidamente aceptado para los biocombustibles, en especial en la última década.

Según SETAC (citado por Iglesias, 2005), el ACV “es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final”.

Los costos de producción y los costos ambientales también se identifican más claramente al elaborar un ECVB, como se demuestra en los más recientes estudios internacionales (Gagnaire, 2005; Ignaciuk *et al.*, 2005; Lussis, 2005; Hill *et al.*, 2006).

Las normativas ISO para ser aplicadas a los ACV requieren el proceso dividido en “pasos” (Weidema, 1998). Además de subdividir el proceso unitario en procesos separados, cada uno con su correspondiente producto cada vez que sea

posible, el proceso según ISO (ISO 14041, cláusula 6.5.3) consiste de tres ítems que deben ser analizados en forma consecutiva.

Primero, cuando sea posible el sistema debe ser ampliado “para incluir los procesos adicionales relacionados con los productos”. Esta consideración es sumamente importante en el caso particular de las materias primas para biocombustibles, especialmente porque las mayores controversias en los balances realizados hasta el presente radican en la inclusión o no de los productos intermedios y coproductos y de entradas indirectas tales como las construcciones de destilerías o plantas de biodiesel.

Segundo, si el primer paso no es posible, “las entradas y salidas del sistema deberían ser divididas de acuerdo a sus productos o procesos, de manera tal que reflejen las relaciones implícitas u ocultas entre ellos. Por ejemplo: deberían reflejar la manera en que son modificadas de acuerdo a cambios cuantitativos de los productos o procesos del sistema”. Claramente, esta es una descripción de relaciones causales. Un ejemplo de este paso para los biocombustibles sería, la subdivisión del proceso de producción de las materias primas en función de las diferencias entre rendimientos del cultivo ocasionadas por cambios tecnológicos.

Tercero, puede darse que la adjudicación de las entradas y las salidas del sistema no pueden ser establecidas usando el producto final, por lo que deben ser colocadas en las relaciones entre los procesos, o mediante unidades funcionales.

En el ECVB los ítems indicados por ISO se dan todos, desde el primero al tercero, como se verá al aplicar la metodología (ISO, 2006). Se trata de determinar previamente a los balances, la cadena agroindustrial

energética con todos sus productos y procesos, sus coproductos y subprocesos, para luego adjudicar a cada uno de ellos los valores correspondientes en energía, económicos o ambientales.

¿Para qué realizar el ECVB? El objetivo final de la aplicación de esta metodología es tomar decisiones respecto de qué materias primas ameritan investigación y cuáles deben ser descartadas “a priori”. Cuantificar los beneficios y los costos de los biocombustibles a través de sus ciclos de vida, permite no solo tomar decisiones certeras hoy, respecto de la selección de las materias primas, sino también identificar mejores materias primas para el futuro.

### 3.1. APLICACIÓN DEL ECVB

La forma de aplicación de la metodología del ECVB comprende una serie de pasos consecutivos e interrelacionados que concluyen en la toma de decisiones respecto de la selección de las materias primas que ameriten su producción o un mayor grado de investigación de parte de los países de la región. En este sentido, tomando como referencia a Lussis (2005), el ECVB se caracteriza por:

- I. La definición del objetivo.
- II. La definición de una unidad funcional.
- III. La definición de las fronteras del sistema.
- IV. La elección de las categorías de impacto.
- V. La elección de los indicadores de categorías.
- VI. La elección de una unidad de medida común.
- VII. La realización y evaluación de los inventarios.
  - A. Inventario de las materias primas.
  - B. Inventario y análisis de los sistemas de producción.

- C. Evaluación de los resultados de los inventarios.
- D. Cuantificación de productos y procesos.
- E. Elaboración de balances.

VIII. La agregación de los resultados parciales en un solo valor.

IX. La toma de decisiones.

**I. La definición del objetivo.** En la mayor parte de los ECVB el objetivo es, generalmente, la comparación entre dos productos (ej: diesel y biodiesel), dos materias primas (ej: soja y girasol) o dos procesos para un mismo producto (transesterificación química o enzimática). La correcta definición del objetivo al inicio de la investigación es determinante de la adecuación de los resultados a la realidad. Objetivos demasiado ambiciosos pueden conducir a dificultar el desarrollo del ECVB y llegar a valiosos resultados de investigación pero que luego resulten inútiles para la toma de decisiones. Por lo tanto, se trata de definir objetivos claros, precisos y alcanzables.

**II. La definición de una unidad funcional.** La Unidad Funcional es la medida estricta de lo que el sistema entrega y se establece en concordancia con el objetivo de la metodología. La simplificación del ECVB exige la determinación de una unidad funcional sencilla y accesible, para no agregar innecesarios grados de complejidad al análisis, de tal forma que se torne inaplicable. La unidad funcional cumple muchos roles en el ECVB. En principio, sirve como indicador referencial, al cual se deben relacionar todos los datos del sistema. En segunda instancia, refleja la cuantificación de sustituciones que el “tomador de decisiones” debe realizar o en las que le interesa influir. Tercero, es la base para la comparación de diferentes alternativas, en forma equivalente.

**III. La definición de las fronteras del sistema.** Resulta prácticamente imposible registrar todas las salidas y entradas del sistema. Por ejemplo, en la producción de etanol a partir de caña de azúcar se produce un residuo (bagazo), que puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica en sustitución de un combustible fósil. Desde un punto de vista metodológico teórico, la integración de esta sustitución es correcta, pero en la práctica, resulta en un exceso de trabajo en términos de relevamiento de información que lo hace intrincado y engorroso, si ese coproducto es utilizado fuera del sistema. La identificación de “hasta dónde se puede llegar” implica que el investigador debe usar, ante todo, el sentido común, la ecuanimidad y no debe perder de vista el objetivo.

**IV. La elección de las categorías de impacto.** Según las etapas del ciclo de vida, se tomarán en cuenta diferentes categorías de impacto, que pueden variar de un análisis a otro. Por ejemplo, en el caso de la producción de biodiesel a partir de ricino (*Ricinus communis* L.) una categoría estaría dada por el efecto social en la generación de empleo agrícola familiar. En cambio, en el análisis de la producción de etanol a partir de remolacha sacarígena la principal categoría de impacto sería el efecto del cultivo en las propiedades físicas del suelo. En este marco, las categorías de impacto más estudiadas son los balances energéticos y económicos y más recientemente, los balances de gases de efecto invernadero (GEI).

**V. La elección de los indicadores de categorías.** Como se mencionó, las categorías seleccionadas para este estudio son las entradas y salidas de energía, los costos de producción y la reducción de GEI por la utilización de biocombustibles. En cada categoría deben definirse los indicadores correspondientes que permitan una comparación equivalente.

**VI. La elección de una unidad de medida común** y, en la medida de lo posible, un valor de referencia para cada categoría. Por

ejemplo, para la categoría costos de producción de un cultivo, siendo el indicador el costo de producción de una unidad de superficie, el valor se puede expresar en una moneda común por unidad de superficie: US\$/ha. En la categoría energía, la unidad de medida seleccionada debe corresponder con un sistema utilizado en todos los países miembros del PROCISUR.

**VII. La realización y evaluación de los inventarios.** En este paso se procede a la identificación de todos los componentes del sistema de producción en su fase agropecuaria y de las rutas tecnológicas, los procesos industriales, transporte, almacenamiento y distribución de los biocombustibles (Lewis, 1996; Sheenan, 1998). Se trata de realizar los inventarios correspondientes a cada materia prima, una a una, esto es, relevar las características botánicas y agronómicas de las materias primas en estudio, sus limitantes edafoclimáticas, el proceso industrial más adecuado dentro de los factibles y por último, la esquematización en un diagrama de flujo de todos los procesos involucrados y sus interrelaciones. La elaboración de los diagramas de flujo inherentes al ECVB otorga la posibilidad de visualizar y definir fácilmente las CAIE y todos sus componentes y determinar las rutas tecnológicas más apropiadas para cada materia prima y para cada biocombustible. La línea de base de la cual se parte -la consideración de las entradas (“inputs”), tanto energéticos como económicas o ambientales que se aplican al biocombustible en relación con las salidas (“outputs”) en su utilización- también habilita a identificar las posibilidades de utilización de coproductos y/o reutilización de desechos (Gagnaire, 2005). Se deben seguir los siguientes pasos:

A. *Inventario de todas las materias primas* potencialmente aptas para la producción de biocombustibles, esto es, los cultivos tradicionales (alimentarios o no), las especies

autóctonas cultivadas, las especies autóctonas pasibles de ser insertadas en sistemas agropecuarios, los residuos de cultivos, los residuos forestales, los residuos agroindustriales. Revisión bibliográfica de antecedentes locales, regionales e internacionales de investigación. Unificación de la información.

- B. *Inventario y análisis de los sistemas de producción*, extracción, obtención de las materias primas y de los productos finales. Diagramado de los flujos entrantes y salientes de insumos y productos. Cuantificación de los requerimientos y egresos de los sistemas. Prospección de los sistemas innovadores que no presenten antecedentes o investigaciones previas. Revisión bibliográfica de antecedentes locales, regionales e internacionales de investigación. Unificación de la información.
- C. *Evaluación de los resultados de los inventarios*. Clasificación y determinación de los déficits de información. Selección de las materias primas a ser investigadas. Definición de requerimientos de investigación y desarrollo.
- D. *Cuantificación de productos y procesos*; adjudicación de valor a cada entrada y salida del sistema.
- E. *Elaboración de Balances*. En el balance energético se determinarán los flujos de energía, en el balance económico los costos de producción y de comercialización de insumos, productos y coproductos y en el balance de carbono, las emisiones comparativas producto de la combustión de los biocombustibles de diferentes orígenes y sus correlativos fósiles.

#### **VIII. La agregación de los resultados parciales en un solo valor.** Esta etapa

resulta muy controversial, por lo que la Norma ISO 14042 recomienda no alcanzar esta etapa hasta que los resultados del estudio sean publicados (Lussis, 2005).

**IX. Toma de decisiones** respecto de las materias primas a ser incorporadas, complementadas, sustituidas, fomentadas o descartadas de los sistemas agroindustriales energéticos. Definición de las limitaciones irreversibles de los sistemas: rotaciones, monocultivo, cultivos transgénicos, disponibilidad de suelos, dependencia tecnológica, mantenimiento de la biodiversidad, etc.

Existen numerosos análisis del ciclo de vida de los biocombustibles que difieren en diversos aspectos, en especial, en la naturaleza de los productos analizados y las condiciones de fabricación, en la definición de las categorías de impacto y en la integración de una evaluación global (Van Gerpen, 2000; Sheenan *et al.*, 1998; Nikolaou, 2001; Kim, 2002).

A pesar de estas diferencias, lo que no se pone en duda es que el ECVB facilita la visualización práctica de las dificultades de cada materia prima y permite seleccionar la escala de proceso industrial en cada caso, ya que la implementación de esta metodología involucra realizar inventarios del conjunto de actividades, productos y procesos, sus consumos energéticos, sus costos de producción, sus impactos medioambientales y, fundamentalmente, identificar las etapas críticas para la realización de los correspondientes ajustes (Lambert, 1996; Fava, 1997; Andersson, 2000; Cederberg, 2002).

Por lo expuesto, el éxito de la implementación de esta metodología depende de acciones que incrementen la veracidad y exactitud de la información, acciones que deben realizarse en diferentes sectores en forma integrada y coordinada. La propia naturaleza de la metodología propuesta y ampliamente aceptada, involucra limitaciones y controversias



respecto de la calidad de la información que debe manejar.

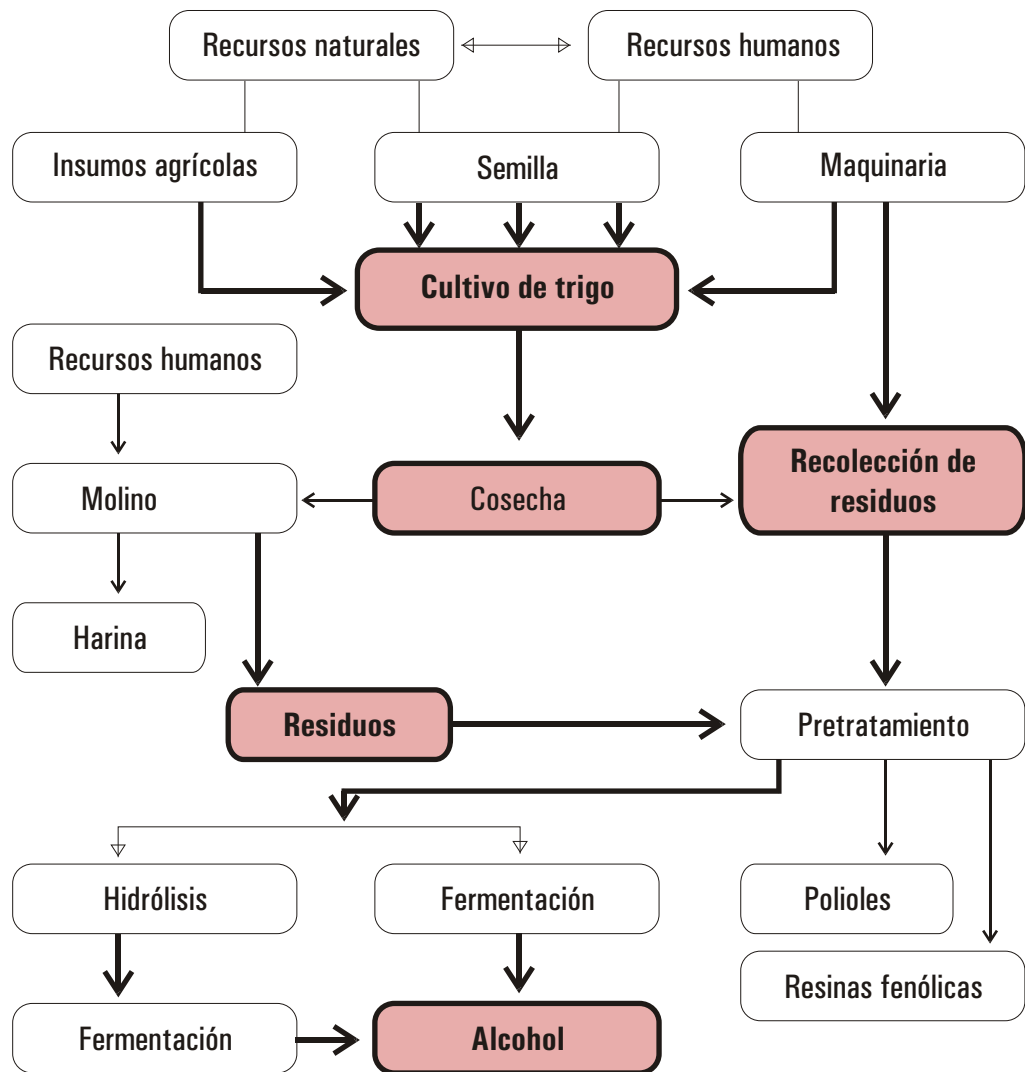


Figura 1.

Ejemplo de diagrama de flujo de una ruta tecnológica para la producción de etanol a partir de residuos de cosecha de trigo. Los decisores de esta ruta excluyeron la participación de transporte y almacenamiento. Fuente: Elaborado por la autora.



Recientemente, un nuevo estudio de las Universidades de Cornell y Berkeley (Patzek and Pimentel, 2006), reavivó una fuerte polémica acerca de la forma de aplicación de metodologías para la elaboración de balances de energía para biodiesel y etanol. El Dr. David Pimentel viene liderando esta controversia desde tiempo atrás, en especial, porque sus resultados indican que tanto el biodiesel como el etanol no son energéticamente positivos, entre otras razones porque no incluyen en sus balances la energía producida por los coproductos con destino a la alimentación animal. En contraposición, también en el presente año, la Universidad de Minnesota incluyó estos parámetros llegando a resultados completamente diferentes.

El resultado de esta polémica ha llevado a concluir que la selección de la metodología de análisis puede ser controversial si no se incluyen o si se excluyen a propósito algunas etapas del proceso y algunos coproductos. La metodología propuesta sugiere introducir estos parámetros desde el momento que forman parte innegable de la CAIE y deben ser incluidos en un correcto ACV. El ACV es una ciencia que requiere una cantidad sustancial de datos y una gran rigurosidad en su determinación. El nivel de detalle requerido fuerza un grado alto de especificidad en el alcance y aplicación de los productos estudiados, especialmente para el caso de las materias primas para biocombustibles.

*“Conducting life cycle inventories is fraught with difficulties. Incomplete data is the rule, rather than the exception” (Sheehan et al, 1998).*

Pero tal grado de especificidad no debe comprometer el éxito de la aplicación de la metodología. Tomando en consideración el aporte de Souto (2006, com. pers.) “deberá cuidarse el grado de profundidad

que asumirá el análisis. Este deberá guardar relación con el objetivo básico de identificar materias primas «promisorias», entre las disponibles y las potenciales, a efectos de ser incorporados en los programas nacionales o regionales de I+D. Por tanto no parece necesario un nivel de detalle extremo (más propio del análisis de un proyecto de inversión concreto por ej.), que -por otra parte- podría hacer impracticable para los INIA´s su instrumentación. Por el contrario la herramienta deberá permitir una selección «calificada» de los materiales que merecerán esfuerzos en I+D, muchos de los cuales serán posteriormente descartados en el proceso”. Este aporte sustantivo respecto del grado de profundidad que deberá asumir la metodología se alinea con el Análisis Simplificado del Ciclo de Vida, que es una parte inherente al proceso de definición de alcances y objetivos de un estudio.

Según Iglesias (2005), “Los profesionales, cuando comienzan un estudio de ACV, se encuentran con un número de desafíos en la vida real, que pueden incluir entre otros, tomar decisiones de omitir partes de datos, consensuar con falta de datos, decidir qué incluir en el estudio de inventario, cómo incorporar información confidencial de empresas privadas, cómo diseñar el modelo de hoja de cálculo para elaborar el inventario de datos requeridos, costos asociados, tiempos, objetivos, etc. Para enfrentar estos desafíos se necesita información, pero la información casi siempre esta disponible en fuentes dispersas y no compaginadas en una manera amigable. Por lo tanto, para enfrentar estos desafíos los investigadores necesitan herramientas e información para dar un sustento científico al ACV y minimizar la incertidumbre”.

Demás está decir, que en la selección de las materias primas apropiadas no se deben tomar en cuenta solamente los costos

---

económicos de producción, como frecuentemente suele ocurrir. Pero, a la vez, es suficientemente sabido que el costo de la materia prima es el principal componente del costo final de los biocombustibles y que el costo del proceso industrial no interviene más que en un 10-20%, dependiendo del tipo de proceso, del costo de los insumos industriales y de la escala industrial.

Por ende, no se tomarán en cuenta en esta propuesta, los resultados de análisis de la energía introducida en la producción de combustibles fósiles y los procesos de transformación de estas energías primarias en energías finales (extracción, transporte, refinación), en comparación con la energía producida en la combustión de los mismos, sino que se partirá de información bibliográfica aceptada, con el objeto de no agregar más grados de complejidad al estudio. Asimismo, no serán considerados los costos de transporte, almacenamiento y distribución de los combustibles fósiles.

No sucede lo mismo con la energía involucrada en el proceso industrial, en donde las entradas y salidas del mismo pueden llegar a determinar la viabilidad del producto, desde el punto de vista energético.

Por otro lado, en un estudio agroenergético no pueden ser considerados, por exceder los objetivos del mismo, los balances

energéticos y económicos de la producción y uso de los combustibles fósiles, los cuales también son distintos en los diferentes países del Cono Sur, ya que algunos poseen estos recursos mientras que otros, como es el caso de Uruguay, son totalmente dependientes en el área extracción, no así en refinación.

Werner (2003), manifiesta que “el proceso de producción de biodiesel y diesel es prácticamente el mismo, en lo que se refiere a la eficacia en la conversión de materias primas en combustible. La diferencia es que el biodiesel puede usar en su producción recursos renovables (soja, colza, girasol, aceite usado de frituras o sebos animales) mientras el diesel convencional proviene de recursos fósiles. De hecho, el ciclo de vida del diesel de petróleo rinde sólo 0.83 unidades de producto combustible por unidad de energía fósil consumida”.

Los límites del sistema están dados en la definición de los objetivos. En este caso se trata de determinar qué materias primas deben ser incorporadas a los estudios de I+D y cuáles serán descartadas. Es por esta razón que en este estudio se tratará de no profundizar en la descripción y cuantificación ni en la valorización de los procesos industriales, sino que se tomarán como válidos los valores citados en la bibliografía internacional.

Desde las sucesivas crisis energéticas de los años setenta, las materias primas para la producción de biocombustibles han sido objeto de permanente investigación, en aras de la sustitución de combustibles fósiles.

En general, las materias primas más estudiadas han sido las disponibles y/o tradicionales en los países que conducen la investigación. Es así, que en la Comunidad Europea proliferan los estudios sobre el comportamiento de la colza (*Brassica napus*, *B. rapa*) para la producción de biodiesel y los cereales de ciclo invernal para la producción de etanol (Blix, 1998; Reinhardt, s/d).

En América del Norte, los estudios se enfocan mayormente hacia soja (*Glycine max*) para biodiesel y maíz (*Zea mays*) para etanol, a instancias de las corporaciones sojeras y maiceras (Hill, 2006; MathPro, 2005; Patzek, 2005; Patzek and Pimentel, 2006; Pimentel, 2003; Shapouri *et al.*, 2002).

El aceite de palma de varias especies es objeto de permanente estudio en Malasia, Indonesia, Nigeria, Colombia y Brasil (Choo, s/d).

El objetivo de la mayoría de estos trabajos ha sido determinar la sustentabilidad de la sustitución de combustibles fósiles por combustibles de origen biomásico, sus costos en relación con los requerimientos de subsidios y su comportamiento en cuanto a la emisión de GEI (Scharmer, 1991; Spirinckx, 1996; Pimentel, 2003).

Muchos otros estudios revisan el comportamiento de diferentes materias primas y realizan el correspondiente cotejo de rendimiento, características y propiedades agronómicas (Mosca, 1994; Peterson, 1986).

Asimismo, otros investigadores se han

centrado en el estudio comparativo del comportamiento de combustibles fósiles y biocombustibles en diferentes motores, sus incompatibilidades, sus mezclas y su desempeño en cuanto a potencia erogada, consumo y rendimiento térmico (Dunn, 1997).

Muchos científicos han manifestado una posición negativa respecto a los biocombustibles, que se resume en la siguiente cita de Mae-Wan Ho: "*Bioethanol and biodiesel from energy crops compete for land that grows food and return less energy than the fossil fuel energy used in producing them; they are also damaging to the environment and disastrous for the economy*" (Ho *et al.*, 2006).



Por otro lado, se reportan innumerables estudios que avalan la utilización de biocombustibles, no solo por sus ventajas ambientales sino por encontrar un importante balance a favor de la energía que liberan en comparación con la energía fósil que consume su producción (Reinhardt, s/d; Berndes, 2003; Blix, 1998; Hill *et al.*, 2006; MathPro, 2005).

La revisión bibliográfica permite concluir

---

que gran parte de las divergencias entre los balances de energía y costos de los biocombustibles se centran en la sensibilidad de estos balances a las

asignaciones de los coproductos de la producción de biocombustibles y a las asignaciones a las infraestructuras de producción (Graboski *et al.*, 2002; Shapouri *et al.*, 2002).

### 6.1. UNIDAD FUNCIONAL

Como se dijo anteriormente, la unidad funcional es la medida estricta de lo que el sistema entrega y se establece en concordancia con el objetivo de la metodología. Para el presente estudio se selecciona como unidad funcional el *rendimiento en biocombustible del cultivo*, expresado en litros de biocombustible por unidad de superficie de cultivo (l/ha).

La elección de la magnitud “volumen” para la unidad referencial se sustenta en el hecho de que esta unidad es acorde a las legislaciones de los países, en cuanto a la incorporación de biocombustibles a las diferentes matrices energéticas en porcentajes de volúmenes de consumo de combustibles fósiles.

El rendimiento en litros de biocombustible por hectárea en muchos casos de aplicación de esta metodología y, en especial, para las materias primas no convencionales, no será un dato conocido por los investigadores, por lo que si no se dispone de información local fidedigna, debe ser estimado a partir de investigaciones locales o, en su defecto a partir de datos bibliográficos confiables.

#### ■ 6.1.1. Unidad funcional de energía

La unidad funcional seleccionada es la energía por unidad de volumen de biocombustible producido, expresada en MJ/l (megajoule por litro), para establecer una unidad acorde con las legislaciones vigentes o propuestas, las cuales se basan en porcentajes de los volúmenes consumidos de combustibles fósiles, a pesar de los diferentes rendimientos energéticos comparativos.

La elección de esta unidad funcional, la densidad volumétrica de energía, puede ser debatible, desde que el contenido energético para la misma unidad de volumen de los biocombustibles es menor que el de la gasolina y el diesel convencional. Por ende, el impacto de introducir un volumen fijo de biocombustibles es aún menor que una sustitución en energía liberada por la combustión. Aún considerando la inclusión de los coproductos para la alimentación animal, Armstrong *et al.* (2002) afirman que cada litro de biodiesel reemplazaría 0.51 litros de diesel y cada litro de etanol reemplazaría 0.21 litros de gasolina.

Esta consideración debe ser tenida en cuenta al momento de tomar decisiones respecto de la sustitución de los combustibles fósiles en las diferentes matrices energéticas de los países miembros del Cono Sur.

#### ■ 6.1.2. Unidad funcional económica

La unidad funcional para el balance económico es el costo de producción de la unidad de volumen de biocombustible, expresado en US\$/l.

#### ■ 6.1.3. Unidad funcional de carbono

La unidad funcional para el balance de carbono será la cantidad de carbono no emitido al sustituir un combustible fósil por un biocombustible, expresada en toneladas equivalente CO<sub>2</sub>.

## 6.2. INDICADORES ENERGÉTICOS

- **Re:** Rendimiento energético de la producción del biocombustibles: es el cociente entre la energía total del biocombustible y coproductos y la energía fósil total suministrada al sistema de producción.

También llamado Índice de Utilización de Energía, o Eficiencia, comprende la energía generada por la combustión del biocombustible conjuntamente con la energía obtenida por la utilización de coproductos en relación a la energía utilizada en la fabricación del biocombustible.

Un valor de rendimiento energético superior a 1 indica que se obtiene más energía en la combustión del biocombustible y la utilización de coproductos, que la que fue empleada en su producción.

Para la determinación de este indicador debe contabilizarse toda la energía utilizada, por un lado, en el proceso de fabricación a partir de las materias primas, y por otro lado, la energía consumida en la fabricación de las propias materias primas. Este índice está integrado por los siguientes indicadores parciales:

- Energía utilizada en la producción del cultivo. Comprende la energía fósil aplicada en la producción del cultivo y se expresa en megajoule por litro de biocombustible producido (MJ/l).
- Energía utilizada en la transformación en biocombustible. Comprende la energía fósil aplicada en la fabricación del biocombustible, esto es, en el proceso industrial involucrado. Se expresa en megajoule por litro de biocombustible producido (MJ/l).
- Energía obtenida de la combustión del biocombustible. Es la energía que se obtiene al quemar el biocombustible en

un motor de combustión interna. Se expresa en megajoule por litro de biocombustible (MJ/l).

- Energía obtenida de la utilización de coproductos (MJ/l). Comprende la energía contenida en los coproductos agrícolas e industriales del proceso de producción de materias primas y de fabricación del biocombustible. Se expresa en megajoule por litro de biocombustible producido (MJ/l).

## 6.3. INDICADORES ECONÓMICOS

- **Ie:** es el cociente entre egresos originados por la fabricación del biocombustible y el total de ingresos por la venta de los coproductos y del biocombustible.

Un valor de Ie menor a 1 indica que la producción del biocombustible es económicamente competitiva pero no indica cuál es su rentabilidad ni su competitividad frente al combustible fósil.

- **Ic:** es el cociente entre el total de costos de producción de una unidad de superficie agrícola (incluido el proceso industrial) y el volumen de biodiesel producido por unidad de superficie. Se lo compara con el precio de mercado del combustible fósil reemplazado.

Para la determinación de este indicador deben contabilizarse todos los costos, fijos y variables, originados en la producción de las materias primas, en el proceso industrial y en todos los procesos intermedios. Este índice está integrado por los siguientes indicadores parciales:

- *Costos de producción del cultivo.* Comprende los costos de insumos, maquinaria, fertilizantes, instalaciones, transporte, acondicionamiento y mano de obra, empleados en la producción de una



unidad de superficie de cultivo en relación al rendimiento en biocombustible de la misma y se expresa en US\$/l de biocombustible producido.

- *Costos de transformación de la materia prima en biocombustible.* Comprende los costos aplicados al proceso industrial de fabricación del biocombustible, transporte de productos y almacenamiento, por unidad de volumen de biocombustible producido. Se expresa en US\$/l.
- *Precio de los coproductos.* Es el valor de comercialización o valor de mercado de los coproductos agrícolas e industriales del proceso de producción de materias primas y de fabricación del biocombustible. Se expresa en US\$/l.
- *Precio de los combustibles reemplazados.* Es el valor de mercado de los combustibles fósiles y se aplica a cada país en forma diferencial. Se expresa en US\$/l.
- *Producto bruto o Ingreso bruto (US\$) =* Rendimiento físico (l/ha) \* Precio mercado (US\$/l) \* Superficie de cultivo (ha)
- *Costo total (US\$) =* (Costos variables + Costos fijos) (US\$/ha) \* Superficie de cultivo (ha)
- *Margen Bruto (US\$) :* Producto bruto (US\$) - Costo total (US\$)

## 6.4. INDICADORES AMBIENTALES

- **Rg:** la proporción de GEI neta emitida en la producción del biocombustible, respecto de la cantidad emitida en la producción y combustión de una cantidad de combustible fósil para el mismo uso final energético y se expresa en equivalente CO<sub>2</sub><sup>1</sup>.
- **Rga:** es igual que el anterior aplicado a los créditos de GEI obtenidos por la sustitución de productos para alimentación animal o por la sustitución de fertilizantes por coproductos derivados de la producción de biocombustibles.
- **Rgb:** es el mismo cociente aplicado al crédito de GEI para la biomasa y/o otros productos (glicerina) utilizables como combustible durante el proceso de la producción.

Un valor de Rg por debajo de 1, indica una reducción neta de emisiones de GEI.

- 1 tonelada de carbono = 3.67 toneladas de dióxido de carbono (t CO<sub>2</sub>)
- 1 tonelada de dióxido de carbono = 0.273 toneladas de carbono (tC)

<sup>1</sup> La cantidad de GEI emitida en la combustión del biocombustible no se considera, ya que se entiende que será incorporada por los cultivos.



El primer paso para la realización de los balances es definir la materia prima a evaluar y la ruta tecnológica involucrada, esto es, definir el Ciclo de Vida del Biocombustible.

**Ejemplo 1:** supongamos la producción de metiléster de girasol (SME, por su sigla en inglés) que se realiza desde el aceite del girasol y puede sustituir al diesel fósil en los vehículos de motor de ignición por compresión.

- El girasol es cultivado mediante siembra directa, cosechado mecánicamente, su grano es transportado desde el campo, acondicionado, secado, limpiado, almacenado y nuevamente transportado, esta vez, a la planta aceitera o molino donde se extrae el aceite.
- El aceite es extraído del grano, primero por prensado y luego por solventes, es desgomado, neutralizado, blanqueado y refinado y se somete al proceso de transesterificación básica en que también se produce glicerina como coproducto.
- La harina de girasol (el coproducto de la extracción del aceite) se usa como alimento animal en sustitución o complemento de otras harinas.
- El SME crudo se purifica, almacena y distribuye para su utilización.

**En este ejemplo definimos la materia prima, girasol y la ruta tecnológica, transesterificación básica.**

**Ejemplo 2:** supongamos la producción de etanol de maíz a partir de la fermentación de los almidones presentes en el grano de maíz, para sustituir a la gasolina.

- El maíz es cultivado mediante laboreo convencional en rotaciones. Es cosechado, trillado y transportado a la planta de acondicionamiento donde es secado y limpiado, para ser transportado nuevamente a la destilería.
- En la planta se somete a pretratamiento (o preparación de la materia prima) y a tratamiento por molienda húmeda para hidrólisis y fermentación.
- Luego se recupera y destila el alcohol y se separan los productos derivados no alcohólicos. Al ser la molienda húmeda un proceso costoso, es usado principalmente en plantas de escala.

**En el ejemplo anterior definimos la materia prima, maíz y la ruta tecnológica, hidrólisis, fermentación, destilación.**

Luego se procede como indica ISO a subdividir los procesos. Los subprocesos pueden comprender desde la producción de insumos, tales como, fertilizante y biocidas para el cultivo, hasta el lavado y secado del SME en la planta industrial, pasando por el transporte de insumos y productos.

## 7.1. BALANCE DE ENERGÍA

Los Balances de Energía son sistemas cuantitativos coherentes que contabilizan, por un lado, las disponibilidades energéticas y, por otro, sus empleos. La metodología propuesta disocia las energías en renovable y fósil y salva la confusión acerca de la energía solar involucrada en la producción de cultivos, ya que no la considera como “input” en el cálculo del balance energético, por ser ambientalmente benigna y no ofrecer limitaciones para su utilización.

Se trata de determinar la energía fósil utilizada en la producción del biocombustible en relación con la energía obtenida en su combustión y definir los componentes del sistema que deberán ser considerados, siendo muy cuidadosos con la incorporación en el balance de salidas de energía controversiales, como puede ser el caso de la energía utilizada en la construcción de las plantas industriales (Ali, 1994; Fujino, 1999; McLaughlin, 1998; Pimentel, 2003).

El resultado de estos balances se verá afectado por los avances tecnológicos y las mejoras introducidas en los sistemas, así como por las diferencias en las eficiencias energéticas de las rutas tecnológicas evaluadas.

En el caso de los biocombustibles se subdivide la energía involucrada en el proceso unitario (cultivo-biocombustible) en los siguientes coproductos (indicadores), cada uno con su correspondiente subproceso:

- Energía utilizada en la producción del cultivo.
- Energía utilizada en la transformación en biocombustible.
- Energía obtenida de la combustión del biocombustible.
- Energía obtenida de la utilización de coproductos.

### ■ 7.1.1. Energía utilizada en la producción del cultivo.

En esta fase el proceso se desglosa en sus principales componentes, que deben ser adaptados por cada investigador de acuerdo a las condiciones locales de producción y a la información disponible. En esta etapa es crucial que el investigador identifique los déficits de investigación, para poder definir las líneas de acción futuras.

#### · Producción de insumos

El subproceso de producción de insumos se vincula indirectamente a la producción del biocombustible, pero directamente a la producción de las materias primas objeto de este estudio y comprende una gran diversidad de alternativas dependientes del sistema de producción, del cultivo en evaluación y de las condiciones locales de producción. La calidad de la información requerida debe sustentarse en investigaciones locales o en referencias bibliográficas confiables.

**Ec. (1):** Energía fósil utilizada (MJ/l) = Promedio aplicación (kg/ha) \* Energía fósil utilizada en la producción del insumo (MJ/kg) / Rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

Shapouri *et al.* (2002), en su balance energético de la producción de etanol de maíz y utilizando el programa informático GREET Model (Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation), muestran un cuadro indicativo de los consumos energéticos implicados en la producción de insumos, donde se destaca la participación de los fertilizantes nitrogenados y de los biocidas.

**Cuadro 1.** Energía usada para producir fertilizantes, herbicidas, e insecticidas

	Nitrógeno <sup>2</sup>	Ácido Fosfórico <sup>2</sup>	Potasio <sup>3</sup>	Herbicida <sup>3</sup>	Insecticida <sup>3</sup>
Gasoil (Btu/lb)	0	0	642	67.310	69.299
Gas Natural (Btu/lb)	16.857	56	559	25.802	26.564
Electricidad (kWh/lb)	0,094	0,215	0,255	5,589	5,755
	Nitrógeno <sup>4</sup>	Ácido Fosfórico <sup>4</sup>	Potasio <sup>4</sup>	Herbicida <sup>4</sup>	Insecticida <sup>4</sup>
Gasoil (MJ/kg)	0,0	0,0	1,5	156,6	161,2
Gas Natural (MJ/kg)	39,2	0,1	1,3	60,0	61,8
Electricidad (MJ/kg)	0,75	1,71	2,03	44,49	45,81
<b>TOTAL</b>	<b>40,0</b>	<b>1,8</b>	<b>4,8</b>	<b>261,1</b>	<b>268,8</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

Los fertilizantes nitrogenados se consideran la principal salida de energía en el proceso de producción de insumos

para biocombustibles, debido a las ingentes cantidades que se aplican por unidad de superficie, **Cuadro 2**.

**Cuadro 2.** Importancia del N en la producción de insumos

Nutriente <sup>5</sup>	Colza (MJ/ha)	Trigo, paja incorporada al suelo (MJ/ha)	Colza (MJ/kg)	Trigo, paja incorporada al suelo (MJ/kg)	Trigo, paja utilizada (MJ/kg)
<b>N</b>	<b>6840</b>	<b>7410</b>	<b>11,2</b>	<b>12,1</b>	<b>10,8</b>
P205	150	180	0,2	0,3	0,3
K20	200	225	0,3	0,4	0,7
<b>TOTAL</b>	<b>7190</b>	<b>7815</b>	<b>11,8</b>	<b>12,7</b>	<b>11,7</b>

Fuente: Richards, 2000 (conversiones por la autora)

Según Soares (2005), “en el análisis del ciclo de vida del biodiesel hecho por Almeida Neto *et al.* (2004), considerando el aprovechamiento total de la energía contenida en el biodiesel de ricino, la relación entre la energía producida y consumida (Output/Input), resulta en valores que varían de 2,0 a 2,9 de acuerdo con la productividad del cultivo y de la ruta de

síntesis del biodiesel (etilo o metílico). La mayor parte de la energía es consumida en la fase agrícola, sobre todo en el uso de fertilizantes nitrogenados que son producidos por procesos de uso intensivo de energía. Para el mejoramiento de esa eficiencia es fundamental el aumento de la productividad agrícola y el uso racional, principalmente de fertilizantes y herbicidas”.

<sup>2</sup> Fertilizer Institute, 2000.<sup>3</sup> GREET model, Argonne National Laboratory, 2001<sup>4</sup> Conversiones realizadas por la autora<sup>5</sup> Las cantidades de nutrientes que contienen la energía expresada, son para rendimientos equivalentes a 697 kg/ha de biodiesel de colza, 771 kg de etanol de trigo con paja incorporada al suelo y 867 kg de etanol de trigo con paja utilizada en la producción, siendo las fuentes de nutrientes nitrato de amonio, superfosfato triple y muriato de potasio.

### · Transporte de insumos

La modalidad de transporte puede comprender diversas opciones: terrestre carretero, terrestre por ferrocarril, fluvial por barcas, etc., por lo que debe ser identificada previamente al definir la ruta tecnológica en la elaboración del ECVB. En este modelo se presenta el transporte de insumos subdividido en productos múltiples y se refiere al transporte carretero, el más frecuente en los países de la región.

Siendo:

- a:** Energía fósil según distancia a la fuente de suministro (MJ) = Combustible fósil utilizado (l/km) \* Energía del combustible (MJ/l) + Lubricantes, otros (l/km) \* Energía del lubricante, otros (MJ/l) \* Distancia al suministro (km)
- b:** Energía fósil por unidad de masa transportada (MJ/kg) = **a** / Masa total transportada (kg)
- c:** Energía fósil del transporte aplicada a la producción del cultivo (MJ/ha) = **b** \* Promedio aplicación (kg/ha)

**Ec. (2a):** Energía fósil utilizada (MJ/l) = **c** / Rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

**Ec. (2b):** Energía fósil utilizada (MJ/l) = (Energía del Combustible fósil utilizado (MJ/km) + Energía de Lubricantes, otros (MJ/km)) \* Distancia al suministro (km) / Masa total transportada (kg) \* Promedio aplicación (kg/ha) / Rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

### · Operaciones mecanizadas

Como ya se advirtió, las operaciones mecanizadas en cada cultivo a ser evaluado van a diferir de acuerdo a las condiciones locales y al cultivo en evaluación y su determinación debe efectuarse al elaborar el ECVB.

Un cultivo bajo siembra directa no requiere la cuantificación de las operaciones de laboreo. Lo mismo si se trata de un cultivo de cosecha manual donde se recargará la evaluación de la mano de obra y no se considerarán las operaciones de cosecha mecanizada. Es en estas coyunturas donde surge con claridad cuáles son los requerimientos de investigación de cada cultivo y de cada país.

A modo de ejemplo se presenta el **Cuadro 3**, donde se muestran las operaciones mecanizadas de un cultivo convencional que presenta un rendimiento de 544 litros de biocombustible por hectárea.

**Cuadro 3.** Operaciones mecanizadas

Operación	Número de operador	Combustible usado (l/ha)	Energía (MJ/ha)	Energía fósil utilizada (MJ/l biocombustible)
Arada	1	19.6	840	1,5
Rastreada	1	6.4	280	0,5
Surcado	1	3.9	170	0,3
Siembra	1	3.9	170	0,3
Carpida	1	1.3	56	0,1
Pulverizaciones (2 H+ 3 l)	5	6.0	260	0,5
Aplicación de fertilizantes	2	3.9	192	0,4
Cosecha	1	14.6	630	1,2
Enterrado del rastrojo	1	5.2	220	0,4
Acarreo	1	1.3	56	0,1
<b>COMBUSTIBLE TOTAL</b>		<b>66.3</b>	<b>2874</b>	<b>5,3</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

El cálculo de la energía fósil involucrada en las operaciones mecanizadas con tractor con implemento, cosechadora o autopropulsados, se realiza según la siguiente ecuación:

**Ec. (3):** Energía fósil utilizada (MJ/l) = [Combustible fósil utilizado (l/ha) \* Energía fósil utilizada en la producción del combustible (MJ/l) + Lubricantes y otros (l/ha) \* Energía fósil utilizada en la producción de lubricantes y otros (MJ/l)] / Rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

· **Producción de tractores y maquinaria agrícola**

En cultivos agrícolas se ha demostrado que la fabricación de la maquinaria utilizada representa el 10-15% de la energía usada (Weidema *et al.*, 1995). Como la maquinaria agrícola insume ingentes costos energéticos, en especial en la producción de acero, se incorpora a este estudio limitando su participación a las

operaciones directamente vinculadas a la producción de biocombustibles:

**Ec. (4):** Energía fósil utilizada (MJ/l) = Energía fósil utilizada en la construcción de maquinaria agrícola (MJ) \* IUMA \* Rendimiento anual en biocombustible del cultivo (l/año) / Vida útil de la maquinaria (años)

Donde:

IUMA: Índice de Uso Agroenergético de la Maquinaria (tractores, implementos, cosechadoras, autopropulsados, etc.). Porcentaje del total anual de operaciones mecanizadas destinado a la producción de biocombustible. Se estima a partir de bibliografía y se expresa en porcentaje.

Vida útil se refiere al lapso en años que se espera se mantenga en operación un equipo o sistema sin pérdida notable de su rendimiento original.

· **Producción de construcciones directamente vinculadas a la producción del biocombustible**

**Ec. (5):** Energía fósil utilizada (MJ/l) = Energía fósil utilizada en las construcciones directamente vinculadas a la producción de biocombustibles (MJ) \* IUCA \* Rendimiento anual en biocombustible del cultivo (l/año) / Vida útil de las construcciones (años)

Donde:

IUCA: Índice de Uso Agroenergético de las Construcciones (galpones, silos, etc.). Porcentaje del total anual de uso de las construcciones destinado a la producción de biocombustibles. Se estima a partir de bibliografía y se expresa en porcentaje.

· **Mano de obra**

La energía imputada a la mano de obra involucrada en la producción de cultivos para biocombustibles se estima a partir del consumo energético requerido por

operario, desglosado en las subdivisiones correspondientes.

El Comité de Expertos FAO/ OMS/ ONU (1985), definió las necesidades de energía de una persona como la dosis de energía alimentaria ingerida que compensa el gasto de energía, cuando el tamaño y composición del organismo y el grado de su actividad física son compatibles con un estado duradero de buena salud y que permite el mantenimiento de la actividad física que sea económicamente necesaria y socialmente deseable.

El consumo energético puede expresarse en horas trabajadas, pero también puede expresarse en la unidad "jornada", que implica una jornada laboral de 8 horas, la cual se dedica exclusivamente a la producción del cultivo con destino biocombustible. Según Bolet (2002), las necesidades de energía alimentaria en los adultos se calculan a partir del peso corporal y de la intensidad de la actividad física, según diferentes factores múltiples de la tasa metabólica basal (TMB).

En el **Cuadro 4** se presenta la información para el cálculo de los requerimientos de energía.

**Cuadro 4.** Necesidades de energía alimentaria en adultos

<b>HOMBRE</b>			
<b>Edad (años)</b>	<b>Tasa metabólica basal</b>	<b>Actividad física en 24h kcal/g</b>	<b>Gasto energético</b>
18-30	15,3(P) + 679	sedentaria	TMB x 1,30
30-60	11,6(P) + 879	ligera	TMB x 1,55
> 60	13,5(P) + 487	moderada	TMB x 1,78
		intensa	TMB x 2,10
<b>MUJER</b>			
<b>Edad (años)</b>	<b>Tasa metabólica basal</b>	<b>Actividad física en 24h kcal/g</b>	<b>Gasto energético</b>
18-30	14,7(P) + 496	sedentaria	TMB x 1,30
30-60	8,7(P) + 829	ligera	TMB x 1,56
> 60	10,5(P) + 596	moderada	TMB x 1,64
		intensa	TMB x 1,62

Fuente: Bolet, M. y Socarras, M. 2002.



Siendo:

**a** Energía alimentaria requerida Hombre (MJ) = 11,6 \* Peso corporal promedio (kg) + 879\*1,55\*0,004184

**b** Energía alimentaria requerida Mujer (MJ) = 8,7 \* Peso corporal promedio (kg) + 829\*1,56\*0,004184

**Ec. (6):** Energía alimentaria requerida (MJ/l) = (a \* % trabajadores masculinos + b \* % trabajadoras) \* Jornadas laborales (días) \* IUAMO / Rendimiento en biocombustible

Donde:

IUAMO: Proporción del total anual de jornadas de trabajo que tiene como destino los cultivos energéticos. Se expresa en porcentaje.

### ■ 7.1.2. Energía utilizada en la transformación del Biocombustible

La energía utilizada en la transformación de las materias primas en biocombustibles es objeto de permanente controversia, particularmente,

en lo que se refiere a los componentes del ciclo de vida a incluir en el balance. Las principales diferencias entre los investigadores radican en la inclusión del gasto de energía en la construcción de destilerías y plantas de biodiesel, su ponderación y su valorización.

En algunos balances se considera el costo energético de la fabricación de acero y de cemento para las plantas industriales, con énfasis en algunos insumos provenientes de combustibles fósiles, como puede ser el caso del metanol para biodiesel o de la energía generada para producir vapor a partir de gas natural.

Los componentes del proceso industrial a incluir en el ECVB dependen de la ruta tecnológica seleccionada, de la escala industrial, del tipo de proceso y aún del equipamiento. Cuando se realiza un ECVB de prospección de materias primas, que aún no han llegado a ser procesadas industrialmente, entonces se debe recurrir a bibliografía referencial en condiciones similares.

Los valores de energía utilizada en el proceso industrial oscilan entre 8 y 18 MJ/l para el biodiesel y 10,6 y 24 MJ/l para el etanol, como se muestra en el **Cuadro 5**.

**Cuadro 5.** Consumo de energía adjudicados al proceso industrial por diferentes autores

Fuente	BODIESEL		ETANOL	
	Cultivo	Energía consumida en el proceso industrial (MJ/l)	Cultivo	Energía consumida en el proceso industrial (MJ/l)
Hill, J. et al. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels.	Soja	8,1	Maíz	12,73
Patzek and Pimentel, 2006. Thermodynamics of energy production from biomass,			Maíz	14,5
Levington, 2000 citado por Lussis, 2005. Impacts environnementaux des Biocarburants.	Colza	9,6	Trigo	18,5
Shapouri, H. et al. 2002. The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update.			Maíz	14,4
Graboski. 2002. A rebuttal to 'Ethanol Fuels: Energy, Economics and Environmental Impacts by D. Pimentel'			Maíz	14,1
Pimentel and Patzek. 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower.	Soja	15	Switchgrass	21,6
Pimentel and Patzek. 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower.	Girasol	17,8	Madera	24
Reinhardt, Pros and cons of RME compared to conventional diesel fuel.	Colza	12,9		
Lorenz and Morris. 1995. How Much Energy Does It Take to Make a Gallon of Ethanol?.			Maíz	10,6
Lorenz and Morris. 1995. How Much Energy Does It Take to Make a Gallon of Ethanol?.			Madera	17,1

Fuente: Elaborado por la autora.

Para visualizar más claramente la necesidad de uniformizar la información y adecuar ésta a una metodología común, a continuación se presentan dos ejemplos

demostrativos de la variabilidad de componentes del proceso industrial y de los valores de energía adjudicados por los investigadores a cada componente (Cuadros 6, 7 y 8).

**Cuadro 6.** Componentes y energía por Gazzoni *et al.* 2006

<b>Entradas de energía para la producción industrial de biodiesel de girasol</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidades</b>	<b>MJ/l</b>
Electricidad	137,75 kWh	0,7
Vapor	688.775 kcal	3,6
Agua de limpieza	81.633 kcal	0,4
Calor en el espacio interno	77.550 kcal	0,4
Calor directo	224.490 kcal	1,2
Pérdidas	133.061 kcal	0,7
Acero inoxidable	6 kg	0,4
Acero	11 kg	0,7
Cemento	29 kg	0,3
<b>Total</b>	-	<b>8,4</b>

Fuente: Gazzoni *et al.*, 2006

**Cuadro 7.** Componentes y energía por Pimentel y Patzek, 2005

<b>Entradas de energía para la producción industrial de biodiesel de girasol</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidades</b>	<b>MJ/l</b>
Agua	40,000 l	0,4
Acero inoxidable	3 kg	0,1
Acero	4 kg	0,1
Cemento	8 kg	0,0
Vapor	2,546,000 kcal	10,7
Electricidad	392 kWh	4,2
Etanol al 95% -Etanol al 99.5%	9 kcal/l	0,0
Tratamiento efluentes	21 kg BOD	0,3
<b>TOTAL</b>		<b>15,8</b>

Fuente: Pimentel y Patzek, 2005

**Cuadro 8.** Componentes y energía por Pimentel y Patzek, 2005

<b>Entradas de energía para la producción industrial de biodiesel de girasol</b>		
<b>Entradas</b>	<b>Cantidades</b>	<b>MJ/l</b>
Electricidad	270 kWh	2,9
Vapor	1,350,000 kcal	5,6
Agua de lavado	160,000 kcal	0,7
Calor ambiente	152,000 kcal	0,6
Calor directo	440,000 kcal	1,8
Pérdidas	300,000 kcal	1,3
Acero inoxidable	11 kg	0,7
Acero	21 kg	1,0
Cemento	56 kg	0,4
<b>TOTAL</b>		<b>15,0</b>

Fuente: Pimentel y Patzek, 2005

### ■ 7.1.3. Energía obtenida de la combustión del Biocombustible

Cuando se habla de la energía de la combustión se dice, por ejemplo, que la combustión de un litro de gasolina libera 36.1 MJ de energía o que un litro de gasolina “contiene” 36.1 MJ de energía. También se dice que un litro de etanol libera 23.6 MJ de energía o que un litro de etanol “contiene” 23.6 MJ de energía, que significa que 23.6 MJ de energía se liberan en forma de calor cuando el etanol se quema.

La energía contenida en un combustible es la cantidad de energía que se libera por la combustión completa de ese producto. Cuando cualquier combustible como el etanol o la gasolina se queman, los dos productos principales de la combustión son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el vapor de agua. Una parte del calor liberado en la combustión no es perceptible por temperatura, ya que se usa para vaporizar el agua durante la combustión. Este calor latente no se libera finalmente hasta que el vapor de agua se condensa, por ejemplo, en forma de nubes o rocío.

En la medida del valor calorífico de un combustible se puede incluir o no el calor latente de vaporización. El resultado es que el valor calorífico puede ser medido como Poder Calorífico Bruto (PCB) o Poder Calorífico Neto (PCN)<sup>6</sup>. El PCB considera toda la energía liberada en la combustión, mientras que el PCN considera la pérdida de energía asociada a la vaporización del agua.

Algunos analistas de energía excluyen este calor latente de vaporización de los valores de energía para los balances por ser relativamente inútil o inprovechable e informan en sus trabajos el PCN, que, según unos autores es de 21.2 MJ para un litro de etanol y 33.3 MJ para un litro de biodiesel. Otros autores consideran el calor latente de vaporización, por lo que utilizan en sus balances el PCB y esto es 23.6 MJ para un litro de etanol y 35.7 MJ para un litro de biodiesel. Según Richards (2000), el PCB del biodiesel es de 36 MJ/kg, mientras que el del etanol 30 MJ/Kg.

<sup>6</sup>Poder Calorífico Bruto (HHV, por su sigla en inglés: High Heating Value) o Poder Calorífico Neto (LHV, Lower Heating Value).

A los efectos de este análisis se tomará el PCN de 21.2 MJ/l para etanol y 33.3 MJ/l para biodiesel.

#### ■ 7.1.4. Energía obtenida de la utilización de coproductos<sup>7</sup>

Como ya se dijo, la asignación de créditos de energía a los coproductos ha sido muy controvertida y ha generado múltiples discusiones entre los investigadores respecto de la metodología de asignación de valor a los mismos (Patzek, 2004; Patzek y Pimentel, 2006; Pimentel, 2003; Pimentel y Patzek, 2005).

Lorenz y Morris (1995) sostienen que “un análisis que excluye los créditos de energía de los coproductos es impropio” y asigna créditos de energía a los mismos, basándose en que la misma energía usada para el cultivo y gran parte de la energía usada para el proceso de conversión de materia prima en biocombustible, se usa también para fabricar los coproductos.

Por consiguiente, es necesario asignar la energía usada en el cultivo y proceso de producción a una variedad de productos. Existen varios métodos para valorar la energía que se obtiene de la utilización de los coproductos.

a. Un método de determinar los créditos de energía del coproducto es el del “contenido de energía”, en el cual el crédito para el coproducto es la cantidad de energía inherente al mismo (PCB) dentro de cada producto, asumiendo una completa combustión con un 90% de eficiencia de la caldera.

· Los valores asignados por Hill *et al.* (2006) son: DDGS<sup>8</sup> = 20.79 MJ/kg;

harina de soja = 16.84 MJ/kg;  
glicerina = 16.55 MJ/kg<sup>9</sup>.

b. Otra forma de asignar un valor de energía a los coproductos es por medio del “balance de masa”. La energía acreditada a cada coproducto es igual a la proporción asignada al coproducto del total de la energía requerida para la producción de biocombustible, en relación a la masa total producida.

· Por ejemplo, al producir 1 kg de biodiesel de soja se producen 4,56 kg de alimento de soja y 0,80 kg de glicerina, esto es una masa total de 6,36 kg de productos y coproductos. Para esta producción se requieren 22,5 MJ. El crédito para la harina de soja será del 71,7 %, equivalente a 16,1 MJ y el de la glicerina 0,3 MJ.

c. Otra forma de asignar un valor de energía a los coproductos es basándose en su “valor de mercado”. Esto se hace sumando el valor de mercado, en una moneda única, de todos los productos del procesamiento de la materia prima, incluso el biocombustible y asignando créditos de energía basados entonces en la proporción de cada producto en el valor total de mercado.

· Por ejemplo, Hill *et al.* (2006) adjudican los siguientes valores de energía: etanol = \$0.37/kg; DDGS = \$0.10/kg; biodiesel = \$0.52/kg; harina de soja = \$0.22/kg; glicerina bruta = \$0.88/kg para el mercado de biocombustibles promedio de 2002-2004 de Estados Unidos.

d. Por último, se puede utilizar el método del “valor de sustitución” o “valor de

<sup>7</sup> Richards, 2000: Energía de la glicerina destilada 35 MJ/kg; Energía de los residuos de destilería 2 MJ/kg

<sup>8</sup> Distillers de grain with solubles.

<sup>9</sup> Se requieren 49.5 MJ/kg para producir glicerina sintética. El crédito por coproducto para la glicerina bruta por litro de biodiesel oscila según diferentes autores entre 2 y 3.5 MJ, porque la glicerina sintética tiene un grado de pureza mucho mayor que la derivada de la producción de biodiesel. En este caso, el método del reemplazo no es aplicable ya que sobreestima notablemente el crédito para el coproducto.

reemplazo" en energía. En este caso se determina el competidor más cercano para los productos y se calcula cuánta energía exige la producción y el proceso industrial de ese producto sustituto. Este método es sumamente dificultoso y complejo en la medida en que existen numerosos "competidores" para cada coproducto, lo que agrega demasiados grados de discrecionalidad del investigador al resultado del balance.

- Por ejemplo, se requieren 1,6 libras de aceite de soja para reemplazar 1,6 libras de aceite de maíz. La energía requerida para cultivar la

soja y extraer el aceite es aproximadamente de 13105 BTU. El coproducto resultante de la producción de 1,6 libras de aceite de maíz es 13,5 libras de alimento de maíz, con 21% de proteína. El competidor más cercano es 13,45 libras de cebada. La energía requerida para cultivar y secar cebada son 1816 BTU/libra que se traduce en 7188 BTU/galón de equivalente etanol (Lorenz, 1995).

En el **Cuadro 9** se muestran las diferencias en rendimiento energético según la metodología utilizada para asignar los créditos de energía para los coproductos.

**Cuadro 9.** Efecto de los diferentes métodos de cálculo en el balance de energía

Biocombustible	Sin créditos	Balance de masa	Contenido energético	Valor de mercado
Etanol de maíz	1.04	1.52	1.52	1.21
Biodiesel de soja	1.16	1.83	1.83	1.81

Fuente: Hill *et al.*, 2005

Para la metodología en aplicación, el ECVB, se propone la utilización del método de balance de masa, ya que es el que se desprende tanto de los valores de mercado, que serían un importante obstáculo al considerar investigaciones en los seis países del PROCISUR, así como, de los diferentes contenidos energéticos adjudicables a una gran variedad de coproductos.

#### ■ 7.1.5. Rendimiento energético de la producción de biocombustibles<sup>10</sup>

Rendimiento energético del ciclo de vida de un biocombustible = Energía del combustible + Energía de los coproductos/Total de energía primaria

utilizada en la producción.

Este cociente estima la cantidad de energía contenida en el biocombustible y sus coproductos, comparada con el total de energía que entra a un ciclo de combustible. Es la medida de la eficiencia y explica pérdidas de energía de la materia prima y del proceso industrial requeridos para fabricar el combustible. También actúa como indicador frente a diferentes situaciones tecnológicas, ayudando al investigador a detectar las tecnologías más apropiadas a cada caso.

A modo de ejemplo, Richards (2000) plantea dos situaciones para biodiesel de colza y etanol de trigo, dejando los residuos de cosecha en el campo y retirándolos para

<sup>10</sup> Indica la energía que puede obtenerse de la utilización de productos y subproductos en relación a los consumos de energía aplicados a la fabricación del biocombustible.

ser utilizados como fertilizante (colza) o quemados en una planta de generación de electricidad (paja de trigo).

En el primer caso, el rendimiento energético fue de 1 GJ de biodiesel por cada 0.561 GJ (rendimiento=1,78) empleado en su producción.

Para el etanol, el rendimiento fue de 1 GJ por cada 0.90 GJ aplicados a su producción (rendimiento = 1,11).

En la segunda situación, en que los residuos de colza y la paja de trigo fueron usados como fertilizante y combustible, respectivamente, los rendimientos fueron incluso mejores: 3.71 y 2.51 para biodiesel y etanol. En otros términos, por cada unidad de energía empleada en su producción, el biodiesel producía 3.71 unidades de energía y el etanol 2.51. Como ambos residuos eran, de hecho, disponibles y su utilización es una proposición práctica, la decisión de su utilización recae en la

consideración de la condición del suelo luego de retirados los mismos. Los resultados de análisis informados por este estudio indican que la utilización de residuos haría una fuerte contribución al balance neto de energía de los cultivos (Richards, 2000).

En el estudio llevado a cabo por la Universidad de Minnesota (Hill *et al.*, 2006), el resultado neto positivo del balance energético del etanol de maíz es atribuido a los créditos de energía del coproducto (DDGS por su sigla en inglés “distillers dry grain with solubles”) utilizado como alimento animal. El etanol de maíz tiene un rendimiento energético bajo debido al alto consumo de energía en la producción de maíz y su conversión en etanol. En contraste, el biodiesel de soja proporciona 93% más que la energía que se requiere en su producción. Esta ventaja del balance neto de energía del biodiesel fue corroborada por cinco métodos diferentes de contabilizar el aporte de los coproductos (**Cuadro 10**).

**Cuadro 10.** Balance neto de energía del biodiesel

	Base biofuel	Sin créditos	Balance de masa	Contenido energético	Valor de mercado
Etanol de maíz	1.25	1.04	1.52	1.71	1.21
Biodiesel de soja	1.93	1.16	1.83	3.38	1.81

Fuente: Hill *et al.*

## 7.2. BALANCE ECONÓMICO

Para la aplicación del balance económico se propone la realización de un acuerdo con el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) de España, para la utilización del modelo ACISA<sup>11</sup>, para la integración de cultivos energéticos a escala regional. Es un modelo de decisión multicriterio que tiene en cuenta variables de decisión del ámbito económico, medioambiental y social y que trabaja en un entorno GIS.

### 7.2.1. Costo de producción del cultivo

#### · Costo de insumos

**Ec. (1):** Costo del insumo (US\$/l) = Promedio aplicación (kg/ha) \* Precio del insumo (US\$/kg) / Rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

#### · Transporte de insumos

Siendo:

**a** Costo según distancia a la fuente de suministro (US\$/kg) = Costo transporte US\$/kg/ km \* Distancia al suministro (km)

**b** Costo del transporte aplicada a la producción del cultivo (US\$/ha) = **a** \* Promedio aplicación (kg/ha)

**Ec. (2):** Costo transporte insumo (US\$/l) = **b** / Rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

#### · Costo tractor, cosechadora y otros autopropulsados

**Ec. (3):** Costo tractor, cosechadora y otros autopropulsados (US\$/l) = Combustible (US\$/ha) + Mantenimiento + Reparaciones + Depreciación/ Rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

#### · Costo implementos

Costo Combustible (US\$/ha) = (US\$/hora) \* (horas/hectárea)

US\$/l = US\$/ha / rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

**Ec. (4):** Costo implemento (US\$/l) = Combustible (US\$/ha) + Reparaciones + Depreciación/ Rendimiento del cultivo en biocombustible (l/ha)

#### · Costo de construcciones directamente vinculadas a la producción del biocombustible

**Ec. (5):** Costo utilizada (US\$/l) = Costo utilizada en las construcciones directamente vinculadas a la producción de biocombustibles (US\$) \* IUCA \* Rendimiento anual en biocombustible del cultivo (l/año) / Vida útil de las construcciones (años)

#### · Mano de obra

El costo de la mano de obra es el costo del trabajo humano aplicado directamente a la producción de biocombustible. Además de considerar el salario, deben ser incluidos los beneficios sociales, seguros y todos aquellos costos que son inherentes al trabajo humano. En algunos balances se incluyen vivienda y alimentación, si es que estos rubros integran parte de lo percibido por el trabajador.

Siendo:

**a** Horas directamente vinculadas a la producción de biocombustibles \* Unidad de superficie (ha)

**Ec. (6):** Costo mano de obra (US\$/l) = **a** \* Costo hora de trabajo (salario laudado) (US\$) / Rendimiento en biocombustible del cultivo (l/ha)

<sup>11</sup> Alternative Crops Integration on a Spatial Analysis

### 7.3. BALANCE DE CARBONO

Debido a la naturaleza global de la emisión de GEI, los efectos de estas emisiones se prestan muy bien a la valoración por medio del ACV. De esta forma se establece una línea de base, que puede ser monitoreada a lo largo del tiempo y modificados sus pasos, a medida que avanzan las investigaciones y se desarrollan nuevas tecnologías.

En este marco, para el Balance de Carbono se propone la utilización de las metodologías aprobadas por el IPCC<sup>12</sup> y mediante inventarios aplicados en el marco del ECVB, ya que éste comprende todos los pasos, desde la extracción de la materia prima del ambiente hasta el uso final del biocombustible. En este sentido, el ECVB es una herramienta inestimable para evaluar y comparar los impactos medioambientales globales de las entradas y salidas de carbono.

En términos de resultados de investigación, la mayoría de los estudios concuerdan en que, dada la demanda de energía fósil asociada con la producción de biocombustibles y la emisión producida en su combustión, es sustancial la reducción de emisiones en comparación con la combustión de los combustibles fósiles.

Aún así, existen grandes diferencias en los sistemas productivos de las materias primas para los mismos biocombustibles en los diferentes países, por lo que se impone la necesidad de cuantificar y comparar el comportamiento de las materias primas a partir del análisis del ciclo de vida del biocombustible final.

Cada etapa de la producción de un biocombustible es, potencialmente, una fuente de impacto ambiental, que es conveniente contabilizar a fin de determinar el perfil ambiental de la producción de biocombustibles. A modo de ejemplo, De Nocker *et al.* (1998), citado por Lussis (2005), en un análisis del ciclo de vida del biodiesel realizado en Bélgica, clasifica los impactos ambientales potenciales de los biocombustibles en:

1. Consumo de combustibles fósiles.
2. Consumo de materia prima mineral.
3. Consumo de agua.
4. Emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>.
5. Acidificación por emisión de NOX y SOX.
6. Eutrofización por emisión de NH<sub>3</sub> y fosfatos.
7. Formación de oxidantes fotoquímicos por emisión de compuestos orgánicos volátiles.
8. Desechos no radiactivos.
9. Desechos radiactivos.

En el **Cuadro 11** se muestran cuáles pueden ser los impactos ambientales en cada etapa del Ciclo de Vida de los Biocombustibles y cómo algunos de ellos están presentes en todas las etapas.

El cultivo de las materias primas para biocombustibles es identificado en este estudio como generador de 7 de 9 categorías de impacto. Las prácticas

**Cuadro 11.** Impactos ambientales en diferentes etapas del Ciclo de Vida de los Biocombustibles

Etapas del ciclo de vida	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cultivo	X	X	X	X	X	X		X	
Transporte	X			X	X				
Transformación	X		X	X	X		X		X

Fuente: Lussis, 2005

<sup>12</sup> Intergovernmental Panel for Climate Change.



agrícolas de cultivo constituyen, probablemente, la etapa más crucial, desde el punto de vista ambiental, de la producción de biocombustibles.

El balance de GEI puede calcularse de la misma manera que el balance de energía, comparando las emisiones netas de GEI involucradas en la producción del

biocombustible con las emisiones de la producción y combustión del combustible fósil con el mismo contenido de energía (**Cuadro 12**).

El CO<sub>2</sub> emitido durante la combustión del biocombustible no entra en el balance, porque se considera que va a ser absorbido por los cultivos.

**Cuadro 12.** Ejemplo de resultados de balance de GEI

Cultivo	Trigo					Remolacha				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Ensayo										
Rendimiento del cultivo (kg/ha)	2.200	1.900	2.500	2.500	1.700	2.100	5.300	6.200	3.800	4.500
Rg	0.59	0.72	0.71	0.71	0.99	0.75	0.70	0.49	0.75	0.73
Rga	-0.06	-0.04	-0.06	0.00	-0.18	-0.07	-0.05	-0.05	-0.25	-0.15
Rgb	-0.29	-0.36	-0.36	-0.38	-0.37	-0.35	-0.05	-0.05	-0.08	-0.07

Fuente: CONCAWE, 2002

### Emisiones de N<sub>2</sub>O

Según Armstrong *et al.* (2002), a pesar de estas consideraciones hay, sin embargo, una incertidumbre significativa, particularmente alrededor del biodiesel y en especial por las emisiones de N<sub>2</sub>O, un potente gas de efecto invernadero. Algunos estudios, usando datos de IPCC, calculan emisiones altas de N<sub>2</sub>O por la descomposición de compuestos nitrogenados provenientes del suelo y de los fertilizantes. Un efecto similar se observa para el etanol, aunque a una menor magnitud, ya que los cultivos para etanol requieren menos nitrógeno que, por ejemplo el cultivo de colza. En un estudio comprensivo, teniendo en cuenta las emisiones de N<sub>2</sub>O, el resultado fue un ahorro estimado de GHG<sup>13</sup> de menos de 10% para el biodiesel de colza. Excluyendo los datos de emisiones de N<sub>2</sub>O del IPCC, balances de GHG muestran en promedio, ahorros de 53% de GHG para biodiesel y 26% para etanol, con una ligera ventaja para la remolacha azucarera.

<sup>13</sup> Greenhouse gas.

<sup>14</sup> Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia

<sup>15</sup> IACR Institute of Arable Crops Research

### Cambio en el uso del suelo

Las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes de los cambios en el uso del suelo pueden ser significativas por largos períodos y, por lo tanto, también deben tenerse en cuenta en los Balances de Carbono. El suelo bajo cultivo contiene considerablemente menos carbono que el suelo bajo vegetación natural. A pesar de ser un proceso finito y reversible en el largo plazo, la liberación de carbono con el cambio en el uso del suelo al pasar de barbecho a cultivo se puede mensurar. Un ensayo llevado a cabo por INRA<sup>14</sup> e IACR<sup>15</sup> de más de 35 años mostró que el suelo bajo cultivo puede liberar típicamente el equivalente de unas 3 tt/ha de CO<sub>2</sub> por año o más e incluso por un período más largo. Este resultado dejaría afuera una parte significativa o, en algunos casos, todo el beneficio de usar biocombustibles en el transporte durante muchas décadas.

## Uso de coproductos

La utilización de los coproductos afecta sensiblemente el balance de GEI, al igual que el balance de energía puede mejorar cuando se los incluye en los cálculos. El proceso de producción de etanol produce derivados ricos en proteína que pueden, en principio, cambiar el destino de los cultivos realizados específicamente para la

alimentación animal. La producción de biodiesel también produce materias primas para raciones para alimento animal, así como también glicerina.

El **Cuadro 13** muestra los resultados con y sin los créditos por la utilización de coproductos como alimento animal.

**Cuadro 13.** Resultados de la utilización de coproductos en los balances

% ahorro	Etanol		Biodiesel	
	Sin	Con	Sin	Con
Alimento animal				
Reducción energía	17	31	47	56
Reducción GEI	26	37	53/7 <sup>16</sup>	58/21 <sup>16</sup>

Fuente: Armstrong *et al.*, 2002

Por otro lado, este balance se va a ver afectado por externalidades tales como el destino del biocombustible, ya que el comportamiento del mismo será diferente si se trata de motores, calderas, generadores, etc., lo cual excede los objetivos del estudio. Las ineficiencias y diferencias entre los motores solo pueden ser expresadas cuando integran parte de un

análisis detallado y no de un ECVB simplificado.

Para el Balance de Carbono, al igual que para el balance económico, se propone la realización de un acuerdo con CIEMAT para la utilización del modelo ACISA, para la integración de cultivos energéticos a escala regional.

<sup>16</sup> Incluyendo la evaluación de emisiones de N<sub>2</sub>O del IPCC

1. ACISA. 2001. Alternative Crops Integration on a Spatial Analysis: A spatial decision support system for strategic planning of integrated bio-energy chains. Altener, Contract N°: 4.1030/Z/01-018/2001, EU Funded.
2. ALI, M. and McBride, W. 1991. Corn: State-Level Production Costs, Characteristics and Input Use. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, SB-891, 1994.
3. ALMEIDA NETTO, J.A. 2006. Production of biodiesel in Bahia, Brasil. Doctoral Thesis, Faculty of Organic Agricultural Sciences. University of Kassel. Witzenhausen, Germany.
4. ANDERSSON, K. 2000. LCA of Food Products and Production Systems. The International Journal of Life Cycle Assessment N°4. pp.239-248.
5. ARMSTRONG, A.P.; Baro, J.; Dartoy, J. and Groves, A.P. 2002. Energy And Greenhouse Gas Balance Of Biofuels For Europe - An Update. CONCAWE Ad Hoc Group on Alternative Fuels, Brussels. www.concawe.be
6. BENS, O.; Bungart, R.; Pönitz, K.; Schneider, B.U. and Hüttl, R.F. 1998. Production and distribution of biomass for energy transformation and heat supply in rural areas. *In*: Kopetz, H.; Weber, T. Palz, W.; Chartier, P. and Ferrero, G.L. (eds.) Biomass for Energy and Industry. Würzburg, pp.764-767.
7. BERNDES, G.; Hoogwijk, M.; Van Den Broek, R. 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. Biomass and Bioenergy 25. 1 - 28.
8. BLIX, L. and Mattson, B. 1998. Environmental Impact of Land Use in Agriculture: Case Studies of Rape Seed, Soybean and Oil Palm. SIK. Goteborg, The Swedish Institute for Food and Biotechnology.
9. BOLET ASTOVIZA, M. y Socarrás Suárez, M.M. 2002. Dietas modificadas en energía. Hospital Clinicoquirúrgico "General Calixto García". Facultad de Ciencias Médicas Calixto García. Habana, Cuba.
10. CEDERBERG, C. 2002. Life Cycle Assessment of Milk Production. A Comparison of Conventional and Organic Farming. Göteborg, SIK.
11. CHOO Y.M. and Ma, A.N. 2006. Biofuels, Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM), Kajang, Selangor Darul. Ong, A. S. H., Malaysian Palm Oil Promotions Council, Kuala Lumpur, Malaysia
12. CLEMENTS, R. 1997. Complete Guide to ISO 14000. Ed. Romanyá-Valls, S.A., Capellades Barcelona. Spain.
13. COUTURIER, C.; Bocha, J.L.; Pointereau, P. et Doublet, S. 2003. 12 propositions pour lutter contre le changement climatique dans le secteur de l'agriculture, Plan Climat 2003. Groupe Agriculture - Forêt - Produits derives. SOLAGRO. Toulouse, France. pp.1-45.
14. COWELL, S.J. *et al.* 2000. Methodology Working Group LCA Net-Food. Theme Report. EU Project LCA Net-Food Working Group.
15. COWELL, S.J.; Hogan, S. and Roland, C. 1997. Theme Report: Positioning and Application of LCA. AML, Lieden

- University, LCA Net (European Network for Strategic LCA Research and Development).
16. DELUCCHI, M.A. and Lipman, T. 2003. "A Lifecycle Emissions Model (LEM): Lifecycle Emissions From Transportation Fuels, Motor Vehicles, Transportation Modes, Electricity Use, Heating and Cooking Fuels and Materials". Institute of Transportation Studies University of California, Davis, CA. <http://its.ucdavis.edu/publications/2003/UCD-ITS-RR-03-17A.pdf>
  17. DUNN, R.O.; Knothe, G. and Bagby, M.O. 1997. Recent Advances in the Development of Alternative Diesel Fuels from Vegetable Oils and Animal Fats, *Recent Res. Devel. Oil Chem.* 1:31-56.
  18. ECOBILAN, 2002. Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France, ADEME / DIREM.
  19. EUROPEAN COMMISSION. 1997. Energy for the future: renewable sources of energy. White paper for a community strategy and action plan.
  20. FAO. 1998. Réunion de travail. Rome, 12 mai. El uso de la subproducción de la caña de azúcar por medio de gasificación. Aspectos ambientales, energéticos y económicos. GAZ DE FRANCE. Rapports 1998.
  21. FAO/WHO/UNU. 1985. Energy and protein requirements. Report of a FAO/WHO/UNU Joint Expert Consultation. Geneva, WHO. Tec Rep Series; No. 724.
  22. FAVA, J.A. 1997. LCA: Concept, Methodology or Strategy? *Journal of Industrial Ecology*.
  23. FUJINO, J.; Yamaji, K. and Yamamoto H. 1999. Biomass-balance table for evaluating bioenergy resources. *Applied Energy*; 63:75-89.
  24. GAGNAIRE, N.; Gabrielle, B. et Da Silveira, J. 2005. Simulation de l'effet de la valorisation des pailles sur l'Analyse de Cycle de Vie du bioéthanol de blé. Projet Agrice-Pailles. UMR INRA INA P-G Environnement et Grandes Cultures, Grignon, France.
  25. GAZZONI DÉCIO, L.; Felici Paulo, H.N. e Coronato Rafael, M.S. 2006. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. EMBRAPA. Universidade de Londrina.
  26. GRABOSKI, M.S. and McClelland J. 2002. A rebuttal to 'Ethanol Fuels: Energy, Economics and Environmental Impacts by D. Pimentel'. *International-Sugar-Journal*; 104: (1240). 162-163.
  27. GRANT, T. 2002. The Development and Use of Single Point Indicators. 2nd National Conference of LCA, Melbourne. Australia.
  28. GUINÉE, J. 2001. Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. *International Journal Of Life Cycle Assessment*. Ecomed Publishers.
  29. HÄMMERSCHLAG, R. 2006. Ethanol's Energy Return on Investment: A Survey of the Literature 1990-Present. Institute for Lifecycle Environmental Assessment, *Environ. Sci. Technol*, 2006; 40:1744-1750.
  30. HILL, J.; Nelson, E.; Tilman, D.; Polasky, S. and Tiffany, D. 2006. Environmental, economic and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *PNAS*; vol. 103, no. 30.

31. HO, M.W.; Bunyard, P.; Saunders, P.; Bravo, E. and Gala, R. 2006. Which Energy?. Institute of Science in Society Energy Report. ISIS Foundation. London, United Kingdom.
32. HORTA NOGUEIRA, L.A. 2004. Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central. Proyecto Uso Sustentable de Hidrocarburos. Convenio CEPAL/República Federal de Alemania. Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL.
33. IGLESIAS, D.H. 2005. Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario. *In* Contribuciones a la Economía, marzo 2005. Texto completo en <http://www.eumed.net/ce/> (nov. 2006).
34. IGNACIUK, A.M. and Dellink, R.B. 2005. Multi-Product Crops for Agricultural and Energy Production – an AGE Análisis for Poland. IEM – International Energy Markets. Environmental Economics and Resources Group, Wageningen University. <http://www.feem.it/Fee m/Pub/Publications/WPapers/default.htm> (nov. 2006).
35. IICA-SAGPyA. 2005. Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil.
36. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14041:1998, Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis.
37. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040:2006, Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
38. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14044:2006, Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
39. KIM, S. and Dale, B.E. 2002. Allocation Procedure in Ethanol Production System from Corn Grain. LCA Case Studies. Department of Chemical Engineering & Materials Science Engineering Building, Michigan State University. <http://dx.doi.org/10.1065/lca2002.05.081> (nov. 2006).
40. LAMBERT, L. 1996. Application de l'analyse de cycle de vie en agriculture. Mémoire de DEA, Université Paris XIII.
41. LECHÓN, Y.; Cabal, H. and Sáez, R. 2000. Environmental Externalities of The Implementation Of The Spanish Biomass National Plan Regarding The Use Of Biofuels In Transport. CIEMAT. Energy Studies Institute. Madrid, Spain.
42. LEWIS, H. 1996. Data Quality for Life Cycle Assessment. National Conference of LCA, Melbourne.
43. LORENZ, D. and Morris, D. 1995. How Much Energy Does It Take to Make a Gallon of Ethanol?. Institute for Local-Self Reliance (ILSR). Referencia web: <http://www.carbohydreeconomy.org/library/admin/uploadedfiles/HowMuchEnergyDoesitTaketoMakeaGallon.html> (nov. 2006).
44. LUSSIS, B. 2005. Impacts environnementaux des Biocarburants. Institut pour un Développement Durable. Belgique. <Http://www.idd.org.be>.

45. MACLEAN, H.L.; Lave, L.B.; Lankey, R. and Joshi, S. 2000. A life-cycle comparison of alternative automobile fuels. *Air Waste Management Assoc.* 2000, Oct; 50(10):1769-79.
46. MATHPRO INC. 2005. The net energy value of corn ethanol: is it positive or negative? November 18, 2005. MathPro Inc. West Bethesda, Maryland. USA.
47. MATTSON, B. 1999. Environmental Life Cycle Assessment (LCA) of Agricultural Food Production. *Acta Universitatis Agricuturae Sueciae*.
48. MCALOON, A.; Taylor, F.; Yee, W.; Ibsen, K. and Wooley, R. 2000. Determining the Cost of Producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstocks. Technical Report. October. National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-580-28893.
49. MCLAUGHLIN, S.B. and Walsh, M.E. 1998. Evaluating Environmental Consequences Of Producing Herbaceous Crops For Bioenergy Biomass and Bioenergy; Vol. 14, No. 4, pp.317-324.
50. MERETE, H.E. 2002. Life Cycle Assessment (LCA) of Industrial Milk Production. Goteborg, Sweden, Chalmers University of Technology.
51. MOLLER, R.M. 2005. A Brief on Etanol The Debate on Ethanol: Prospects and Challenges to California Producers. California Research Bureau, California State Library.
52. MOSCA, G. and Bona, S. 1994. Oil seed crops for production of methylester: energy analysis and productivity of some species. *In: Riv. di Ing. Agr.* (1994), 3, 151-161.
53. NIKOLAOU, A.; Kavadakis, G. and Panoutsou, C. 2001. Comparative life cycle assessment of bioenergy and fossil energy systems in Greece. *In: 7th International Conference on Environmental Science and Technology* Ermoupolis, Syros Island, Greece.
54. NORRIS, G.A. 2001. Integrating Economic Analysis into LCA. Sylvatica, Harvard University, North Berwick, ME. USA.
55. OLSSON, P. 2000. LCANet Food: Final Document. Göteborg, Sweden, SIK.
56. PATZEK, T.W. 2004. Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle. *Critical Reviews in Plant Sciences*; 23(6):519-567.
57. PATZEK, T.W. and Pimentel, D. 2006, Thermodynamics of energy production from biomass, *Critical Reviews in Plant Sciences* 24(5-6): 329-364. <http://petroleum.berkeley.edu/papers/patzek/CRPS-BiomassPaper.pdf> (nov. 2006).
58. PERNKOPF, J. 1984. The commercial and practical aspects of utilizing vegetable oils as diesel fuel substitute. Contribution for Bio Energy 84 World Conference June 18-21, Gothenburg, Sweden.
59. PETERSON, C.L. 1986. Vegetable oil as diesel fuel: status and research priorities. *Transactions of the ASAE*; vol. 29 (5) 1413-1422.
60. PIMENTEL, D. 2003. Ethanol fuels: Energy balance, economics and environmental impacts are negative *Natural Resources and Research*; 12(2): 127-134.
61. PIMENTEL, D. and Patzek, T.W. 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Research*; 14(1).

62. REINHARDT, G.A. and Jungk, N. 2001. Pros and cons of RME compared to conventional diesel fuel. IFEU - Institut für Energie - und Umweltforschung Heidelberg, Germany.
63. RICHARDS, I.R. 2000. Energy balances in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanol. Levington Agriculture Report. British Association for Bio Fuels and Oils (BABFO).
64. SCHARMER, K. 1991. Engine fuels from vegetable oils: strategy, production, use. *In*: Symposium International des Combustibles de Replacement- Biocarburants. 8-9 October, 1991. Liege, Belgium.
65. SETAC. 1993. Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice. Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
66. SHAPOURI, H.; Duffield, J.A. and Graboski, M.S. 1995. Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Office of Energy. Agricultural Economic Report N° 721.
67. SHAPOURI, H.; Duffield, J.A. and Wang, M. 2002. The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. U.S. Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses. Agricultural Economic Report N° 814.
68. SHAPOURI, H.; Duffield, J.A.; McAloon, A. and Wang, M. 2001. The Net Energy Balance Of Corn-Ethanol. U.S. Department of Agriculture (USDA).
69. SHEEHAN, J.; Camobreco, V.; Duffield, J.; Graboski, M. and Shapouri, H. 1998. Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. Final Report. May 1998. National Renewable Energy Laboratory. U.S. Department of Energy's, Office of Fuels Development. U.S. Department of Agriculture's, Office of Energy.
70. SPIRINCKX, C. and Ceuterick, D. 1996. Comparative Life-Cycle Assessment of diesel and biodiesel. Mol: VITO, 1996.
71. SUH, S. 2002. MIET 2.0. Users Guide. An Inventory Estimation Tool for Missing Flows Using Input-Output Techniques. Centre of Environmental Science. Leiden University. The Netherlands.
72. VALENTI, L.H. y Maroni, J.R. 1977. Comparación del Consumo de Energía entre labranza y siembra convencional con Siembra Directa. FCA-UNR.
73. VAN GERPEN, J. and Shrestha, D. 2005. Biodiesel Energy Balance. Department of Biological and Agricultural Engineering. University of Idaho.
74. VARELA, M.; Sáez, R.; Cabal, H.; Lago, C.; Kyritsis, S.; Kallivroussis, L.; Soldatos, P.G.; Sourie, J.C.; Rozakis, S.; Castellano, E.; Pellitero, M.; Schwaiger, H.; Jungmeier, G.; Antinucci, M.; Fileni, F.; Goussios, D. and Faraslis, G. 2004. Integration of Energy Crops by Using Advanced Spatial Analysis. 2nd World Biomass Conference.
75. VIGLIZZO, E.F. 1999. Tendencia y Demandas Tecnológicas en Ecorregiones predominantes del Cono Sur. Montevideo, Uruguay, PROCISUR-BID. Serie Resúmenes Ejecutivos N° 10.
76. WANG, 2005. Argonne National Laboratory Ethanol Study: Key Points. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. Department of

---

E n e r g y . R e f e r e n c i a  
web:<http://www.ncga.com/ethanol/pdfs/Wang2005.pdf> (nov. 2006).

77. WEIDEMA, B.P. 1998. Life Cycle Data for Agro-Industry. Proceedings of 1998. 12, 3-4 Brussels Conference, International Conference for Life Cycle Assessment in Agriculture, Agro-Industry and Forestry.
78. WEIDEMA, B.P. and Meeusen, M.J.G. 2000. Agricultural Data for Life Cycle Assessment. LCANet Food. European Network for Life Cycle Assessment Research and Development within the food chain.
79. WERNER, C. 2003. Biofuels: Energy Balance. Environmental and Energy Study Institute Washington, D.C. USA. [www.eesi.org](http://www.eesi.org)



## Producción de biodiesel a partir de *Ricinus communis L.* en Uruguay



Este Estudio de Caso pretende mostrar la aplicación de la metodología en un ejercicio teórico cuyas acciones a emprender comprenden:

- 9.1. La definición del objetivo.
- 9.2. La definición de una unidad funcional.
- 9.3. La definición de las fronteras del sistema.
- 9.4. La elección de las categorías de impacto.
- 9.5. La elección de los indicadores de categorías.
- 9.6. La elección de una unidad de medida común.
- 9.7. La realización y evaluación de los inventarios.
  - 9.7.1 Inventario de las materias primas.
  - 9.7.2 Inventario y análisis de los sistemas de producción.
  - 9.7.3 Evaluación de los resultados de los inventarios.
  - 9.7.4 Cuantificación de productos y procesos.
  - 9.7.5 Elaboración de balances.
- 9.8. La agregación de los resultados parciales en un solo valor.
- 9.9. La toma de decisiones.

## 9.1. OBJETIVO

El objetivo de este estudio es la evaluación de la pertinencia del cultivo de *Ricinus communis* L. para la producción de biodiesel en Uruguay.

## 9.2. UNIDAD FUNCIONAL

La Unidad Funcional es el volumen de biodiesel a obtener por superficie de cultivo. Se debe determinar el rendimiento potencial del cultivo, expresado en toneladas por hectárea y el rendimiento industrial del aceite de ricino, expresado en litros de biodiesel por tonelada de grano.

## 9.3. FRONTERAS DEL SISTEMA

- *El ricino no integra actualmente los sistemas agroindustriales de Uruguay.*

No se han reportado prácticas de cultivo comercial de esta especie, aunque se conocen experiencias aisladas realizadas por productores agropecuarios innovadores a instancias individuales y con el fin de demostrar la factibilidad del cultivo.

El ricino en Uruguay se comporta como arbusto ruderal nitrófilo, habitando en terrenos baldíos, bordes de caminos y cunetas, siendo considerada por algunos como maleza y por otros como planta ornamental y/o medicinal.

En la 5ª Reunión Técnica de Facultad de Agronomía de la UdelaR, se presentaron los resultados de un ensayo de dos años, 1981 y 1982, llevados a cabo en la Estación Experimental de Bañado de Medina, Melo, con dos cultivares norteamericanos y uno brasileño. Se utilizaron tres fechas y dos distancias de siembra. Los cultivares norteamericanos se comportaron como muy precoces, no soportaron la competencia de malezas y sus rendimientos fueron muy bajos. El cultivar

brasileño, por el contrario, presentó un buen comportamiento con respecto a las malezas, creció vigorosamente y cubrió rápidamente el suelo, aunque su ciclo pareció demasiado largo, cosechándose los frutos ya entrado el otoño. En su momento, los autores consideraron que los resultados de estos ensayos, a pesar de ser parcelarios y no tener repeticiones, resultaban auspiciosos, ya que los rendimientos fueron de 3.213 kg/ha y 4.700 kg/ha de semilla limpia para los dos años, respectivamente, y recomendaban continuar los ensayos considerando otras cuestiones agronómicas del cultivo (Del Puerto, O. 1982).

En 2006, INIA comenzó una serie de ensayos de evaluación preliminar en sus Estaciones Experimentales de Las Brujas y Tacuarembó, donde se han introducido variedades provenientes del centro de EMBRAPA para Clima Templado. En este marco, se puede definir como frontera del sistema la falta de información autóctona respecto del comportamiento agronómico del cultivo en las condiciones edafoclimáticas de Uruguay y, por lo tanto, de experiencias de conversión industrial del aceite de ricino en biodiesel.

- *No se encuentran registros de consumos de energía de procesos y productos*

Se desconoce la energía empleada tanto en las construcciones agropecuarias como en las instalaciones industriales, así como los costos de las mismas. La maquinaria utilizada generalmente no se fabrica en el país, por lo que no hay datos de energía consumida en su construcción, ni valores adjudicados de construcción. En el procesamiento del ricino se dan procesos diferentes a los de otras oleaginosas, tales como el descascarado y la detoxificación de la torta. Es así que otra frontera del sistema está marcada por la exclusión del análisis de algunos ítems para los cuales no se dispone de información. Esta frontera marca además, los requerimientos de investigación multidisciplinaria en ese sentido.

- *No se puede realizar el balance de GEI*

Hasta tanto no se implemente un mecanismo de inventario de emisiones con una metodología aprobada por el IPCC para este caso concreto. Nuevamente esta frontera indica una línea de investigación a desarrollar.

## ■ 9.4. CATEGORÍAS DE IMPACTO

### ■ 9.4.1 Energía.

Se trata de determinar si la energía empleada en la producción es mayor o menor que la energía que se obtiene al quemar el combustible y utilizar los coproductos y residuos.

### ■ 9.4.2 Costos.

Al igual que la categoría energía, implica determinar si los costos de producción superan el precio de mercado y cual es el comportamiento comparativo respecto del precio del gasoil en Uruguay.

### ■ 9.4.3 Empleo.

El ricino se considera un cultivo indicado para predios de explotación familiar, ya que ocupa un importante número de trabajadores, tanto a la siembra como a la cosecha y en las labores culturales que requiere, así como, por su aptitud para los cultivos consociados y las rotaciones. Se tratará de determinar la cantidad de mano de obra requerida por unidad de superficie de cultivo.

## ■ 9.5. INDICADORES DE CATEGORÍAS

### ■ 9.5.1 Energía.

**Re:** Rendimiento energético de la producción del biocombustibles. Es el cociente entre la energía total del biocombustible y los coproductos y la energía fósil total suministrada al sistema de producción.

### ■ 9.5.2 Costos.

**Ie:** Diferencia entre el total de egresos originados por la fabricación del biocombustible y el total de ingresos por la venta de los coproductos y del biocombustible, en relación al precio de mercado del combustible fósil reemplazado.

### ■ 9.5.3 Empleo.

Mano de obra empleada.

## ■ 9.6. UNIDAD DE MEDIDA COMÚN (VER ANEXO 3)

### ■ 9.6.1 Energía.

La unidad de energía común seleccionada es megajoule por litro de biocombustible producido (MJ/l), tomando en cuenta la unidad funcional, esto es, el rendimiento en biocombustible por superficie de cultivo.

### ■ 9.6.2 Costos.

La unidad de costos de producción común seleccionada es dólares americanos por litro de biocombustible producido (US\$/l), tomando en cuenta la unidad funcional, el rendimiento en biocombustible por superficie de cultivo.

### ■ 9.6.3 Empleo.

La unidad de empleo común seleccionada son las jornadas de trabajo involucradas en la producción de una unidad de superficie, tomando en cuenta la unidad funcional.

## 9.7. INVENTARIOS

### 9.7.1 Inventario de la especie en estudio

#### 9.7.1.1 Descripción de la especie *Ricinus communis* L.

El ricino (*Ricinus communis* L.) es una planta o arbusto de la familia de las Euforbiáceas, que se encuentra en América, África y el Sur de Asia, así como también en Europa, donde es ampliamente cultivada, sobre todo en jardines como arbusto ornamental. Se supone originaria de Etiopía aunque hoy día se ha naturalizado en los climas templados de todo el mundo.

Es llamado también alcherva, castor, catapucia, cherva, crotón, garrapatera, higuera del diablo, higuera infernal, higuetera, higueterilla, mamona, palma de Cristo o palmachristi, piojo del diablo, querva, ricino y tártago. Toma su nombre científico por la apariencia de sus frutos, parecidos a la garrapata (de latín *ricinus* = garrapata). El género *Ricinus* posee por lo menos ocho subespecies conocidas, variando desde enanas de ciclo anual hasta árboles perennes (**Cuadro 14**).

**Cuadro 14.** Subespecies del género *Ricinus*, especie *communis*

<i>Ricinus communis</i> subsp. <i>persicus</i>	Persian castor
<i>R. communis</i> subsp. <i>Chinensis</i>	Chinese castor
<i>R. communis</i> subsp. <i>zanzibarensis</i>	Zanzibar castor
<i>R. communis</i> subsp. <i>sanquinens</i>	Crimson castor
<i>R. communis</i> subsp. <i>Africanus</i>	African castor
<i>R. communis</i> subsp. <i>mexicansu</i>	Mexican castor
<i>R. communis</i> subsp. <i>gibsoni</i>	Red castor
<i>R. communis</i> subsp. <i>Cambogensis</i>	Red castor

Fuente: Tamil Nadu Agricultural University

#### 9.7.1.2 Descripción de la planta

##### *Ricinus communis* L. (2n = 20)

Arbusto o árbol pequeño, monoico, anual o perenne, perennifolio de 3-6m de altura en lugares de clima templado, que puede llegar a los 12m de altura en climas tropicales o subtropicales. Tallo erecto, succulento o hueco, herbáceo, sin látex.

Hojas alternas muy vistosas y grandes, peltadas, pecioladas, palmatilobadas, con 5-11 lóbulos, de margen irregularmente dentado o aserrado, verdes o rojizas. Pecíolo de hasta 20cm de longitud.

Inflorescencia, panícula terminal. Flores agrupadas en panículas axilares, las superiores femeninas sin perianto con 3 estilos de estigmas rojizos y las inferiores

masculinas de 12-15mm de diámetro con perianto de 5 piezas sepaloideas. Estambres numerosos de color amarillo verdoso soldados en una columna ramificada.

Gineceo de tres carpelos soldados y tres estilos separados. Ovario súpero con tres lóbulos monoseminados.

Fruto, cápsula dehiscente de tres valvas, ovoide, de 1-2cm de diámetro, con la superficie cubierta de espinas poco rígidas y de color rojizo antes de la maduración, conteniendo tres semillas.

Semillas elipsoides de colores brillantes que van del pardo-rojizo al negro, con o sin manchas, con carúncula.



Fuente: Waste Magazine



Fuente: Cornell University



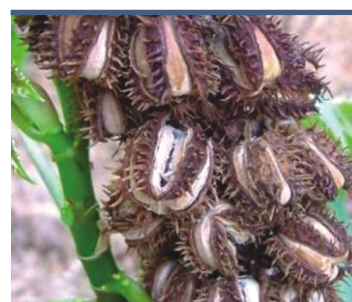
Fuente: Michael L. Charters



Fuente: Michael L. Charters



Fuente: Waste Magazine



Fuente: Michael L. Charters

**Figura 2.** Hojas y tallos de *Ricinus communis* L.

### 9.7.1.3 Características Agronómicas

#### Clima y Suelo

Las condiciones edafoclimáticas del cultivo pueden afectar el rendimiento, el tenor de aceite de las semillas y también la incidencia de plagas y enfermedades.

#### Latitud y altitud

El ricino se comporta bien en climas tropicales, subtropicales y templados. Es explotado comercialmente entre los paralelos 40°N y 40°S. En Uruguay se conoce como especie ruderal y se encuentra como planta silvestre.

A pesar de encontrarse ricino en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2300m, para la producción comercial se recomienda el cultivo en áreas con altitud en el rango de 300 a 1500m por encima del nivel del mar. Cuando es cultivada en regiones por debajo de las 300 m de altitud

se produce un incremento de la parte vegetativa en detrimento de la producción de frutos (Azevedo *et al.*, 2003).

#### Régimen de lluvias y tolerancia a la sequía

El ricino posee un sistema radicular sumamente desarrollado por lo que es considerada una planta tolerante a la sequía. Existen referencias de buenos rendimientos con precipitaciones de 375 a 500 mm anuales (Weiss, 1983).

Tanto la ausencia como el exceso de lluvia en el período de floración pueden reducir la productividad de la planta. Cuando el índice de precipitación de una región se aproxima al mínimo exigido, el ideal recomendado es efectuar la siembra después de por lo menos 30mm de lluvia.

La falta de humedad en el suelo en el estadio de desarrollo de los frutos favorece la producción de semillas pequeñas y con bajo tenor de aceite. Cuando es cultivado en

suelos profundos, los cultivares que presentan mayor desarrollo de la raíz principal tienden a tener mejor desempeño en períodos de sequía (Azevedo *et al.*, 2003).

Por otro lado, precipitaciones entre 600 y 700 mm proporcionan rendimientos superiores a 1500 kg/ha, siendo viable en áreas donde la precipitación mínima hasta el inicio de la floración no oscile entre 400 - 500mm.

La mayor exigencia de agua de esta oleaginosa ocurre al inicio de la fase vegetativa. Lluvias fuertes pueden provocar caída de frutos, pérdidas y disminución del rendimiento. En el estadio que va de la floración hasta la maduración de los frutos, alta humedad relativa y temperaturas moderadas favorecen la aparición de enfermedades a hongos (Amorim Neto *et al.*, 2001).

### Temperatura

La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo se encuentra en el entorno de 28°C, mientras que el rango aceptable va de 20 a 35°C. Temperaturas superiores a 40°C, provocan aborto de las flores, reversión sexual de las flores femeninas en masculinas y reducción del tenor de aceite en las semillas (Beltrão e Silva, 1999).

Experiencias en Brasil demuestran que el tenor de aceite de las semillas es proporcional

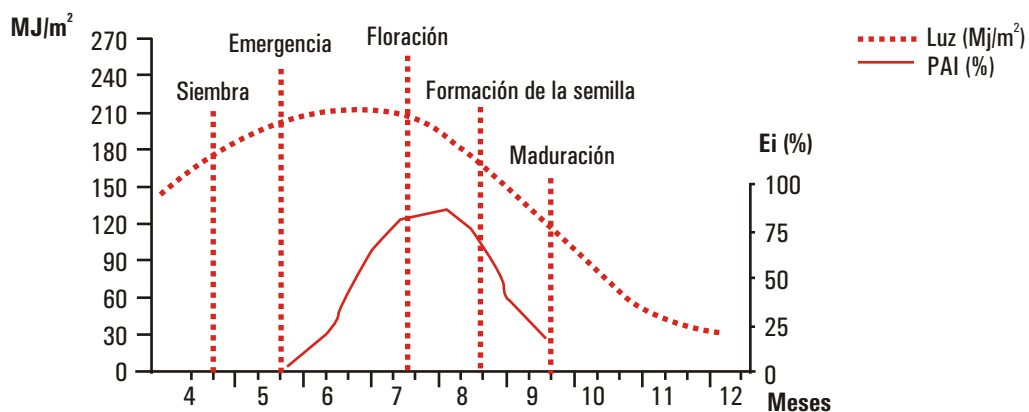
al calor acumulado por la planta en todo su ciclo vegetativo. Aunque se adapte a regiones subtropicales y templadas si no recibe suficiente luminosidad y calor la planta reduce la calidad del aceite y el rendimiento en semilla.

Bajas temperaturas al inicio del cultivo retardan la germinación de las semillas prolongando la permanencia de las mismas en el suelo, lo que favorece el ataque de microorganismos e insectos. En la época de floración y fructificación, la incidencia de heladas o temperaturas inferiores a 10° C provoca que las plantas no produzcan más semillas, debido a la pérdida de viabilidad del polen.

### Fotoperíodo

El ricino es considerado una planta de días largos, aunque se adapta bien a regiones con fotoperíodos cortos, no inferiores a nueve horas. Su mejor desarrollo se produce en áreas con buena radiación, con 12 horas de sol/día como mínimo (**Figura 3**). Días largos favorecen la formación de flores femeninas, y días cortos favorecen la formación de flores masculinas (Beltrão e Silva, 1999).

La máxima intercepción de radiación ocurre cuando la luz decrece. Para optimizar la fotosíntesis se requeriría la utilización de variedades tempranas.



**Figura 3.**

Comparativo entre el Índice de Área Foliar (PAI) y la luz disponible durante el ciclo de crecimiento del cultivo de ricino. Fuente: Labalette, *et al.* 1996

## Suelos

El cultivo de ricino se desarrolla bien en varios tipos de suelo, excepto aquellos muy pesados y con drenaje deficiente. Favorecen su desarrollo los suelos con textura arenosa a francoarcillosa, profundos, bien drenados, de buena fertilidad natural y sin problemas de salinidad o muy sódicos, con topografía plana a suavemente ondulada.

Suelos con fertilidad excesivamente elevada promueven el crecimiento vegetativo, prolongando el ciclo y expandiendo considerablemente el período de floración. Tanto los suelos ácidos como alcalinos tienen efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. El cultivo prefiere suelos con pH entre 5 y 6.5, pero tolera suelos hasta de pH 8,0 (Amorim Neto *et al.*, 2001).

El sistema radicular del ricino tiene la capacidad de explorar los horizontes más profundos del suelo, que normalmente no son alcanzados por otros cultivos anuales, como soja, maíz y sorgo, promoviendo el aumento de la aireación y la capacidad de retención y distribución de agua en el suelo.

Por ser una especie que durante los estadios iniciales de desarrollo no posee gran cobertura y expone el suelo al impacto de las gotas de lluvia, su cultivo debe ser hecho en áreas donde la pendiente sea inferior a 12%, respetando las técnicas de conservación de suelos (Amorim Neto *et al.*, 2001).

## Fertilización

El ricino es una planta exigente en nutrientes, razón por la cual siempre que sea posible se debe hacer análisis de suelos. Presenta buena respuesta en rendimiento a la corrección por encalado de suelos ácidos y a la fertilización.

Si el pH del suelo estuviese por debajo de 5, entonces sería conveniente realizar un encalado previo (tres meses antes de la siembra), en suelo húmedo e incorporando en los primeros 20cm de suelo. La cantidad de cal va a depender del valor de pH resultado del análisis de suelos, del contenido de materia orgánica y de los tenores de calcio, magnesio y aluminio intercambiable (**Cuadro 15**). Asimismo, se pueden definir fórmulas para la determinación de la cantidad de cal a aplicar, como las desarrolladas por EMBRAPA Roraima para suelos de Roraima (Smiderle *et al.*, 2002).

$$NC = 196,29 - 58,78 \text{ SMP} + 4,42 \text{ SMP}^2, \text{ ó}$$

$$NC = 2,32 + 1,63 (\text{Ca} + \text{Mg}) + 0,271 (\text{Ca} + \text{Mg})^2$$

$$NC = t/\text{ha de cal PRNT } 100\%$$

SMP = valor de pH por índice SMP obtenido del análisis de suelos

Ca y Mg = resultados de calcio y magnesio del análisis de suelos.

Se recomienda la aplicación de formulaciones que contengan B y Zn.

**Cuadro 15.** Fertilización del cultivo de ricino

Elemento	Resultado de análisis de suelos	Cantidad a aplicar	Momento de aplicación	Método
<b>Encalado</b>	Mg < 5 mmol/dm <sup>3</sup>		Tres meses previo a la siembra	En cobertura e incorporado
<b>Nitrógeno N kg/ha</b>		15	A la siembra	En cobertura
<b>Nitrógeno N kg/ha</b>		30-60	Inicio de floración	En cobertura
<b>Fósforo P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg/ha</b>	0-6 mg/dm <sup>3</sup> 7-15 mg/dm <sup>3</sup> > 15 mg/dm <sup>3</sup>	80 60 40	A la siembra	Al costado y por debajo de la semilla
<b>Potasio K<sub>2</sub>O kg/ha</b>	0-0,7 mmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> 0,8-1,5 mmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> > 1,5 mmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup>	40 30 20	A la siembra	

Fuente: Savy Filho, 1999.

## Elección de la chacra

La elección de una chacra inadecuada puede constituirse en un serio factor de degradación de suelos. La planta de ricino presenta muy poca habilidad para proteger el suelo. Si es cultivada con baja densidad poblacional, presenta bajo índice de área foliar y su explotación exige un eficiente control de malezas hasta 60 días después de la emergencia. Estas características de la planta permiten la exposición del suelo a agentes erosivos como lluvia y viento. Experiencias de cultivos consociados, e incluso de pastoreo ovino han resultado exitosas en la protección del suelo frente a la erosión hídrica.

También es significativa la erosión química del suelo, resultante de la pérdida de nutrientes por cosechas sucesivas, en sistemas de producción con bajo uso de insumos (Azevedo *et al.*, 2003).

## Preparación del suelo

La preparación del suelo debe planificarse con suficiente anticipación con el objeto de no retrasar la siembra.

La planta de ricino posee un sistema radicular profundo, por lo que se recomiendan laboreos que favorezcan el desarrollo de un sistema radicular amplio y vigoroso, para facilitar la mayor exploración del perfil por parte de las raíces. Es conveniente eliminar la competencia de malezas, por lo menos en la primera fase del desarrollo que es cuando la presencia de las mismas resulta más perjudicial. La necesidad de dar al cultivo las condiciones de suelo requeridas para el amplio desarrollo de su sistema radicular, ha llevado a la práctica de excesos de laboreo hasta tres aradas profundas, dos rastreadas cruzadas y uno o dos afinamientos con rastra liviana o de dientes. Este laboreo aumenta grandemente los costos del cultivo, amén del efecto perjudicial en el suelo.

Una preparación convencional de suelo para el cultivo de ricino incluiría la siguiente secuencia de labores:

- Aplicación de herbicida o rastra liviana sobre restos de cultivos anteriores.
- Laboreo primario con arado de cinceles a 15-20cm con gran antelación a la siembra (si fuera necesario se puede realizar otra pasada en sentido diagonal más cerca de la época de siembra).
- Por último, es conveniente realizar una pasada de cultivador o rastra liviana para eliminar terrones. Debe evitarse, especialmente, el uso de rastra de discos pesada (excéntrica), ya que promovería el desarrollo de procesos de erosión y compactación del suelo.

Con respecto a la siembra directa del cultivo, EMBRAPA Semi-Árido, en el marco del Proyecto Gaviao/SEAG-CAR-BAHIA, ha desarrollado una sembradora manual para pequeños predios, adaptada de una sembradora para maíz. Los ensayos realizados arrojan resultados alentadores para la siembra directa de ricino en cuanto la sembradora presentó un buen desempeño en las condiciones del ensayo (Barboza *et al.*, 2004).

## Siembra

La siembra de ricino deberá ser efectuada en áreas de topografía plana o suavemente ondulada o con curvas de nivel y en sentido perpendicular al escurrimiento de aguas superficiales.

## Profundidad

La profundidad de siembra se deberá fijar en función de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, de forma que, cuanto mayor sea la capacidad de retención de agua del suelo, menor la profundidad de siembra. Suelos de textura



arenosa y, por tanto, con baja capacidad de almacenamiento de agua, requieren mayor profundidad que los suelos de textura pesada. Para los primeros, se recomienda la siembra a una profundidad de 8 a 10cm y, para los otros, una profundidad de 6 a 8cm. Similar recomendación se debe dar con relación a las precipitaciones; para años o zonas de lluvias normales, la profundidad de siembra debe ser de 6 a 8cm y para años secos de 8 a 10cm.

El productor deberá estar atento al hecho de que la siembra muy profunda puede producir plantas menos vigorosas y con hipocotilo muy largo, existiendo la posibilidad de no emergencia por incidencia de hongos o bacterias.

### **Métodos de Siembra**

La siembra de ricino se puede realizar en forma manual o mecánica, dependiendo del sistema de producción.

La siembra mecánica requiere de sembradoras especiales y se indica para predios de tamaño mayor a 50has y para cultivares de semillas pequeñas o medias, con espaciamentos entre plantas en la fila oscilen entre 0,50 y 1,0m.

La siembra manual se aconseja para cultivares con semillas medias a grandes y cultivos consociados, colocando dos o tres semillas en orificios abiertos previamente en el suelo. En este caso la población sería de de 5 a 15 kg/ha, dependiendo del porcentaje de germinación.

### **Transplante**

El ricino tiene germinación y crecimiento inicial muy lentos, por lo que investigadores de EMBRAPA Algodão realizaron ensayos de evaluación comparativa del comportamiento de mudas transplantadas de ricino y siembra convencional. Los resultados indican

diferencias significativas en implantación y rendimiento a favor de las mudas transplantadas, así como un mejor desempeño de éstas frente al estrés hídrico. Los autores aconsejan continuar las investigaciones de sistemas de transplante con diferentes sustratos (Beltrão *et al.*, 2004).

### **Época de siembra**

La época de siembra está relacionada con la incidencia de plagas, enfermedades, malezas y, en especial, con los factores hídricos, térmicos y luminosos que pueden interferir en la emergencia y la productividad del cultivo. En el hemisferio norte la época de siembra adecuada para *Ricinus communis* es similar a la del maíz.

En India, el mayor productor de ricino del mundo, la época de siembra es entre julio y agosto y la época de cosecha entre diciembre y enero.

En regiones tropicales hay una estrecha correlación entre la época de siembra y la secuencia previa de laboreo, que determina una disminución drástica del rendimiento cuando la siembra se realiza en forma tardía. Cuando el índice de incidencia de lluvias de un área se acerca al mínimo exigido por el cultivo, el ideal recomendado es efectuar la siembra al inicio de la temporada de lluvias y después de, por lo menos, 30mm de lluvia. En estas áreas, con exceso de humedad, el cultivo de ricino se puede tornar inviable debido a plagas y su cultivo se recomienda en época seca (Weiss, 1983).

En Paraguay, el periodo óptimo estaría comprendido de octubre a noviembre, con disminución de la productividad a medida que se aleja de ese período. Se reportan recomendaciones de siembra a partir de septiembre, teniéndose como la mejor época el mes de octubre. La siembra puede extenderse hasta el mes de diciembre en algunas regiones, aunque las siembras tardías implican reducciones drásticas en el rendimiento (PNFPT, 2004).

Las experiencias en climas similares al de Uruguay indican que los meses de septiembre y octubre son los mejores para la siembra de primavera de esta oleaginosa, siempre que se alcancen sus requerimientos de fotoperíodo, temperatura y humedad. La siembra de otoño, para los cultivares de ciclo largo puede realizarse entre los meses de abril y mayo.

### Densidad y espaciamiento

El espaciamiento adecuado varía de acuerdo al nivel tecnológico empleado y a la práctica o no de consociar el cultivo.

Según Labalette *et al.* (1996), en Francia la población adecuada debe ser de 50.000pl/ha con un espaciamiento de 80cm, dependiendo de las características de la cosechadora utilizada, ya que solo se realiza cosecha mecanizada.

Para cultivares de porte alto el espaciamiento recomendado es de 2,50 a

3,00m entre líneas y 1,00m entre plantas con una dosis de siembra de 4 kg/ha. En Brasil, el cultivar Guaraní se siembra con un espaciamiento de 1m x 1m o 1,50m x 0,50m, con una dosis de 8 a 10kg/ha de semilla (Savy Filho *et al.*, 1999). Ver **Cuadro 16**.

El ricino es explotado en Brasil en dos sistemas distintos: cultivo único y consociado.

El cultivo único es practicado por grandes productores, los cuales utilizan cultivares de porte enano o materiales híbridos y cosecha mecanizada.

Por otro lado, el cultivo consociado es típico del semi-árido nordestino donde predomina el uso de cultivares de portes medio y alto y la agricultura familiar. El sistema se define como la siembra de dos o más especies en filas intercaladas en un mismo terreno (Willey, 1979). Ver **Figuras 4 y 5**.



**Figura 4.**

Cultivo de ricino asociado a poroto  
Fuente: EMBRAPA



**Figura 5.**

Cultivo de ricino asociado a maíz  
Fuente: EMBRAPA

El cultivo consociado es una práctica agrícola consagrada en toda la región tropical. El pequeño productor utiliza el cultivo simultáneo como estrategia para superar las irregularidades climáticas muy

frecuentes en las regiones semiáridas. El ricino se planta frecuentemente consociado con cultivos alimentarios (porotos, habas, arvejas, maíz) u oleaginosas (soja).

**Cuadro 16.** Recomendaciones de espaciamiento de EMBRAPA Algodão

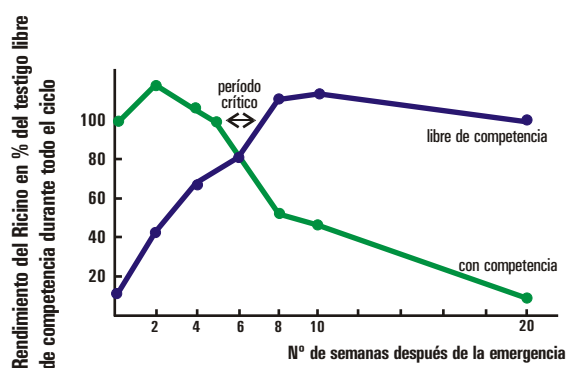
<b>Cultivo único de secano, cultivares de porte medio</b>		
<b>Suelo de baja fertilidad</b>	<b>Suelo de fertilidad media</b>	<b>Suelo de alta fertilidad</b>
2 x 1m	3 x 1m	4 x 1m
<b>Cultivo único de secano, cultivares de porte enano</b>		
<b>Suelo de baja fertilidad</b>	<b>Suelo de fertilidad media</b>	<b>Suelo de alta fertilidad</b>
1 x 0,5m	1 x 0,7m	1,5 x 0,5m
<b>Cultivo consociado, siembra en filas simples</b>		
<b>Suelo de baja fertilidad</b>	<b>Suelo de fertilidad media</b>	<b>Suelo de alta fertilidad</b>
4 x 0,5m	4 x 0,8m	4 x 1m
<b>Cultivo asociado Maíz</b>		
<b>Suelo de baja fertilidad</b>	<b>Suelo de fertilidad media</b>	<b>Suelo de alta fertilidad</b>
3 filas (1,0m x 0,50m)	3 filas (1,0m x 0,5m)	3 filas (1,0m x 0,60m)
<b>Cultivo asociado Poroto</b>		
<b>Suelo de baja fertilidad</b>	<b>Suelo de fertilidad media</b>	<b>Suelo de alta fertilidad</b>
5 filas (0,5m x 0,20m)	5 filas (1m x 0,25m)	5 filas (0,5m x 0,25m)
<b>Cultivo consociado, siembra en filas dobles</b>		
<b>Suelo de baja fertilidad</b>	<b>Suelo de fertilidad media</b>	<b>Suelo de alta fertilidad</b>
1 x 0,8 x 4m	1 x 1 x 5m	1 x 1 x 6m
<b>Cultivo asociado</b>		
El número de filas variará de acuerdo con los espaciamientos entre filas dobles del ricino (4,0m; 5,0m o 6,0m) y de los espaciamientos y densidades de siembra de los cultivos asociados que serán idénticos al del sistema de filas simples.		

Fuente: Elaborado por la autora en base a EMBRAPA Algodão

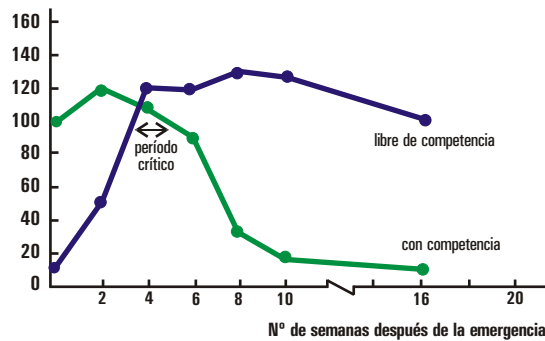
## Control de malezas

El ricino es muy sensible a la competencia causada por malezas, que si no son controladas pueden causar severas pérdidas en el rendimiento del cultivo. El

período crítico de competencia se ha identificado en los primeros 70 días después de la emergencia de las plantas (Azevedo *et al.*, 1997). **Figuras 6 y 7.**



**Figura 6.** Período crítico de competencia entre malezas y ricino en 1994 en Monteiro, PB  
Fuente: Azevedo *et. al.* 1997



**Figura 7.** Período crítico de competencia entre malezas y ricino en 1995 en Monteiro, PB  
Fuente: Azevedo *et. al.* 1997

Una de las observaciones realizadas en el único ensayo llevado a cabo en Uruguay entre los años 1981 y 1982, fue precisamente la escasa competencia con las malezas de dos cultivares norteamericanos y su diferencia con el cultivar brasileño ensayado, que demostró un comportamiento muy competitivo, creció vigorosamente y cubrió rápidamente el suelo (Del Puerto, 1982).

- Control manual. El requerimiento de labores culturales manuales para el control de malezas en predios de agricultura familiar, se indica como uno de los aspectos sociales más atractivos del cultivo por su exigencia de mano de obra. La herramienta utilizada es la azada y las carpidas se realizan a demanda.
- Control mecánico. Para los pequeños productores, se recomienda el uso correcto del cultivador de campo superficial o a poca profundidad (2 a 3 cm) en la entrefila y en el período crítico, complementando con la azada dentro de las filas.
- Control químico con el uso de herbicidas. Es, probablemente, el método más práctico y económico de control de malezas en el cultivo de

ricino. Se debe ser muy cuidadoso en cuanto a la selección de los productos, dosis, equipamiento, calibración de la pulverizadora y tener en consideración las condiciones climáticas al momento de la aplicación. El uso de herbicidas en preemergencia obliga a realizar una siembra un poco más profunda que lo normal para evitar problemas en la germinación de las semillas. EMBRAPA, basándose en resultados experimentales, recomiendan los siguientes herbicidas:alachlor, diuron, linuron, eptc, norea, simazine e trifluralin y 2, 4 D solo y en mezclas con latifolicidas como diuron.

- Control integrado que involucra al menos dos de los métodos citados, al mismo tiempo.

### Plagas y su control

El ricino comparte con algunos cultivos hortícolas su susceptibilidad a plagas y enfermedades. Es por esa razón que no debe ser cultivado por más de dos años en el mismo sitio, debiendo incorporarse a rotaciones con cultivos que retornen nutrientes al suelo y/o abonos verdes que corten el ciclo de los patógenos.

Las plagas más frecuentes en la bibliografía son: *Nezara viridula*, *Empoasca kraemeri*, *Spodoptera latifascia*, *Agrostis ipsilon* y *Elasmopalpus lignosellus*.

### Enfermedades y su control

Las enfermedades más frecuentes en el cultivo de ricino son inducidas por *Fusarium oxysporium* (*fusariosis*), *Cercospora ricinella*, *Xanthomonas ricinicola*, *Phytophthora spp* y *Botrytis cinerea pers* (moho ceniciento) que pueden ser controlados con fitosanitarios, rotación de cultivos, erradicación y quema de plantas.

Otros microorganismos que pueden causar enfermedades al ricino son:

*Fusarium ricini*, *Botryodiplodia theobromae*, *Cercospora*, *Alternaria*, *Macrophomina phaseolina*.

Además se reportan varias enfermedades causadas por virus: CPSMV (Cowpea Severe Mosaic Comovirus), CPSMO (Cowpea Severe Mosaic Potyvirus) y CPRMV (Cowpea Rugosa Mosaic Potyvirus), en su mayoría transmitidos por pulgones.

### Cultivares

En el **Cuadro 17** se presenta un resumen de los principales cultivares explotados en Brasil.

**Cuadro 17.** Resumen de las características de algunos cultivares utilizados en Brasil

Características agronómicas	Guaraní	IAC-80	IAC-226	Nordestina BRS 149	Paraguaçu BRS 188
Año de lanzamiento	1974	1982	1991	1998	1999
Ciclo vegetativo medio (días)	180	240	180	250	250
Rendimiento medio (kg/ha)	1.500	2.000	2.000	1.500	1.500
Productividad potencial (kg/ha)	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Floración 1 <sup>er</sup> . racimo(días)	72	80	55	50	54
Maduración (días)					
1 <sup>er</sup> racimo	145	150	95	100	100
2 <sup>o</sup> racimo	158	190	125	200	200
3 <sup>er</sup> racimo	178	240	150	250	250
Frutos	Indehiscentes	Dehiscentes	Indehiscentes	Semi dehiscentes	Semi dehiscentes
Color de semillas	Blanco/negro	Blanco/marrón	Blanco/rojo	Negro	Negro
Forma de las semillas	Oblonga	Redondeada	Oblongo		
Peso medio de 100 semillas (g)	43	43	34	68	71
Cosecha	Única	Por parcelas	Única	Manual por parcelas	Manual por parcelas
Caracteres morfológicos					
Altura media de planta (cm)	180	250	250	190	160
Color del tallo	rosa c/cera	verde s/cera	rosa c/cera	verde c/cera	
Caracteres tecnológicos					
Tenor medio de aceite (%)	47	47	47	49	48

Fuente: Elaborado por la autora en base a Savy Filho, A (1999) y Barreto (2003)

---

EMBRAPA Algodão inició un programa de mejoramiento para desarrollar cultivares de porte enano, para facilitar la cosecha mecanizada en grandes superficies.

Por otro lado, se están desarrollando investigaciones para el mejoramiento genético del ricino. La Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) después de encontrar parte de la secuencia del genoma de ricino, pretende desarrollar semillas genéticamente modificadas, con el objetivo de aumentar la capacidad de la planta de absorber metales del suelo para usarla como agente descontaminante.

### **Cosecha, secado y almacenamiento**

El momento de la cosecha se determina de forma diferente para cultivares de ciclo corto o de ciclo largo. Dependiendo del cultivar, en general, luego de transcurridos dos o tres meses de la germinación la planta comienza a florecer y a formar los frutos. Estos tardan entre tres y cuatro meses para alcanzar la madurez y, por ende, el momento de la cosecha.

En algunos cultivares, los frutos tienden a abrirse violentamente cuando se encuentran maduros y secos, expulsando las semillas a distancias considerables. Esta propiedad, la dehiscencia explosiva, puede ocasionar pérdidas considerables a la cosecha, por lo que se debe evitar alcanzar este grado de madurez, adelantando la cosecha y secando los frutos luego de recogidos.

Otras variedades, las indehiscentes, requieren de descascarado para la separación de las semillas del fruto que permanece en la planta hasta su secado total. El momento de cosecha en estas últimas y en las de frutos semi dehiscentes debe coincidir con tiempo seco y cuando aproximadamente los dos tercios de las infrutescencias presenten color marrón. Estas variedades permiten una sola cosecha o cosechas escalonadas, utilizando

importante cantidad de mano de obra en la cosecha manual.

Las infrutescencias deben ser cortadas y trasladadas a la playa de secado donde permanecen de tres a cinco días secando al sol antes de la trilla. También la trilla puede realizarse en el campo a través del acoplamiento de una máquina descascaradora a la toma de potencia del tractor. Esta operación presenta la ventaja de dejar los residuos de descascarado en el campo, donde pueden ser fácilmente incorporados al suelo, aportando nutrientes y materia orgánica. Del mismo modo, se consigue una ventaja económica al transportar solo las semillas, disminuyendo los costos de flete.

### **Acondicionamiento**

El acondicionamiento de los frutos dehiscentes del ricino puede ser manual o mecanizado y tiene tres etapas básicas: secado, separación, limpieza y embolsado de las semillas.

El secado puede ser natural o mediante secadoras. El secado natural se realiza en playas de secado, extendiendo los frutos en el suelo, en estratos de 5-10cm, para conseguir la mayor superficie de exposición a los rayos solares. Con pértigas se extienden una y otra vez los frutos para airearlos y asolearlos. Se debe evitar la humedad a la caída de la noche, amontonando los frutos y cubriéndolos. En general, para el secado de la producción de una hectárea de ricino se necesita una playa de secado de 150-200m<sup>2</sup>. El secado natural tiende a ser desperejo y a tardar más que el secado con secadores.

Para los frutos indehiscentes el proceso de separado debe ser mecanizado. La separación se realiza mediante una máquina descascaradora y la limpieza puede ser manual (aventado) o por abanicos mecánicos para separar las semillas de las impurezas que deprecian considerablemente su valor

comercial. Una vez limpias, las semillas deben ser embolsadas y almacenadas en lugar seco y ventilado.

## ■ 9.7.2 Inventario de productos y coproductos

### 9.7.2.1 Aceite de ricino

Las semillas de ricino contienen más de 55% de un aceite natural que, entre todos los aceites vegetales se distingue por su alto tenor de ácido ricinoleico (alrededor de 85%), un ácido graso constituido por una cadena de 18 carbonos con un doble enlace entre los carbonos 9 y 10 y un grupo hidroxilo presente en el carbono 12.

El método utilizado para extraer el aceite puede ser prensado en frío, a temperatura controlada o extracción por solvente, en general, hexano.

En el caso del aceite medicinal, el prensado de las semillas es realizado en frío, obteniéndose el aceite límpido, incoloro y brillante, libre de ricina, con bajo tenor de acidez e impurezas. El aceite medicinal, además, debe pasar por los procesos de refinación y de neutralización para que sea absolutamente exento de acidez y de impurezas.

Para la extracción de aceite industrial se utiliza el prensado en frío o a temperatura controlada de las semillas completas, obteniéndose aceite tipo standard límpido, brillante, que puede tener un máximo de 1% de acidez y 0,5% de impurezas y humedad después del refinado. El aceite industrial también puede ser obtenido de la torta resultante de la extracción del aceite medicinal (Gama de Macedo, 2004).

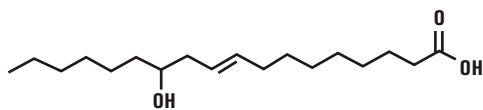
**Cuadro 18.** Variación del tenor de ácidos grasos en el aceite de ricino

Ácidos Grasos	(%)
Ácido ricinoléico	84-91
Ácido oléico	3,1-5,9
Ácido linoléico	2,9-6,5
Ácido esteárico	1,4-2,1
Ácido palmítico	0,9-1,5

Fuente: Moshkin, 1986, modificado por Savy Filho, A. 1999

El ácido ricinoleico es responsable del interés existente en el aceite de ricino, ya que otorga un alto y estable índice de viscosidad cuando se combina con lubricantes de alta calidad, especialmente en condiciones de bajas temperaturas (Labalette *et al.*, 1996).

Además del doble enlace y del grupo hidroxilo, el aceite de ricino tiene también un grupo carbonilo en el carbono 1, lo que lo convierte en un aceite único en la naturaleza y le confiere la propiedad de ser soluble en alcohol.



**Figura 8.** Ácido ricinoleico

Es debido a estas propiedades que las aplicaciones del aceite de ricino son innumerables; en términos cualitativos, la más importante es la anteriormente mencionada, fabricación de aditivos de alta lubricidad para motores de aviación. En términos cuantitativos, es en la fabricación de tintas, barnices, cosméticos y en jabonería. Es también importante en la producción de plásticos, fibras sintéticas y poliuretano (**Cuadro 19**).

**Cuadro 19.** Aplicación industrial de derivados de aceite de ricino

Sitio de Reacción Química	Derivado	Aplicación
Enlace Éster	Metilricinoleato	Nylon-11 (hilos, tubos, mangueras, conexiones industria automotriz, aeronáutica)
Doble enlace	Aceite Hidrogenado	Ceras, lubricantes, cosméticos, plásticos
	Aceite Oxidado	Plastificante, protectores, tintas, adhesivos
Grupo Hidroxilo	Aceite Deshidratado	Secativo
	Aceite Sulfonado	Industria Textil
	Ácido Sebácico	Lubricantes, Nylon 6-10
	Aceite Etoxilado	Cosméticos, detergentes, lubricantes de superficie, aceite de corte, fluido hidráulico, industria textil
	Poliuretanos	Telecomunicaciones, construcción, aislantes, materiales eléctricos, productos biomédicos, filtros industriales.
	Transesterificación	Biodiesel

Fuente: Savy Filho, A. 1999

El aceite de ricino es también utilizado en otros procesos industriales; fabricación de colorantes, anilinas, desinfectantes,

germicidas y sirve de base para fungicidas e insecticidas (**Cuadro 20**).



Cuadro 20.

Especificaciones internacionales para el aceite de ricino

Propiedades	British Standard First Quality <sup>17</sup>	U.S. N° 1	A.O.C.S.
Índice de acidez	4 máx.	3 máx	4 máx.
Índice de saponificación	177-187	179-185	176-187
Índice de iodo-Wijs	82-90	82-88	81-91
Índice de R-M	-	-	< de 0,5
Índice de Polenske	-	-	< de 0,5
Índice de acetilo	140 mín.	-	144-150
Índice de hidroxilo <sup>18</sup>	156	-	161-169
Insaponificables (%)	1,0 máx.	0,5 máx.	< de 1
Índice de refracción 20°C	1,477-1,481	-	1,473-1,477
Índice de refracción 40°C	-	-	1,466-1,473
Gravedad específica a 15,5/15,5°C	0,958-0,969	0,961-0,963	0,958-0,968
Viscosidad a 25° C <sup>19</sup>	-	U ± 1/2	-
Color	2,2Y-0,3R máx. <sup>20</sup>	3 máx. <sup>21</sup>	-
Temperatura crítica de la solución en etanol	< de 0 °C	-	-

Fuente: Weiss, 1983

### El aceite de ricino como materia prima para la producción de biodiesel<sup>22</sup>

- **Cenizas:** 0.02%
- **Sulfuros:** < 0.04%
- **Potasio:** trazas
- **Poder calorífico:** 39.5 GJ/T. En general, los aceites vegetales tienen un poder calorífico que oscila en un 10% menor que los del gasoil y la gasolina que tienen, aproximadamente, 45 GJ/T.
- **Viscosidad:** los aceites vegetales en sí mismos tienen viscosidades mucho más altas que la gasolina y el gasoil. El aceite de ricino "in natura" es uno de los aceites más viscosos (9.5 - 10.0 dPa.s a

20°C alrededor de 990 cP), esto es, 100 veces más viscoso que el gasoil. Esta característica pudiera llegar a ser un obstáculo, si no fuera porque en el proceso de transesterificación esta viscosidad se reduce considerablemente. Una de las características principales del biodiesel de ricino es su elevada viscosidad por la presencia de ácido ricinoleico que, por poseer un radical hidroxilo en el carbono 12, es que posee una gran interacción, causando así una elevada viscosidad.

- **Índice de Iodo:** el aceite de ricino sin transesterificar tiene un índice de yodo que oscila entre 81-91, mientras que transesterificado tiene un índice de yodo de alrededor de 80. Cuanto más bajo es el índice de yodo de un aceite,

<sup>17</sup> BSS Indiano y BSS Brasileiro, conforme a las especificaciones

<sup>18</sup> Gardner-Holdt

<sup>19</sup> Gardner.

<sup>20</sup> Índice de hidroxilo correspondiente al acetílico dado.

<sup>21</sup> Medido en 1, en la célula, escala de color de Lovibond

<sup>22</sup> Tomado de Coelho (1979).

mejor será el comportamiento del biodiesel de ese aceite. Mientras que la mayoría de los países no tienen límites superiores obligatorios para el índice de yodo, en algunos países de Europa este límite superior está estipulado en 120. Se puede observar que el biodiesel de ricino está lejos de este valor, por lo que supera fácilmente el ensayo para índice de yodo, lo que no se puede asegurar, por ejemplo, para el biodiesel de soja, cuyo valor es 120.

- **Número de Cetano:** cuanto más alto el número de cetano, mejor es el comportamiento de un combustible en un motor diesel, ya que implica un menor retardo a la ignición, mejor arranque y menos toxicidad de los gases de emisión. El número de cetano del gasoil es 45, y el biodiesel de ricino supera ese valor. De hecho, el aceite de ricino tiene uno de los números de cetano más altos entre los aceites vegetales y todos los otros posibles aceites para biodiesel tienen números de cetano menores al del ricino, en un rango entre 45 y 60.
- **Melting Point:** 5°C. Este valor es aceptable para motores diesel.
- **Punto de Solidificación:** el aceite de ricino tiene un punto de solidificación entre -12 y -18°C. Esta es una característica positiva, especialmente en climas fríos, ya que implica que el biodiesel de ricino se solidificará pocas veces en comparación con, por ejemplo, el biodiesel de sebo. Asimismo, en mezclas con otros biodiesel, ayuda a disminuir el punto de solidificación de estas mezclas.
- **Densidad:** el aceite de ricino antes de la transesterificación tiene una densidad de 0.956-0.963g/ml a 20°C. La conversión a alquilésteres disminuye la densidad pero se deberían realizar más estudios en este sentido, para comprobar su importancia. El valor para gasoil es de,

aproximadamente, 0.85 g/ml.

- **Flash Point:** 260°C. Se compara favorablemente con otros aceites vegetales, aunque es mucho más alto que el diesel de petróleo (aproximadamente 50°C). Con un punto de ignición mucho más alto que para el diesel de petróleo, el biodiesel de ricino es clasificado como un líquido no inflamable. Esta propiedad hace que un vehículo alimentado por este biodiesel sea más seguro en un accidente que uno impulsado por diesel de petróleo o por gasolina.
- **Punto de enturbiamiento:** en un rango aceptable.
- **Pour Point:** su valor de alrededor de -32°C se compara bien con otros aceites vegetales y es aceptable para motores diesel.

#### 9.7.2.2 La toxina ricina y la RCA

Las semillas del ricino son tóxicas para animales e insectos y para el hombre. Contienen una serie de proteínas, una de las cuales, la ricina, fue aislada en 1888 por Stillmark cuando observó que el extracto de las semillas aglutinaba las células sanguíneas. Hoy se sabe que la aglutinación por el extracto de las semillas de ricino se debe a otra toxina llamada RCA (*Agglutinina de Ricinus communis*) y no por la ricina que es una potente fitotoxina pero una hemoaglutinina débil, mientras que la RCA es poco tóxica pero un potente aglutinante.

La ricina es una de las toxinas más potentes conocidas. Pertenece a la familia de proteínas conocidas como proteínas inactivantes de los ribosomas, que se unen de forma irreversible a los ribosomas de las células eucarióticas impidiendo la síntesis de proteínas.

El 5% del peso de la semilla de ricino está compuesto por ricina y RCA, que son sintetizadas en las células del endosperma

de las semillas maduras y almacenadas en una vacuola. Cuando la semilla germina, las toxinas son destruidas en unos pocos días por hidrólisis.

Mediante mejoramiento genético se está tratando de bloquear o eliminar la presencia de componentes tóxicos tales como la ricina y alergógenos en las semillas de ricino.

### 9.7.2.3 La torta de ricino

Coelho (1979), sostiene que de cada 100 kg de frutos de ricino se obtienen en promedio 45 kg de aceite y 50 kg de harina y torta con un alto tenor de proteínas (32 a 40%). La torta de ricino, in natura, es tóxica y, por esta razón, no es usada directamente en la composición de raciones para animales hasta tanto no sea detoxificada. Por tratarse

de un proceso de detoxificación bastante complejo y caro, las aceiteras prefieren vender la torta como fertilizante debido a su contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes y a la presencia de toxinas que eliminan ciertas enfermedades a hongos del suelo e inclusive que controlan la actividad de varios tipos de plagas (Ferreira, 2005).

También, se ha evaluado el efecto fungitóxico de extractos a base de torta sin detoxificar, hojas y aceite de ricino sobre el crecimiento de *Fusarium sp* para un biocontrol sin causar daños al medio ambiente. Los resultados evidenciaron que los extractos de torta y hoja empleados no inhiben el crecimiento de *Fusarium*, sino que apenas retardan su desarrollo, mientras que el aceite es un componente importante para la aceleración del crecimiento de este hongo (Assis *et al.*, 2005).

**Cuadro 21.** Características físicas del fertilizante obtenido de torta de ricino

Ángulo de reposo <sup>23</sup>	Humedad 100-110° C %	Densidad aparente suelta g/cm <sup>3</sup>	Densidad aparente compacta g/cm <sup>3</sup>	Granulometría, % ABNT- 2,0 mm	Granulometría, % ABNT - 0,5mm
34°10'	6,43	0,616	0,710	11,52	67,13

Fuente: Elaborado por la autora en base a Bernardi *et al.* 1994.

La desintoxicación de la torta de ricino con destino a la alimentación animal se realiza calentándola en autoclave, a través de una corriente de vapor a temperatura de 130° C por 30 minutos. En estas condiciones, la ricina se desnaturaliza, perdiendo completamente y de forma irreversible su efecto tóxico (Ferreira, 2005).

Es importante resaltar que el proceso de desintoxicación solo tiene sentido si se aplica a la harina resultante del proceso de extracción de aceite por solventes, o sea, la torta con un tenor de aceite inferior al 1%. La torta tal como se obtiene del proceso de extracción mecánico de aceite, aún desintoxicada no puede ser empleada como ración debido a su alto contenido del mismo (5-8%) (TECBIO, 2005).

<sup>23</sup> indica la capacidad de deslizar o fluir

### ■ 9.7.3 Evaluación de los resultados de los inventarios

La evaluación de la producción de ricino con destino a biodiesel en Uruguay aparece como viable, desde el punto de vista agronómico, en las siguientes condiciones:

- Suelos profundos, franco arenosos, con buen drenaje, escasa pendiente y buena capacidad de retención de agua.
- Altitud superior a 300m sobre el nivel del mar.
- Precipitaciones entre 400 y 700mm.
- Alta luminosidad y temperaturas superiores a 20°C.
- Disponibilidad de agua en fase vegetativa y en secano, o por riego.
- Chacras limpias de no más de 50has.

Para determinar cuál puede ser la región más apropiada para este cultivo se recurrió al Atlas de Recursos Naturales del Uruguay (Bossi, 2000) y a información disponible en las páginas Web del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca del Uruguay ([www.mgap.gub.uy](http://www.mgap.gub.uy)) y del INIA ([www.inia.org.uy](http://www.inia.org.uy)). Dados los requerimientos del cultivo, el departamento de Tacuarembó aparece como el área más indicada para realizar los ensayos de rendimiento requeridos para validar la producción en Uruguay.

La ruta tecnológica seleccionada a partir de los requerimientos del cultivo, las categorías de impacto referidas a la disponibilidad de mano de obra rural, las vías de comunicación que minimicen los costos de transporte y la disponibilidad de infraestructura aceitera ociosa coinciden en la localización propuesta para este cultivo.

En este marco, los requerimientos tecnológicos de la producción agrícola son:

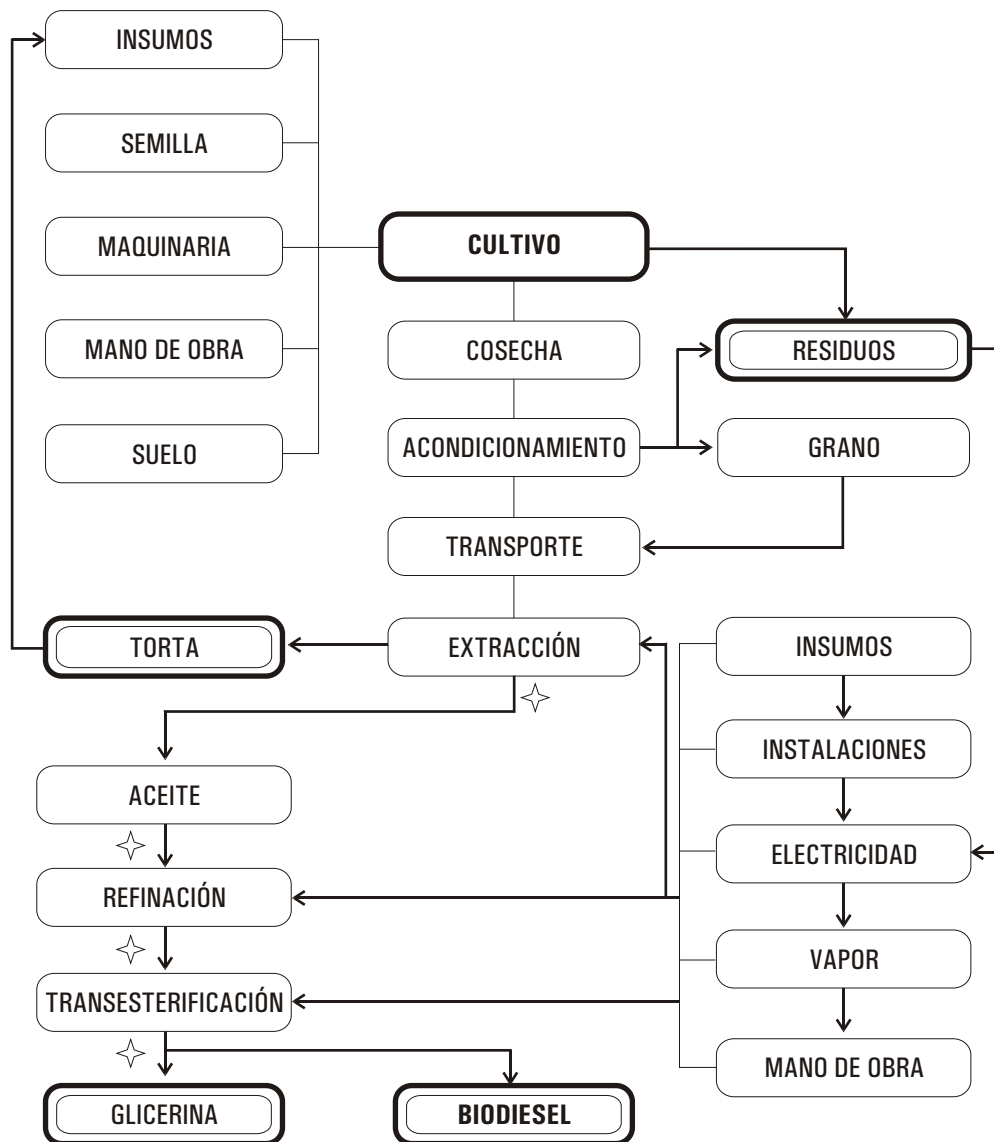
- Semilla importada de EMBRAPA.
- Control de malezas presiembra con herbicida y mantenimiento manual por carpida.
- Cultivo único, ciclo 180 días (considerar la adopción de sistemas de rotaciones con verdes de invierno de ciclo corto y consociado con maíz o sorgo).

- Arada con arado de cinceles en otoño.
- Rastreada previa a la siembra con vibrocultivador.
- Siembra manual de primavera en los meses de setiembre y octubre.
- Siembra del cultivar Guaraní en un marco de plantación de 1mx1m (10.000 pl/ha).
- Aplicación de fertilizantes acorde con el resultado de análisis de suelos.
- Aplicación de insecticida.
- Cosecha manual única.

Los requerimientos de servicios son:

- Secado en el predio.
- Embolsado.
- Transporte a planta.
- Extracción del aceite por solvente hexano.
- Refinación del aceite.
- Transesterificación.
- Purificación del biodiesel.
- Transporte y distribución.
- Almacenado y/o purificación de la glicerina.
- Tratamiento de efluentes.

La **Figura 9** representa un esquema simplificado de la ruta tecnológica. Las estrellas indican tratamiento de efluentes. Las salidas del sistema están rodeadas de un doble borde.



**Figura 9.**

Ruta tecnológica simplificada  
Fuente: Elaborado por la autora.

## ■ 9.7.4 Cuantificación de productos y procesos (Cuadros 22 y 23)

Cuadro 22.

### BALANCE DE ENERGÍA

Entradas al sistema				
CVB	Unidad	Cantidad	EFUPC <sup>24</sup> (MJ/ha)	Energía fósil utilizada (MJ/l)
<b>1) Insumos</b>				
Semilla	kg	4,5	198	0,36
Herbicida	l/ha	2	522	0,95
Insecticida	l/ha	1	269	0,49
Encalado	kg	60	80	0,15
Fertilizante N	Kg	100	428	0,78
Fertilizante P	Kg	80	159	0,29
Fertilizante K	kg	30	200	0,36
Bolsas	kg	5	358	0,65
Transporte de insumos	km	30	980	1,78
<b>Subtotal</b>			<b>3194</b>	<b>5,80</b>
<b>2) Operaciones mecanizadas</b>				
Arada con cincel	1	1	840	1,52
Vibrocultivador	1	1	280	0,51
Fertilización	2	2	378	0,69
Aplicaciones	3	3	284	0,52
<b>Subtotal</b>			<b>1782</b>	<b>3,23</b>
<b>3) Operaciones manuales</b>				
Siembra manual	jornada	3	36	0,07
Carpidas	jornada	6	72	0,13
<b>Subtotal</b>			<b>108</b>	<b>0,20</b>
<b>4) Cosecha</b>				
Cosecha manual	Jornada	18	216	0,39
<b>Subtotal</b>			<b>216</b>	<b>0,39</b>
<b>5) Acondicionamiento y transporte</b>				
Secado en el predio	jornada	6	72	0,13
Trilla manual	jornada	6	72	0,13
Embolsado	jornada	1	12	0,02
Transporte	km	30	1495	2,71
<b>Subtotal</b>			<b>1651</b>	<b>3,00</b>
<b>6) Proceso Industrial<sup>25</sup></b>				
Insumos <sup>26</sup>	-	-	3454	6,27
Agua	-	-	659	1,20
Vapor	-	-	2381	4,32
Calor	kcal	376.600	1576	2,86
Electricidad	Kw.h	137,75	496	0,90
Pérdidas	-	133.000	556	1,01
Tratamiento efluentes	-	-	113	0,21
<b>Subtotal</b>			<b>9235</b>	<b>16,76</b>
<b>TOTAL</b>			<b>16186</b>	<b>29,38</b>
Salidas al sistema				
CVB	Unidad	Cantidad	Energía total (MJ/ha)	Energía por unidad de biodiesel producido (MJ/l)
Rendimiento grano	kg	1500		
Tenor de aceite	%	47		
Eficiencia de extracción	%	85		
Eficiencia de conversión	%	92		
Rendimiento en biodiesel	l	551 <sup>27</sup>	18348	33,3
Rendimiento en torta <sup>28</sup>	kg	720	4752	6,6
Residuos (descascarado)	kg	75	150	2
Glicerina	Kg	49	159	0,3
<b>TOTAL</b>			<b>23409</b>	<b>42,5</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

<sup>24</sup> Energía fósil usada en la producción del componente por hectárea, calculada por la autora en base a múltiple bibliografía.

<sup>25</sup> Extracción aceite, Desgomado, Neutralizado, Refinado, Transesterificación, Purificación.

<sup>26</sup> Solvente, Tierras de refinado, Alcohol, Catalizador, otros insumos.

<sup>27</sup> Biodiesel: PCN = 33.3 MJ/l; PCB = 35.7 MJ/l. Según Teixeira (Com. Pers, 2006) los valores de PCB Biodiesel y PCN Biodiesel son 40.6 y 37.0, respectivamente y el PCB de la glicerina bruta es 3.24 MJ/l.

<sup>28</sup> Cada 100 kg de frutos de ricino se obtienen en promedio 47 kg de aceite y 48 kg de harina y torta con un alto tenor de proteínas (32 a 40%).

Cuadro 23.

## ANÁLISIS DE COSTOS

Salidas del sistema					
CVB	Unidad	Precio por unidad (US\$)	Cantidad	Valor (US\$)	US\$/l
<b>1) Insumos</b>					
Semilla	kg	0,72	5	3,6	0,007
Herbicida	l/ha	2,32	2	4,64	0,008
Insecticida	l/ha	5,5	1	5,5	0,010
Encalado	kg	0,098	800	78,4	0,142
Fertilizante N	Kg	0,397	100	39,7	0,072
Fertilizante P- K	Kg	0,336	80	26,88	0,049
Bolsas	kg	4,2	5	21	0,038
Transporte	km	0,17	30	5,1	0,009
<b>Subtotal</b>				<b>184,82</b>	<b>0,335</b>
<b>2) Operaciones mecanizadas</b>					
Arada con cincel	ha	19	1	19	0,034
Vibrocultivador	ha	14	1	14	0,025
Fertilización	ha	6	2	12	0,022
Aplicaciones	ha	4,5	3	13,5	0,025
<b>Subtotal</b>				<b>58,5</b>	<b>0,106</b>
<b>3) Operaciones manuales</b>					
Siembra manual	jornada <sup>29</sup>	7,44	3	37,2	0,0675
Carpidas	jornada	7,44	6	37,2	0,0675
<b>Subtotal</b>				<b>74,4</b>	<b>0,14</b>
<b>4) Cosecha</b>					
Cosecha manual	Jornada	7,44	18	37,2	0,0675
<b>Subtotal</b>				<b>37,2</b>	<b>0,0675</b>
<b>5) Acondicionamiento y transporte</b>					
Secado en el predio	jornada	7,44	6	44,64	0,081
Trilla manual	jornada	7,44	6	44,64	0,081
Embolsado	jornada	7,44	1	7,44	0,014
Flete	US\$/km	0,15	30	4,5	0,008
<b>Subtotal</b>				<b>101,22</b>	<b>0,184</b>
<b>6) Proceso Industrial</b>					
Extracción <sup>30</sup>	US\$/l	0,011	613	6,743	0,0122
Refinación	US\$/l	0,004	563	2,252	0,0041
Transesterificación	US\$/l	0,006	551	3,306	0,0060
Insumos <sup>31</sup>	US\$/l	0,028	-	0,028	0,0001
Electricidad	US\$/kw	0,83	97,75	81,1325	0,1472
<b>Subtotal</b>				<b>93,462</b>	<b>0,170</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>				<b>549,60</b>	<b>0,997</b>
<b>Entradas al sistema</b>					
CVB	Unidad	Precio por unidad (US\$)	Cantidad	Valor (US\$)	US\$/l
Biodiesel	l/ha	1	551	551	1
Quema residuo para energía térmica	kg	0,043	75	3,23	0,006
Torta <sup>32</sup>	US\$/kg	0,130	720	93,6	0,170
Glicerina bruta	US\$/kg	0,060	49	2,94	0,005
<b>TOTAL INGRESOS</b>				<b>650,77</b>	<b>1,181</b>

Fuente: Elaborado por la autora.

<sup>29</sup> Peón jornalero (diario) tomado del Boletín de Precios de DIEA julio 2006 www.mgap.gub.uy<sup>30</sup> Comprende descascarado e incluye agua, calor y vapor para los tres procesos.<sup>31</sup> Solvente (hexano), Tierras de refinado, Alcohol metílico, Catalizador (Na OH), otros insumos (Ac. Fosfórico, etc.).<sup>32</sup> "Associando a propriedade nematicida ao seu elevado teor de nitrogênio, o preço da torta de mamona tem crescido sistematicamente, já alcançando a marca dos R\$ 300,00 à tonelada no Nordeste e R\$ 500,00 no Sul e Centro Sul." (Expedito Jose Parente, <http://www.jornaldaciencia.org.br>)

## ■ 9.7.5 Evaluación de resultados según Categoría de Impacto

### 9.7.5.1 Evaluación de la Categoría de Impacto Energía

**Re:** Rendimiento energético de la producción del biocombustible; es el cociente entre la energía total del biocombustible y los coproductos y la energía fósil total suministrada al sistema de producción.

Un valor de rendimiento energético superior a 1 indica que se obtiene más energía en la combustión del biocombustible y la utilización de coproductos, que la que fue empleada en su producción.

$$\text{Re: } 42,5 / 29,4 = 1,45$$

El rendimiento energético alcanzado muestra que el biodiesel de ricino libera un 45% más de la energía que consume su producción.

Esto está indicando que, desde el punto de vista energético, la producción de biodiesel a partir de *Ricinus communis L.* en Uruguay aparece como positiva.

Gran parte del resultado energético positivo recae en la utilización de la torta como fertilizante, por lo que sería conveniente realizar un análisis energético de los coproductos utilizando el "método del reemplazo". Por este método se podrá determinar el grado de sustitución de fertilizantes sintéticos (muchos de ellos de origen fósil) que es capaz de alcanzar la utilización de torta de ricino.

Por otro lado, dos faltantes importantes en el análisis anterior son los procesos de detoxificación de la torta y purificación de la glicerina, que, en el caso de ser realizados, agregarían valor a los coproductos, al aumentar la diversidad de

destinos, ya que la torta detoxificada puede ser utilizada en alimentación animal y la glicerina en variados usos industriales.

Asimismo y como fue indicado en las fronteras del sistema, no se incorporaron al balance energético la energía utilizada en la construcción de instalaciones y maquinaria, por carecer de información fidedigna y propia del país.

Se debe complementar este análisis con investigación nacional y ensayos a campo para determinar la sustentabilidad ambiental del cultivo y sus reales posibilidades de ser incorporado a los sistemas agroindustriales de Uruguay.

### 9.7.5.2 Evaluación de la Categoría de Impacto Costos

**Ie:** Es el cociente entre egresos originados por la fabricación del biocombustible y el total de ingresos por la venta de los coproductos y del biocombustible.

Un valor de Ie menor a 1 indica que la producción del biocombustible es económicamente competitiva pero no indica cuál es su rentabilidad ni su competitividad frente al combustible fósil.

**Ic:** Es el cociente entre el total de costos de producción de una unidad de superficie agrícola (incluido el proceso industrial) y el volumen de biodiesel producido por unidad de superficie. Se lo compara con el precio de mercado del combustible fósil reemplazado.

$$\cdot \text{Ie: } 549,6 / 650,1 = 0,845$$

$$\cdot \text{Ic: } 549,6 / 551 = 0,997$$

$$\cdot \text{Margen Bruto} = \text{US\$ } 650,8 - \text{US\$ } 549,6 = \text{US\$ } 101,2$$

$$\cdot \text{Precio del gasoil (con impuestos)} = 0,94^{33}$$

<sup>33</sup> Tipo de cambio: \$U 23,45/US\$



Desde un punto de vista práctico se puede decir, que la producción de biodiesel a partir de *Ricinus communis L.* se encuentra cercana al punto de equilibrio económico. El precio del bien sustituido (con carga impositiva) resulta menor que el costo de producción del biodiesel. Nuevamente, en este balance se observa que el beneficio económico recae en la comercialización de los coproductos.

Por otro lado, teniendo en cuenta el precio internacional del aceite de ricino, que oscila en los US\$ 900/t y la diversidad de destinos del mismo, se debería investigar si no resulta más conveniente la introducción del cultivo a los sistemas agroindustriales con ese objetivo, el de la producción de aceite, ya que la comercialización del biodiesel al precio del gasoil requeriría de exoneraciones impositivas totales y de un subsidio a la producción agrícola e industrial. Esta situación podría extenderse en el tiempo, hasta tanto el precio de los combustibles fósiles no incline los resultados a favor de la producción de biocombustibles a partir de materias primas no convencionales. En esta línea, una ventaja comparativa del biodiesel de ricino podría estar ubicada en la calidad de aceite industrial de su materia prima, que no compite con los aceites alimentarios tradicionales.

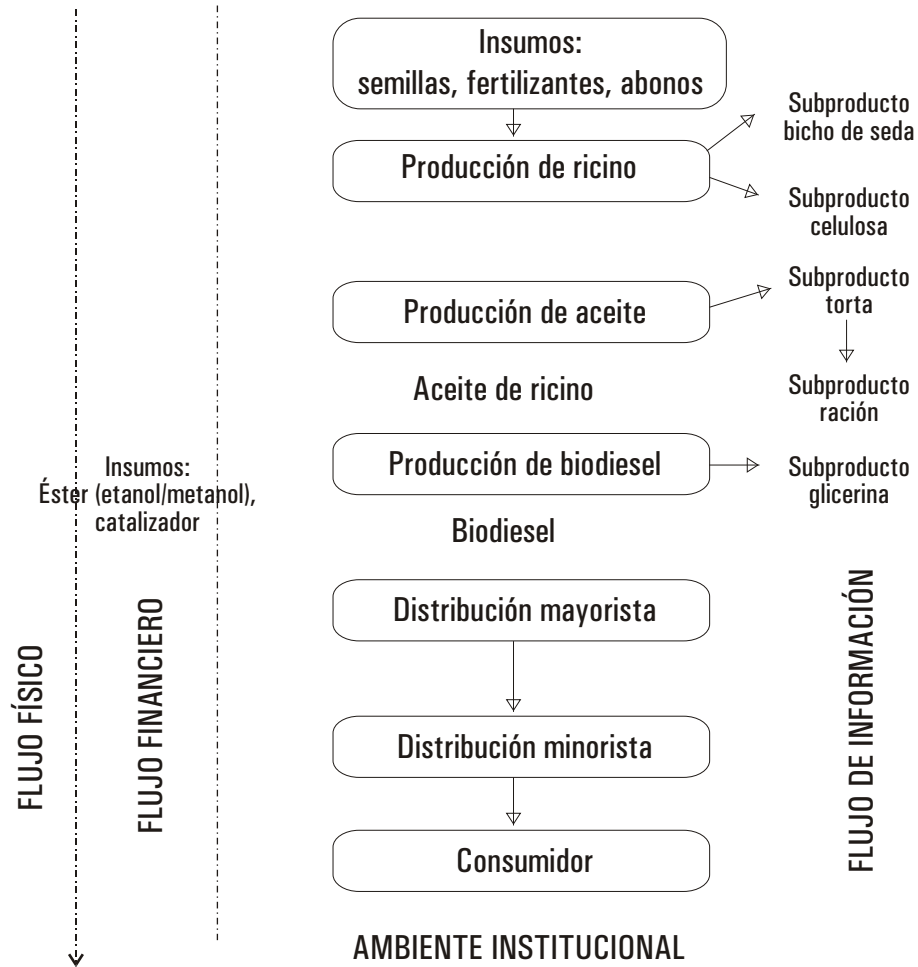
Por último, debería realizarse un análisis de costos más exhaustivo cuando se disponga de resultados de investigación, revisando los costos de producción agrícola en base al diseño de otras rutas tecnológicas, ya que el peso de esta fase asciende al 33% de los costos totales de

producción. Lo mismo para la fase industrial, que implica el 17% de los costos totales.

Otro factor a tener en cuenta es el transporte. En el diseño de la ruta tecnológica se mencionó que se trataría de chacras de 50has ubicadas en el entorno de Tacuarembó, por sus características edafoclimáticas. Esto hace que el flete promedio se encuentre en un radio de los 30 km. Se debería investigar el comportamiento del análisis de costos si las distancias al suministro de insumos y a la planta industrial superan esta cifra.

#### **9.7.5.3 Evaluación de la Categoría De Impacto Empleo**

Se calcula un mínimo de 30 jornadas por hectárea, lo que indica que se trata de un cultivo que concentra gran cantidad de mano de obra, especialmente, en la ruta tecnológica diseñada donde se contemplan una importante participación de labores manuales. Tanto las carpidas como la cosecha pueden ser sustituidas por operaciones mecanizadas (aplicación de herbicida, cosecha mecanizada), lo que implicaría la realización de nuevos balances por la incorporación de nuevas entradas de energía y costos operativos. La selección de la ruta tecnológica que involucra mano de obra es, en definitiva, un desafío para la toma de decisiones, desde el punto de vista social y va a depender, no sólo de los balances energéticos y económicos, sino de la sustentabilidad ambiental y de los objetivos en que se enmarque un programa de fomento de este cultivo.



**Figura 10.**

**Flujograma de la Cadena Productiva de Biodiesel de Ricino de Ceará, Brasil**

Fuente: ARRUDA, J.B.F. e MENDES, R. Diagnóstico Logístico de la Cadena Productiva de Biodiesel de Ricino (CP/BDMA); El caso de Ceará.

## 9.8. AGREGACIÓN DE LOS RESULTADOS PARCIALES

Se acepta la recomendación de la Norma ISO 14042 de no elaborar esta etapa hasta que los resultados del estudio sean publicados (Lussis, 2005).

## 9.9. TOMA DE DECISIONES

La secuencia lógica de los balances, en primer lugar el balance energético y luego el análisis de costos permite definir con claridad si la materia prima en estudio amerita una mayor investigación, e incluso la perspectiva de su incorporación a los sistemas agroindustriales. Si el balance energético hubiese resultado negativo, la toma de decisión es fácil: no es conveniente persistir en su investigación, ya que una materia prima que insume en su producción más energía que la que libera en su utilización, no es sustentable.

El balance energético positivo indica que el *Ricinus communis*, en la ruta tecnológica seleccionada, es una materia prima plausible de ser investigada en profundidad en Uruguay.

Por otro lado, es importante destacar que los avances en la innovación tecnológica pueden ser un factor determinante en la evolución de las líneas de investigación. Las rutas tecnológicas pueden ser sumamente diferentes y con ellas, los resultados de investigación. Esta consideración se constituye en una de las fronteras del sistema de futuras investigaciones. Con respecto al siguiente paso, el balance económico, la toma de decisión no aparece tan clara. El análisis de costos teórico sugiere que los mayores

beneficios recaen en la comercialización de coproductos, lo cual le otorga un grado de vulnerabilidad económica importante al cultivo de *Ricinus communis*.

El balance económico indica que la investigación debería incursionar en el mejoramiento e innovación de sistemas de producción y rutas tecnológicas originales y novedosas.

Con respecto al balance de GEI, al ser siempre positivo para los biocombustibles, resulta una herramienta útil si los dos balances anteriores resultan positivos, como una forma de corroborar su impacto ambiental y su sustentabilidad.

En cuanto a la generación de empleo directo, el cultivo de *Ricinus communis* genera, para Uruguay y en la ruta tecnológica seleccionada, un importante número de jornadas laborales, aplicables a pequeños predios y a un régimen de agricultura familiar.

En este punto en particular, es claro que la decisión será resultado de la definición de los objetivos de las políticas agroindustriales; ¿se trata de diversificar la matriz energética?, ¿se trata de reactivar la economía y generar empleo en zonas deprimidas?, ¿se trata de disminuir la dependencia de combustibles fósiles o de minimizar los efectos de la emisión de GEI? La respuesta a estas preguntas va a determinar lineamientos políticos tan importantes como la necesidad de subsidios a la producción, la inversión en investigación, e incluso la determinación de los requerimientos legales del fomento o la contención de la producción de biodiesel a partir de *Ricinus communis*.

## 9.10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALENCAR DE FREITAS, L.A. e Ferreira Nobre Júnior, E. 2004. Logística de distribuição do biodiesel da mamona: Prováveis canais de distribuição e a integração dos prestadores de serviços logísticos. XI SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 08 a 10 de novembro de 2004.
2. ALVAREZ MONTES DE OCA, D.M.; De La Fuente, J.L.; Villarrubia Montes de Oca, O. L. et al. 1996. Actividad biológica de *Ricinus communis* sobre mosca doméstica (*Musca domestica*). Rev Cubana Med Trop, sep.-dic. 1996, vol.48, no.3, pp.192-194. ISSN 0375-0760.
3. AMORIM NETO, M. da S.; Araújo, A.E. de; Beltrão, N.E. de M. 2001. Clima e Solo. *In*: Azevedo, D.M.P. de; Lima, E.F. 2004. O agronegócio da mamona no Brasil. Embrapa Algodão. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica p. 63-76.
4. AMORIM NETO, M. da S.; Beltrão, N.E. de M.; Silva, L.C.; de Araújo, A.E. e Gomes, D.C. 1999. Zoneamento e época de plantio para mamona no Estado da Bahia. Campina Grande: Embrapa-CNPA, Circular Técnica, 103, 9p.
5. ANÓNIMO. Ricina. Referencia web: <http://www.iqb.es/monografia/toxinas/ricina.htm> (nov. 2006).
6. ARAÚJO, A.E. de; Amorim Neto, M. da S. e Beltrão, N.E. de M. 2000. Municípios aptos e épocas de plantio para o cultivo da mamona no Estado da Paraíba. Revista de Oleaginosas e Fibrosas, v.4, n.2, pp.103- 110.
7. ARAÚJO, A.E. de e Beltrão, N.E. de M. 2001. Ricinocultura: uma oportunidade agrícola para o aproveitamento da oferta ambiental em municípios do Estado do Piauí, Brasil. *In*: Simpósio Brasileiro de Captação de Águas de Chuvas, 3., Campina Grande, PB, 2001. Anais. (CD-Rom).
8. ARRUDA, S.C. e Deslandes, J. 1940. A murcha da mamona do Nordeste. O Biológico, v. 6., n. 6. pp.144-148.
9. ARRUDA, S.C. e Gonçalves, R.D. 1937. A "murcha" uma nova doença da mamona em São Paulo. O Biológico, v. 3, pp.232-235.
10. ASSIS CASTRO, R.; Mendes-Costa, M.C.; Fonseca Castro, H.; Castro Neto, P.; Fraga, A.C.; Guimarães, I. e Guimarães Neves, N. 2005. Avaliação biológica do óleo fixo e de extratos de *Ricinus communis* L. em *Fusarium* sp. Resumo: II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Varginha, MG.
11. AZEVEDO, D.M.P. de; Beltrão, N.E. de M.; Batista, F.A.S. e Lima, E.F. 1997a. Arranjo de fileiras no consórcio mamona /milho. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, Boletim de Pesquisa, 34, 21p.
12. AZEVEDO, D.M.P. de; Lima, E.F.; Batista, F.A.S.; Beltrão, N.E. de M.; Vieira, D.J.V.; Nobrega, L.B. da N.; Dantas, E.S.B. e Araújo, J.D. de. 1997b. Período crítico de competição dentre plantas daninhas e a mamona. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1997. 6p. (EMBRAPA-CNPA. Comunicado Técnico, 44).
13. AZEVEDO, D.M.P. de; Lima, E.F.; Batista, F.A.S.; Beltrão, N.E. de M.; Soares, J.J.; Vieira, R. de M.; Moreira, J. 1997c. Recomendações técnicas para o cultivo da mamona (*Ricinus communis*

- L.) no nordeste do Brasil. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, Circular Técnica, 25. 1997. 52p.
14. AZEVEDO, D.M.P. de; Beltrão, N.E. de M.; Vieira, D.J. e Nobrega, L.B. da. 1999. Manejo Cultural. *In*: BELTRÃO, N. E. de M. Org. O Agronegócio do Algodão no Brasil, Brasília: EMBRAPA-CTT/EMBRAPA-CNPA. v.2 pp.511-551.
  15. AZEVEDO, D.M.P. de e Lima, E.F. 2001. O agronegócio da mamona no Brasil. EMBRAPA Algodão. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001.
  16. AZEVEDO, D.M.P. de; Silva, L.C. e de Souza Gondim, T.M. 2003. Clima e Solo. *In*: Cultivo da mamona. Sistemas de Produção, 4 ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica, Jan/2003.p
  17. BAHIA. 1995. Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração. (Salvador, BA). Diagnósticos e oportunidades de investimento mamona. Salvador: CICM/SEBRAE, 1995. v.5, 63p.
  18. BALDANZI, M. and Pugliesi, C. 1998. Selection for non-branching in castor, *Ricinus communis* L. Plant Breeding; 117:392-394.
  19. BANZATTO, N.V. e Rocha, J.L.V. 1969. Genética e melhoramento da mamona. *In*: Melhoramento e genética. São Paulo, Ed. Melhoramentos. Univ. de São Paulo. 1969. pp.102-13.
  20. BARBOSA DO NASCIMENTO, J.W.; Da Silva, A.R.; Diniz, M.J. e Azevedo, M.A.de. 2004. Caracterização da mamona (*Ricinus communis* L.) para o projeto de silos. *In*: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais do CONBEA 2004. pp. 712-714.
  21. BARBOSA DOS ANJOS, J. e Drumond, M.A. 2004. Adaptação de semeadora manual para plantio direto de mamona. *In*: I Congresso Brasileiro de mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de mamonas do Brasil.
  22. BARBOSA E LIMA, C.; Vasconcelos dos Santos Filho, S.; Oliveira, M. de e Dos Santos, M.A. 2004. Crescimento da mamona em três solos da região de Mossoró-RN sob diferentes teores de salinidade da água de irrigação. *In*: I Congresso Brasileiro de mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de mamonas do Brasil.
  23. BARBOSA FERREIRA, G.; Martins Santos, A.C.; Monteiro Xavier, R.; Macedo Ferreira, M.M.; Soares Severino, L.; Beltrão, N.E. de M.; Pires Dantas, J. e de Almeida Moraes, C.R. 2004. Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus Communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura *In*: I Congresso Brasileiro de mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004 Associação Brasileira dos Plantadores de mamonas do Brasil.
  24. BARRETO DE MEDEIROS NÓBREGA, M. e Azevedo, D.M.P. de. 2003. Plantio. *In*: Cultivo da mamona. Sistemas de Produção; 4 ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica, Jan/2003.
  25. BARRETO DE MEDEIROS NÓBREGA, M.; Curvelo Freire, E.; Vilela Dourado, V.; Pedrosa de Azevedo, D.M. e Milani, M. 2003. Cultivares. *In*: Cultivo da mamona. Sistemas de Produção; 4 ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica, Jan/2003.
  26. BARRETO, A. 2004. Quantificação de água necessária para a ricino irrigada com base nas constantes hídricas do

- solo. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Ricinos do Brasil.
27. BATISTA, F.A.S.; Lima, E.F. e Azevedo, D.M.P. 1995. Levantamento fitossanitário da mamona (*Ricinus communis* L.) no Nordeste brasileiro. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1995. 2p. (EMBRAPA-CNPA. Pesquisa em Andamento, 20).
28. BATISTA, F.A.S.; Lima, E.F.; Soares, J.J.; Azevedo, D.M.P. de. 1996. Doenças e pragas da mamona *Ricinus communis* L. e seu controle. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA. 53p. (EMBRAPA, CNPA. Circular Técnica, 21).
29. BELDARES, S.; Oranday, Y.; Cárdenas, A. y otros. 2003. Fracciones con actividad antimicrobiana de los extractos de *Jatropha dioica*, *Ricinus communis* y *Schinus molle*. *In*: VII Foro Delegacional de Investigación en Salud del IMSS en Nuevo León. México. RESPYN. Edición Especial No.2
30. BELTRÃO, N.E. de M. *et al.* 2001. Fitologia. *In*: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. 2001. O agronegócio da mamona no Brasil. Campina Grande, PB: EMBRAPA Algodão; Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. p.37-61.
31. BELTRÃO, N.E. de M. 2003 Adubação. *In*: Cultivo da mamona. Sistemas de Produção; 4 ISSN 1678-8710. Versão Eletrônica, Jan/2003.
32. BELTRÃO, N.E. de M.; Gomes de Souza, J.; dos Santos, J.W.; Xavier Costa, F.; Amador, A.M. e Cardoso de Queiroz, U. 2003. Modificações na Bioquímica da planta da mamona, Cultivar BRS 188 Paraguaçu, submetida ao estresse hídrico (deficiência e excesso). Rev. Bras. Ol. Fibros., Campina Grande; v.7, n.1, pp.653-658, jan-abr. 2003.
33. BELTRÃO, N.E. de M. e Silva, L.C. 1999. Os múltiplos usos do aceite da mamona (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. Fibras e Aceites; n.31, p.7.
34. BELTRÃO, N.E. de M.; Silva, L.C. e Melo, F.B. 2002. Mamona consorciada com feijão visando produção de biodiesel, emprego e renda. Bahia Agrícola; v.5, pp.34-37.
35. BELTRÃO, N.E. de M.; Souza, T.M.; Cardozo, G.D. e Silva, L.C. 2004. Comparativo entre sistemas de cultivo de mamona: mudas vs. Sementes. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Ricinos do Brasil.
36. BELTRÃO, N.E. de M.; Silva, L.C.; Vasconcelos, O.L.; Azevedo, D.M.P. De e Vieira, D.J. 2001. Fitologia. *In*: Azevedo, D.M. P.; Lima, E.L. (Ed.). 2001. O agronegócio da mamona no Brasil, Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. p.37-61.
37. BERNARDI, J.A.; Peche Filho, A.; Gonzales Maziero, J. V.; Loureiro Lino, A.C.; Duarte Coelho, J. L.; Pedini, S. e Hiroaki Kurachi, S.A. 1994. Determinação das suas características físicas de Fertilizantes orgânicos e organominerais. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 23, 1994, Campinas. Programa e resumos. Campinas: [s.n.]
38. BRITO M.F. e Tokarnia, C.H. 1996. Intoxicação experimental pelas sementes trituradas de *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) em coelhos. Pesquisa Veterinária Brasileira 16 (04):00-00. Projeto Saúde Animal EMBRAPA/UFRRJ.

39. B E Z E R R A , E . L . 2 0 0 4 . Evapotranspiração na cultura da mamona. Dissertação para o título de Mestre em Agricultura Tropical. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade Federal de Mato Grosso.
40. BRIGHAM, R.D. 1993. Castor: Return of an old crop. p. 380-383. *In*: J. Janick and J.E. Simon (eds.) 1993, New crops. Wiley, New York.
41. BROWNING, J. 1991. Outlook for U.S. castor production is positive. *Inform* 2:700-701.
42. CANECCHIO FILHO, V. 1968/69. Mamona: quanto mais calor melhor. *Guia Rural*. p.176-179.
43. CANECCHIO FILHO, V. e Freire, E.S. 1958. Adubação da mamona. I: Experiências preliminares. *Bragantia*; v.17, pp.243-259.
44. CANECCHIO FILHO, V.; Rocha, J.L.V. e Freire, E.S. 1963a. Adubação da mamona. III: Experiências com doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio. *Bragantia*; v.22, pp.765-775.
45. CANECCHIO FILHO, V.; Rocha, J.L.V. e Freire, E.S. 1963b. Sobre a colheita da mamona. *Bragantia*; v.22, pp.77-79.
46. C A S T O R C R O P I N F O & R E S O U R C E S. Referencia Web: [www.CastorOil.in](http://www.CastorOil.in) (nov.2006).
47. CÉSAR DE VASONCELOS, M. A. 1990. Informações sobre o cultivo da mamona (*Ricinus communis L.*). Fortaleza, 1990. 19 p. Ilust. EMATERCE (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará), Informações Técnicas 29.
48. COELHO, J.L.D. 1994. Descascador portátil de mamona (*Ricinus communis L.*) Desempenho Operacional. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 23, 1994, Campinas. Programa e resumos. Campinas: [s.n.], 1994. p.76
49. COELHO, I. 1979. Avaliação das exportações tradicionais baianas: caso de sisal e mamona. Salvador, UFB, 174p. (Tese de Mestrado).
50. CONCEIÇÃO, A.J. da. 1967. A mamoneira. Salvador: Fundação Comissão de Planejamento Econômico do Estado da Bahia, s.d. 49p.
51. COOK, A.A. 1955. Charcoal rot of Castor bean in the United States. *Plant Disease Reporter*; v. 25, pp.233-235.
52. CURI, S. e Holanda Campelo Júnior, J. 2004. Evapotranspiração e Coeficientes de Cultura da Mamona (*Ricinus Communis L.*), em Santo Antônio do Leverger-MT. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Ricinos do Brasil.
53. DAI, Z.; Edwards, G.E. and Ku, M.S.B. 1992. Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis L.* (Castor bean) by leaf to air vapor pressure deficit. *Plant Physiology*; v.99, pp.1426-1434. S6312.
54. DE OLIVEIRA, D.; Di Luccio, M.; Faccio, Cl.; Dalla Rosa, C.; Bender, J.; Lipke, N.; Menoncin, S.; Amroginski, C. and de Oliveira, V. 2004. Optimization of Biodiesel Enzymatic Production from Castor Oil in Organic Solvent Medium. *Appl Biochem Biotechnol*. Spring;113-116:771-80.
55. DEL PUERTO, O. y Vidal, A. 1982. Ensayo tentativo sobre cultivo de ricino. 5ª Jornada Técnica de Facultad de Agronomía, UdelaR. 25 y 26 de noviembre de 1982. Montevideo, Uruguay

56. DRUMMOND, O.A. e Coelho, S.J. 1981. Doenças da mamona. Informe Agropecuário, Belo Horizonte; v.7, n. 82, pp. 38-43.
57. EL-GAMASSY, A.; El-Gamassy, K. and Naguib, N. 1987. Effect of two growth retardants under different conditions of water supply on growth, seed & oil yields of *Ricinus communis*. [http://www.actahort.org/books/208/208\\_18.htm](http://www.actahort.org/books/208/208_18.htm). Acta Hort. (ISHS) 208:165-172. (Nov. 2006)
58. EMATERCE. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará. 1990. Informações sobre o cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) por Marco Aurélio César de Vasconcelos, Fortaleza, 19p. ilustr. (EMATERCE, Informações Técnicas 29).
59. EMPAER-MT. 1999. Diretrizes técnicas para o cultivo da mamona no Vale do São Lourenço. Cuiabá. 48p. (EMPAER-MT. Diretrizes Técnicas - 8).
60. EVANGELISTA, A.R.; Lopes, J.; Abreu, J.G.; Neto, P.C. e Fraga, A.C. 2004. Composição química de tortas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.) - extração de óleo a frio. Resumo: 1º Congresso de Plantas Oleaginosas, Óleos vegetais e Biodiesel. Varginha-MG.
61. FARIAS CAVALCANTI, M.L.; Dantas Fernandes, P.; Raj Gheyi, H.; Barros Júnior, G.; Torres Carneiro, P.; Cavalcanti de Oliveira, J.M. e Beltrão N.E. de M. 2004a. Índices de crescimento da mamona sob efeito salino no início da fase vegetativa. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
62. FARIAS CAVALCANTI, M.L.; Barros Júnior, G.; Torres Carneiro, P.; Dantas Fernandes, P.; Raj Gheyi, H. e Silva Cavalcanti, R. 2004b. Crescimento inicial da mamona submetido à salinidade da água de irrigação. Revista de Biologia e Ciências da Terra. ISSN 1519-5228. V, 4. Número 1 - 1º Semestre 2004.
63. FARIAS CAVALCANTI, M.L.; Dantas Fernandes, P.; Raj Gheyi, H.; Beltrão N.E. de Barros Júnior G. e Da Cunha Siqueira, E. 2004c. Germinação e fitomassa da mamona BRS 149 irrigada com águas salinas. *In*: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais do CONBEA 2004. pp. 1531-1534.
64. FARIAS CAVALCANTI, M.L.; Dantas Fernandes, P.; Raj Gheyi, H.; Beltrão, N.E. de Barros Júnior, G.; Loureiro Soares, F.A. e Tavares Gurgel, M. 2004d. Índices de crescimento da mamona BRS 149 irrigada com águas salinas. *In*: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais do CONBEA 2004. pp. 1457-1460.
65. FARIAS DE SOUSA, R.; Dantas Motta, J.; Nóbrega Gonzaga, E. da; Fernandes, M.F. e dos Santos, M.J. 2004. Aptidão agrícola do assentamento Venâncio Tomé de Araújo para a cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). Revista de Biologia e Ciências da Terra. ISSN 1519-5228. Volume 4, Número 1, 1º Semestre 2004.
66. FERREIRA DA SILVA, A. 2005. Cultivo da mamona. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico. CDT/UnB. Referência web: <http://www.cdt.unb.br> (nov 2006).
67. FERREIRA DOS SANTOS, R. e LEMOS BARROS, M.A. 2003. Cultivo da mamona. EMBRAPA Algodão. Sistemas de Produção, 4 ISSN 1678-8710. Versão Eletrônica. Jan/2003. [Http://sistemasdeproducao](http://sistemasdeproducao).



- cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona/index.htm (nov. 2006)
68. FREIESLEBEN, C. 2000. Direto da cozinha para o tanque. Rede Assobens News, n. 124, p. 10-12.
  69. FREIRE, E.C.; Lima, E.F.; Silva, L.C. da Dourado, R.M.F.; Andrade, F.P. de e Silva, G.A. da. 2002. BRS -188 Paraguaçu. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2002. 4p. Folder.
  70. FREIRE, R.M.M. 2001. Ricinoquímica. *In*: AZEVEDO, D.M. de P.; Lima, E.L. (Ed.). 2001. O agronegócio da mamona no Brasil, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.295-335.
  71. GAMA de MACÊDO, M.H. 2004. CONAB. Referência web: [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/mamona\\_perspectiva\\_do\\_mercado\\_safr\\_2004\\_2005.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/mamona_perspectiva_do_mercado_safr_2004_2005.pdf) (nov. 2006).
  72. HEMERLY, F.X. 1981. Mamona: comportamento e tendências no Brasil. EMBRAPA-DTC. Documentos, 2. Brasília: EMBRAPA -BID. 69p.
  73. HOCKING, P.J. 1982. Accumulation and distribution of nutrients in fruits of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Annals of Botany*, v.49, pp.51-62.
  74. IAC. 1998. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Cultura da mamona. Boletim 200, 6º edição. Instituto Agronômico Campinas (SP), Janeiro 1998.
  75. IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br/> (Nov. 2006).
  76. JARRY, A. 1962. Le décapsulage du ricin. *Oleagineux*; v.17, n.11, pp. 849 - 852, nov. 1962.
  77. KHAN, M.I. 1973. Topping effect in castor crop. *Journal Agricultural Research*; v. 11, n.4, pp.1-8.
  78. KIMATI, H. 1980. Doenças da mamona. *In*: GALLI, F. Manual de Fitopatologia. 2. ed. São Paulo: Agronomica Ceres. Pp.347-351. v. 2.
  79. KITTOCK, D.L. and Williams, J.H. 1970. Effect of plant population on castorbean yield. *Agronomy Journal* 62:527-529.
  80. KITTOCK, D.L. and. Williams, J.H. 1967. Castorbean production as related to length of growing season. I. Effect of date of plant desiccation. *Agronomy Journal* 59:438-440.
  81. LABALETTE, F. ; Estragnat, A. and Messéan, A. 1996. Development of castor bean production in France. pp. 340-342. *In*: J. Janick (ed.) 1996, Progress in new crops. ASHS Press, Alexandria, VA.
  82. LAGO, A.A. do; Zink, E.; Savy Filho, A; Teixeira, J.P.F. e Banzatto, N.V. 1985. Deterioração de sementes de mamona armazenadas com e sem casca. *Bragantia*, v.44, n.1, pp.17-25.
  83. LAMAS, F.M. 2001. Reguladores de crescimento. *In*: EMBRAPA. Agropecuário Oeste (Dourados, MS) Algodão: tecnologia de produção. Dourados; EMBRAPA Agropecuária Oeste / EMBRAPA - CNPA, 2001. pp. 238 - 244.
  84. LAVRES JUNIOR, J.; Marcelli Boaretto, R.; de Souza Silva, M.L.; Correia, D.; Pereira Cabral, C. e Malavolta, E. 2005. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamona Cultivar Íris. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.40, n.2, pp.145-151, fev. 2005.
  85. LIMA, E.F. e Soares, J.J. 1990. Resistência de cultivares de mamona

- ao mofo cinzento causado por *Botrytis ricini*. Fitopatologia brasileira; v. 15, n. 1, pp. 96-97.
86. LUCHIARI JUNIOR, A. 1974. Adubação NPK na cultura da mamona (*Ricinus communis* L.) em Latossol Roxo. Curso (Agronomia). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
87. MACEDO FERREIRA, M.M.; Barbosa Ferreira, G.; Martins Santos, A.C.; Monteiro Xavier, R.; Soares Severino, L.; Beltrão, N. E. de M.; Pires Dantas, J. e de Almeida Moraes, C.R. 2004. Deficiência de enxofre e micronutrientes na mamona (*Ricinus Communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
88. MACHADO RODRIGUES, M.; de Souza Schneider, R.; Martinelli, M.; Bastos Caramão, E.; Flores Ferrão, M.; de Oliveira, D. e de Oliveira, J. V. 2005. Caracterização do biodiesel de óleo de rícino produzido por biocatálise com enzima Lipozyme IM. Resumo: II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Varginha, MG.
89. MAG. 1991. Aspectos técnicos sobre cuarentena y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Dirección General del Investigación Agrícola, Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.
90. MARTINS SANTOS, A.C.; Barbosa Ferreira, G.; Monteiro Xavier, R.; Macedo Ferreira, M.M.; Soares Severino, L.; Beltrão, N.E. de M.; Pires Dantas, J. e de Almeida Moraes, C.R. 2004a. Deficiência de cálcio e magnésio na mamona (*Ricinus Communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
91. MARTINS SANTOS, A.; Barbosa Ferreira, G.; Monteiro Xavier, R.; Macedo Ferreira, M.M.; Soares Severino, L., Beltrão, N.E. de M.; Pires Dantas, J. e de Almeida Moraes, C.R. 2004b. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus Communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004 Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
92. MAZZANI, B. 1983. Euforbiáceas oleaginosas. Tártago. *In*: MAZZANI, B. 1983. Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas. Caracas, Venezuela: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. pp. 277-360.
93. MENDES DE ARAÚJO, J.; Cavalcanti Oliveira, J.M.; de Souza Gondim, T.M.; Silva, L.C.; Batista da Silva, M. e Nóbrega, M.B.M. 2003. Coeficientes técnicos. *In*: Cultivo da mamona. Sistemas de Produção; 4 ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica, Jan/2003.
94. MIALHE, L.G.; Rípoli, T.C. e Ometto, D.A. 2000. Estudo de um mecanismo descascador de mamona. [S.n.t.].
95. MOREIRA, J. de A.; Lima, E.F.; Farias, F.J.C. e de Azevedo, D.M.P. 1996. Melhoramento da mamona (*Ricinus communis* L.) Campina Grande: EMBRAPA Algodão. Boletim de Pesquisa, pp. 34. 29.
96. MOSHKALENKO, V.I. and Savin, V.D. 1986. Crop harvesting. *In*: Castor, pp. 258-266. Ed. Moshkin, V. A. New Delhi: Oxonian Press.

97. MOSHKIN, V.A. 1980. Castor. Kolos Publishers, Moscow (English translation by American Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, 1986).
98. MOURA PIRES, M. de; Miranda Alves, J.; de Almeida Neto, J.A.; Menezes Almeida, C.; Silva de Souza, G.; Serpa da Cruz, R.; Monteiro, R.; Sampaio Lopes, B. e Sobra, R. 2004. Biodiesel de mamona: uma avaliação econômica. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande Paraíba 24-26 novembro 2004 Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
99. NAKAGAWA, J.; Neptune, A.M.L. e Muraoka, T. 1982. Absorção e translocação de fósforo em dois cultivares de mamona (*Ricinus communis* L), "Campinas" e "Guarani". Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; v.39, pp.319-335.
100. NOLASCO, F. e Martins, V. 2000. Relatório técnico de pesquisa de mamona. Cuiabá-MT. 22 p. (FAPEMAT).
101. NUNES ALVES, A.; Siqueira e Silva, S.M.; Raj Gheyi, H.; Beltrão, N.E. de M.; Soares Severino, L.; Loureiro Soares, F.A. e Siqueira Santos, I. 2004a. Comportamento de três cultivares de mamona irrigada com águas salinas. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
102. NUNES ALVES, A.; Siqueira e Silva, S.M.; Raj Gheyi, H.; Beltrão, N.E. de M.; Soares Severino, L. e Loureiro Soares, F.A. 2004b. Crescimento inicial e desenvolvimento de três cultivares de mamona sob diferentes níveis salinos da água de irrigação *In*: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais do CONBEA. pp. 1597-1601.
103. OLIVEIRA, A.D.S de e Oliveira Mayorga, M.I. De. 2005. Análise da viabilidade ambiental, social e econômica do cultivo da mamona com vistas a produção de biodiesel: um estudo de caso.
104. OLIVEIRA, M.W. de; Gomes Martins, A.; Bezerra da Silva, J.A.; Predes Trindade, R.C.; Silva, E.T. da e Carvalho de Miranda E. 2004. Doses de corretivo e alterações químicas em dois solos. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
105. OPLINGER, E.S.; Oelke, E.A.; Kaminski, A.R.; Combs, S.M.; Doll, J.D. and Schuler, R.T. 1997. Castorbeans. Alternative Field Crops Manual, University of Wisconsin Cooperative Extension Service, University of Minnesota Extension Service, Center for Alternative Plant & Animal Products.
106. PAGOTTO, L.C. 1974. Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio pela mamona (*Ricinus communis* L.). Curso Agronomia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
107. PARENTE, E.J.S. 2003. Biodiesel. Uma Aventura tecnológica num País Engraçado, Ed. Unigráfica, Fortaleza.
108. PROGRAMA BRASILEIRO DE BIOCOMBUSTÍVEIS. Rede Brasileira de Biodiesel. PROBIODIESEL-CT-Brasil, Ministério de Ciência e Tecnologia.
109. PROGRAMA ESTADUAL DO BIODIESEL. 2004. O Agronegócio da Mamona. Governo de Sergipe.

- Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Sergipe. Edital FAP-SE/FUNTEC/MCT/CNPq Nº05/2003/Alteração No.01/2004.
110. PROGRAMA NACIONAL PARA EL FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE TÁRTAGO EN PARAGUAY. 2004. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Planificación (DGP).
111. RIBEIRO FILHO, J. 1966. Cultura da mamona. Viçosa: UFV, 75p.
112. ROBERTUS, J.D. 1991. The Structure and Action of Ricin, A Cytotoxic N-glycosidase. Seminar in Cell Biology 2: 23-30.
113. ROCHA, J.L.V.; Canecchio Filho, V. e Freire, E.S. 1964. Adubação da mamona. V: Experiência com vários fosfatos em solo do arenito Botucatu. Bragantia; v.23, pp.291-297.
114. ROETHELI, J.C.; Glaser, L.K. and Brigham, R.D. 1990. Castor: Assessing the feasibility of U.S. production. Workshop summary, Plainview, TX, Sept. 18-19, 1990. USDA/CSRS Office of Agr. Materials. Growing Ind. Material Ser.
115. ROJAS, A.I. e Neptune, A.M.L. 1971. Efeitos dos macronutrientes e do ferro no crescimento e composição química da mamona (*Ricinus communis* L.) cultivada em solução de nutrientes. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", v.28, pp.31-67.
116. SANTOS, R.F. dos.; Barros, A.L.; Marques, F.M.; Firmino, P. de T. e Requião, L.E.G. 2001. Análise Econômica. *In*: Azevedo, D.M.P. de.; Lima, E.F. (Eds.) 2001. O agronegócio da mamona no Brasil: EMBRAPA-SPI. pp.17-35.
117. SATHIYANATHAN, R. A. L.; Maruthamuthu, S.; Selvanayagam, M.; Mohanan, S. and Palaniswamy, N. 2005. Corrosion inhibition of mild steel by ethanolic extracts of *Ricinus communis* leaves. Indian Journal of Chemical Technology; Vol. 12, May 2005, pp. 356-360.
118. SAVY FILHO, A. 1998. Mamona. Tecnologia Agrícola. Instituto Agrônômico. Centro de Grãos e Fibras/Oleaginosas. Boletim 200.
119. SAVY FILHO, A.; Banzato, N.V. *et al.* 1999. Mamona. *In*: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. CATI. Documento Técnico, 107. Oleaginosas no Estado de São Paulo: análise e diagnóstico. Campinas. 39p.
120. SCHOENLEBER, L.G. 1961. Mechanization of castorbean harvesting. Oklahoma Agr. Expt. Sta. Bul. 591.
121. SILVA, A. da. 1983. Mamona: potencialidades agroindustriais do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE - ADR, 1983. 154p.
122. SILVA, C.C.M.; Pereira, G.A.; Moura, C.V.R. e Santos, J.R.J. 2004. Estudo da viscosidade de Biodiesel de *Ricinus communis* (mamona). Química Hoje. Revista dos Profissionais da Química. Nº 04. jul-set 2004. pp. 9-10.
123. SILVA, W.J. 1981. Aptidões climáticas para as culturas do girassol, mamona e do amendoim. Informe Agropecuário, v.7, n.82. pp. 24-28.
124. SILVA BELDARES, Y.; Oranday Cárdenas, A.; Verde Star, J.; Cruz Vega, D.E.; Rivas Morales C. y Carranza Rosales, P. 2003. Fracciones con actividad antimicrobiana de los extractos de *Jatropha dioica*, *Ricinus communis* y *Schinus molle*. VII Foro Delegacional de Investigación en

- Salud del IMSS en Nuevo León, México. RESPYN. Edición Especial N°2-2003.
125. SILVA LIMA, N.; Wolf Maciel, M.R. and Batistella, C.B. 2005. Optimization of Biodiesel Production from Castor Oil. *In*: Abstracts of 27th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals. May 1-4, 2005 Denver, Colorado. U.S. Department of Energy (DOE) Biomass Program.
126. SINGH D. 1986. Castor. *In*: Evolution of Crop Plants, pp. 84-86. Ed. Simmonds, N.W. Edinburgh: Longman Scientific & Technical.
127. SIQUEIRA E SILVA, S.M.; Nunes Alves, A.; Raj Gheyi, H.; Beltrão, N. E de M.; Soares Severino, L.; Loureiro Soares, F.A. e Siqueira Santos, I. 2004a. Componentes da produção em diferentes cultivares de mamona irrigada com água salina. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
128. SIQUEIRA E SILVA, S.M.; Nunes Alves, A.; Raj Gheyi, H.; Beltrão, N.E. de M.; Soares Severino, L.; Loureiro Soares, F.A. e Siqueira Santos, I. 2004b. Fitomassa da mamona irrigada com águas de diferentes salinidades. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
129. SIQUEIRA E SILVA, S.M.; Raj Gheyi, H.; Beltrão, N.E. de M.; Soares Severino, L.; Nunes Alves, A.; Loureiro Soares, F.A. 2004c. Germinação, vigor e crescimento inicial de cultivares de Mamona sob diferentes níveis salinos da água de irrigação. *In*: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais do CONBEA. pp.1187-1190.
130. SMIDERLE, O.J.; Nascimento Junior, A. do e Martell Mattioni, J.A. 2002. Indicações técnicas para o cultivo da mamoneira no estado de Roraima. Circular Técnica 04. Dezembro 2002. ISSN 0101 - 9813. Ministério da Agricultura, Pesquisa e Abastecimento. Boa Vista, RR.
131. SMIDERLE, O.J. e Nascimento Junior, A. do. 2002. Indicação de cultivares de mamona para cultivo em Roraima. Embrapa Roraima, Comunicado Técnico, 03. 5p.
132. SOARES SEVERINO, L.; Martins Santos, A.C.; Barbosa Ferreira, G.; Monteiro Xavier, R.; Macedo Ferreira, M.M.; Beltrão, N.E. de M.; Pires Dantas, J. e de Almeida Moraes, C.R. 2004. Adubação química da mamona com NPK, cálcio, magnésio e micronutrientes em Quixeramobim, CE. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
133. SOARES SEVERINO, L.; Martins Santos, A.C.; Barbosa Ferreira, G.; Monteiro Xavier, R.; Macedo Ferreira, M.M.; Beltrão, N.E. de M.; Pires Dantas, J. e de Almeida Moraes, C.R. 2004. Adubação química da mamona com NPK e micronutrientes em Assu, RN. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
134. STOKES, T. 2001. 'Castor plants' promising future. Trends in Plant Science 6:97.
135. SUDENE. 1989. Programa Nacional de Incentivos à Cultura da Mamona PROIMA. Recife, PE. 1989. 116p.

136. TAVARES SILVA, M.; Bordini do Amaral, J.A.; Beltrão, N.E. de M.; Andrade Gonçalves, W.; Soares de Andrade Júnior, A.; Gama da Silva, A.A. e Barros, A.H.C. 2005. Zoneamento de risco climático para a mamona no estado do Rio Grande do Norte. *In*: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, pp. 2369-2373.
137. TÁVORA, F.J.A. 1982. A cultura da mamona. Fortaleza, EPACE. 111p.
138. TECNOLOGÍAS BIOENERGÉTICAS Ltda. Tudo sobre biodiesel Referencia web: <http://www.tecbio.com.br/> (nov. 2006)
139. VASCONCELOS DOS SANTOS FILHO, S.; Barbosa e Lima, C.; Oliveira, M. de e dos Santos M.A. 2004. Absorção de nutrientes durante a fase vegetativa da mamona em três solos da região de Mossoró, RN sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *In*: I Congresso Brasileiro de Mamona. Campina Grande. Paraíba 24-26 novembro 2004. Associação Brasileira dos Plantadores de Mamonas do Brasil.
140. VASISHTHA, A.K.; Trivedi, R.K. and Das, G. 1990. Sebacic acid and 2-octanol from castor oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*; v.67,n.5,pp.333-337. S6301.
141. VIEIRA, R.M.; Lima, E.F.; Batista, F.A.S. 1997. Diagnóstico e perspectivas da mamona no Brasil. *In*: Reunião Temática Matérias-primas Oleaginosas no Brasil: Diagnóstico, Perspectivas e Prioridades de Pesquisa, Campina Grande. Anais. Campina Grande: EMBRAPA CNPA/MAA/ABIOVE, pp.139-150 (EMBRAPA-CNPA. Documentos, 63).
142. VITETTA, E.S. and Thorpe, P.E. 1991. Immunotoxins Containing Ricin or its A Chain. *Seminar in Cell Biology* 2: 47-58.
143. WEISS, E.A. 1971. Castor, sesame and safflower. London: Ed. Leonard Hill.
144. WEISS, E.A. 1983. Castor. *In*: Oilseed Crops, pp. 31-99. Ed. Wendel, J. New York: Longman Inc.
145. WILEY, R.G. and Oeltmann, T.N. 1991. Ricin and Related Plant Toxins: Mechanisms of Action and Neurobiological Applications. *In*: Handbook of Natural Toxins (Vol. 6). Edited by R.F. Keeler and A.T. Tu. Marcel Dekker, Inc., New York.
146. YAROSLAVSKAYA, P.N. 1986. Methods of growing castor. *In*: Castor, pp. 203-254. Ed. V. A. Moshkin. New Delhi: Oxonian Press.
147. YULDASHEVA, N.K.; Ulchenko, N.T. and Glushenkova, A.I. 2002. Lipids of *Ricinus communis* Seeds. *Chemistry of Natural Compounds*; Volume 38, Number 5, September 2002, pp. 413-415(3) Kluwer Academic Publishers.
148. ZIMMERMAN, L.H. 1957. The relationship of a dwarf-internode gene to several important agronomic characters in castorbeans. *Agronomy Journal*; v.49, pp. 251-254, 1957. S6314.
149. ZIMMERMAN, L.H. 1958. Castorbeans: a new oil crop for mechanized production. *Advances in Agronomy* 10:257-288

# ANEXOS

## ANEXO 1.

Modelo de Inventario de una CAIE para biodiesel de soja como fase primaria de un ECVB.

Procesos de la CAIE	Subprocesos, coproductos	Si	No	Otro	
Producción de grano de soja	Uso del suelo	✓			
	Renta de la tierra		✓		
	Producción de semilla		✓		
	Inoculación	✓			
	Maquinaria	Laboreo	✓		
		Siembra	Convencional		✓
			Directa	✓	
		Aplicación de agroquímicos	✓		
		Cosecha	✓		
	Acondicionamiento	✓			
	Mantenimiento, reparaciones	✓			
Personal, beneficios sociales, seguros, administración, etc.	✓				
Insumos agrícolas	Fungicidas	✓			
	Fertilizantes	✓			
	Herbicidas	✓			
	Insecticidas	✓			
	Combustible	✓			
	Fluidos, lubricantes, otros	✓			
	Transporte <sup>34</sup> de insumos al predio	Tipo de Transporte <sup>34</sup>	Granel		✓
Embolsado			✓		
Combustible		✓			
Personal		✓			
Tasas		✓			
Almacenamiento de insumos en el predio	Personal, instalaciones	✓			
Acondicionamiento del grano para Transporte <sup>34</sup>	Maquinaria, personal, administración	✓			
Transporte <sup>34</sup> del grano al molino	Tipo de Transporte <sup>34</sup>	Granel		✓	
		Embolsado			
	Combustible				
	Personal				
	Tasas				
Almacenamiento, secado, limpieza del grano en el molino	Instalaciones, personal, administración	✓		✓	
Extracción del aceite	Por solvente		✓		
	Por prensado	✓			
	Control de calidad, toma de muestras, ensayos	✓			
Procesamiento de coproductos	Elaboración de expeller, harinas y/o raciones para alimentación animal	✓			
Utilización de coproductos	Destino	Retorno al predio	✓		
		Comercialización		✓	
	Laboratorio	✓			

## ANEXO 1.

## Modelo de Inventario de una CAIE para biodiesel de soja como fase primaria de un ECVB (continuación).

Procesos de la CAIE	Subprocesos, coproductos	Si	No	Otro
Almacenado del aceite y los coproductos	Instalaciones, personal	✓		
	Control de calidad	✓		
	Seguridad	✓		
Transporte <sup>34</sup> a la planta de biodiesel	Tipo de Transporte <sup>34</sup>			✓
	Personal	✓		
	Combustible	✓		
	Tasas	✓		
Producción de insumos para el proceso industrial	Alcohol metílico	de gas natural	✓	
		de petróleo	✓	
		de madera		✓
	Hidróxido de sodio	✓		
Transporte <sup>34</sup> de insumos para el proceso industrial	Ac. Fosfórico, etc.		✓	
	Tipo de Transporte <sup>34</sup>			
	Personal			
	Combustible			
	Tasas			
Almacenado de aceite en planta industrial	Depósito, filtrado			
	Control de calidad			
	Seguridad			
Almacenado de insumos en planta industrial	Depósito			
	Seguridad			
Proceso industrial	Transesterificación metílica por lotes	✓		
	Separación en fases, decantación	✓		
	Lavado del biodiesel	✓		
	Centrifugado del biodiesel	✓		
	Filtrado del biodiesel	✓		
Almacenado del biodiesel	Depósito	✓		
	Seguridad	✓		
	Control de calidad, toma de muestras, ensayos	✓		
Tratamiento de efluentes	Tipo de tratamiento, instalaciones	✓		
Mezcla con gasoil	Instalaciones		✓	
Purificación de la glicerina			✓	
Almacenado de la glicerina		✓		
Transporte <sup>34</sup> de la glicerina		✓		
Destino de la glicerina	Combustible		✓	
	Industria química	✓		
	Industria farmacéutica		✓	
	Otros		✓	
Transporte <sup>34</sup> y distribución del biodiesel	Tipo de transporte	✓		
	Depósitos	✓		
	Surtidores	✓		
Uso final del biodiesel	Motores para transporte, rendimiento	✓		
	Calderas			
	Generadores	✓		

Fuente: Elaborado por la autora.

<sup>34</sup> determinación de la logística de transporte (distancias, rendimientos, itinerarios, etc.)



**ANEXO 2.**

Modelo de Balance parcial para la Energía utilizada en la Producción del Cultivo.

Componente del Cv <sup>35</sup>	Ratio		Energía fósil utilizada en la producción del componente	Rendimiento del cultivo en biocombustible	Energía fósil utilizada
<b>Producción de insumos<sup>36</sup></b>					
	Promedio aplicación (kg/ha)		(MJ/kg)	(l/ha)	(MJ/l)
Fertilizante					
Tratamiento de suelos					
Biocidas					
Semilla					
<b>Transporte de insumos y productos</b>					
	Combustible fósil utilizado (l/km)	Lubricantes, otros (l/km)	Kg/ha <sup>37</sup> (MJ/ha)	(l/ha)	(MJ/l)
Transporte					
<b>Operaciones mecanizadas<sup>38</sup></b>					
	Combustible fósil utilizado (l/ha)	Lubricantes, otros (l/ha)	(MJ/ha)	(l/ha)	(MJ/l)
Laboreo primario					
Laboreo secundario					
Siembra					
Aplicación de biocidas					
Cosecha					
Riego <sup>39</sup>					
<b>Producción de tractores y maquinaria agrícola</b>					
	Energía fósil utilizada (MJ)	IUAMA <sup>40</sup>	Vida útil (años) <sup>41</sup> (MJ/año)	(l/año)	(MJ/l)
Tractores					
Maquinaria agrícola					
<b>Producción de construcciones directamente vinculadas a la producción del biocombustible</b>					
	Energía fósil utilizada (MJ)	IUAC <sup>42</sup>	Vida útil (años) (MJ/año)	(l/año)	(MJ/l)
Galpones, Vivienda					
Sistema de riego					
Silo					
<b>Mano de obra</b>					
	Requerimientos promedio por jornada (MJ/jornada)	Jornada laboral (horas)	IUAMO <sup>43</sup> (Jornadas/año)	(l/año)	(MJ/l)
Operarios					

Fuente: Elaborado por la autora.

<sup>35</sup> Los componentes del Ciclo de Vida son determinados previamente al definir la ruta tecnológica. Estos componentes pueden variar según el sistema de producción, la zona edafoclimática, la estructura agraria, etc., por lo que el balance se realiza caso a caso para cada materia prima en evaluación.

<sup>36</sup> Fertilizantes Nitrógeno, Fósforo, Potasio y otros: los promedios de aplicación de estos fertilizantes deben ser tomados de datos locales, fruto de investigaciones previas. La energía para la producción de los mismos debe surgir también de resultados de investigación o, en su defecto, de

---

estimaciones con sustento bibliográfico regional de condiciones similares. Tratamientos de suelos: en el caso de que la ruta tecnológica así lo indique, se siguen las mismas directivas que para los fertilizantes. Biocidas: ídem. Semilla: ídem.3

<sup>37</sup> Para el cálculo de la energía fósil para el transporte de insumos se asume la suma del consumo de combustible expresado en litros por kilómetro recorrido más el consumo de lubricantes y otros, también por kilómetro recorrido. Esta suma debe referirse al promedio de aplicación por hectárea según la Ecuación (2).

<sup>38</sup> La secuencia de operaciones mecanizadas depende de la ruta tecnológica seleccionada, por ejemplo; el cultivo en evaluación puede realizarse mediante siembra directa o laboreo convencional. En estos casos en el balance se incluye la energía utilizada por el sistema de producción seleccionado.

<sup>39</sup> Los sistemas de riego consumen en general energía eléctrica, por lo tanto, se debe incluir esta energía en la columna "Energía fósil utilizada en la producción del componente" utilizando el factor de conversión a MJ correspondiente a la unidad en que está expresada la energía eléctrica.

<sup>40</sup> Índice de Uso Agroenergético de la Maquinaria (tractores, implementos, cosechadoras, etc): Porcentaje del total anual de operaciones mecanizadas destinado a la producción de biocombustible. Se estima a partir de bibliografía.

<sup>41</sup> Vida útil se refiere al lapso en años que se espera se mantenga en operación un equipo o sistema sin pérdida notable de su rendimiento original.

<sup>42</sup> Índice de Uso Agroenergético de las Construcciones (galpones, silos, etc.): Porcentaje del total anual de uso de las construcciones destinado a la producción de biocombustibles. Se estima a partir de bibliografía.

<sup>43</sup> Índice de Utilización con destino Agroenergético de la Mano de Obra: Porcentaje del total anual de jornadas de trabajo que tiene como destino los cultivos energéticos. Se expresa en porcentaje.

## ANEXO 3.

## Modelo de Análisis de Costos de Producción del Cultivo

Componente del CV	Ratio			Costo del componente	Rendimiento del cultivo en biocombustible	Costo por unidad de biocombustible		
<b>Costo de insumos</b>								
	Promedio aplicación (kg/ha)			(US\$/kg)	(l/ha)	(US\$/l)		
Fertilizante								
Tratamiento de suelos								
Biocidas								
Semilla								
<b>Costo del transporte de insumos</b>								
	Costo transporte US\$ /kg/ km	Distancia al suministro(km)	(Kg/ha)	(US\$/kg)	(l/ha)	(US\$/l)		
Transporte								
<b>Costo de la maquinaria agrícola</b>								
	Combustible (US\$/h)	Reparaciones	Mantenimiento	Depreciación	Tiempo de uso (hs/ha)	(US\$/kg)	(l/ha)	(US\$/l)
Tractor, cosechadora y otros autopropulsados								
	Reparaciones		Depreciación	Tiempo de uso (hs/ha)				
Implementos								
<b>Costo de construcciones directamente vinculadas a la producción del biocombustible</b>								
	IUAC	Vida útil (años)	(US\$/año)	(l/año)	(US\$/l)			
Galpones, vivienda								
Sistema de riego								
Silo								
Caminería								
<b>Mano de obra</b>								
	Tiempo destinado a la producción de biocombustibles (hs/ ha)		Salario (US\$/h)	(US\$/kg)	(l/ha)	(US\$/l)		
Operarios								
<b>Acondicionamiento</b>								
<b>Costo del transporte de productos</b>								
	Costo transporte (US\$ /kg/ km)	Distancia a la planta industrial (km)	(Kg/ha)	(l/ha)	(US\$/l)			
Transporte								

Fuente: Elaborado por la autora.

## ■ ANEXO 4. UNIDADES, FACTORES DE CONVERSIÓN

### Superficie, rendimiento agrícola

- Hectárea (ha) =  $10^3 \text{ m}^2 = 2,47$  acres
- $\text{km}^2 = 100 \text{ ha} = 247$  acres
- Acre = 0.405 ha
- ton/acre = 2.24 ton/ha
- Tonelada métrica/hectárea (ton/ha) = 0.446 ton/acre
- $100 \text{ g/m}^2 = 1.0 \text{ ton/ha} = 892 \text{ lb/acre}$

### Volumen

- Tonelada métrica = 1000 kg = 2205 lb
- US gallon = 3.79 litros
- Litro = 0.264 US gallon
- US bushel =  $0.0352 \text{ m}^3 = 56 \text{ lb}, 25 \text{ kg}$  (maíz o sorgo) = 60 lb, 27 kg (trigo o soja) = 40 lb, 18 kg (cebada)

### Energía

- Joule (J) = 1 Newton aplicado a una distancia de 1 metro (=  $1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$ ).
- Joule = 0.239 caloría (cal)
- Caloría = 4.184 J
- British thermal unit (Btu) = 1055 joule (1.055 kJ)
- Megajoule (MJ) = 106 joules = 948 106 Btu = 239 103 caloría = 0, 278 kWh
- Gigajoule (GJ) = 109 joule = 0.948 106 Btu = 239 106 caloría = 278 kWh
- 103 Btu/lb = 2.33 gigajoule por tonelada (GJ/t)
- 103 Btu/US gallon = 0.279 megajoules por litro (MJ/l)
- Kilowatt-hora (kWh) = 3.6 megajoules (MJ) = 3413 Btu

### Etanol

- Tonelada métrica de etanol = 7.94 barriles petróleo = 1262 litros
- Valor calorífico neto (LHV) etanol = 26.7 GJ/t = 21.1 MJ/litro = 11,500 Btu/lb = 75,700 Btu/US gallon
- Densidad promedio del etanol = 0.79 g/ml (=  $\text{ton/m}^3$ )

### Biodiesel

- Tonelada métrica biodiesel = 37.8 GJ (33.3 - 35.7 MJ/litro)
- Valor calorífico neto (LHV) biodiesel = 37.8 GJ (33.3 - 35.7 MJ/litro)
- Densidad promedio del biodiesel = 0.88 g/ml (=  $\text{ton/m}^3$ )

## ■ ANEXO 5. RELEVAMIENTO DE PROGRAMAS PARA EL ANÁLISIS DE BIOCOMBUSTIBLES

### BIOSEM MODEL. Socio-economic multiplier model for rural diversification through biomass energy deployment

#### Objectives

There is a clear need to quantify the knock-on effects of bioenergy schemes in rural depressed areas. Bioenergy schemes represent opportunities for European agriculture to diversify into new markets that will create new and additional employment in rural communities. This will also aid in increasing farming incomes and will act as a lever for other investment and contribute to the development of associated commercial and industrial activities. For instance, transport infrastructure and specialist machinery manufacturers will benefit from increased business. This will create additional spending in the community and further add to the knock-on effects.

The objective of this proposal is to develop a quantitative model to analyze the socio-economic impacts of bioenergy deployment through rural diversification and to measure the distribution of benefits and costs of policy packages, particularly the CAP.

#### Technical Approach

The Biomass Socio-Economic Multiplier (BIOSEM) Model, will be a facilitator for the organization and analysis of already existing data so that the employment and income benefits from bioenergy development and deployment in rural areas can be measured. The model will simulate the interaction between agricultural crops, biomass production, energy production and other sectors of the economy. The main aim of this proposal is the development of the BIOSEM model. This will allow:

- the estimation of the direct and indirect knock-on effects on employment, income, local services and government revenue created by various phases of the deployment of bioenergy schemes in the participating European countries
- the identification of depressed rural areas that would benefit from bioenergy deployment
- recommendations for CAP policy reform to assist and promote rural diversification through bioenergy schemes

### Expected Results

BIOSEM will assist policy makers to site energy crop production and processing plants and to identify where to target investment so as to get the highest production response or optimal income distribution effects in all the participating European countries. BIOSEM will help policy makers identify recommendations for rural policy and CAP reform and assist rural diversification through bioenergy deployment based on the results of BIOSEM model simulations.

**Coordinator:** Future Energy Solutions  
UNITED KINGDOM

**EC Scientific Officer:** Adelmo MOREALE  
/ European Commission DG VI  
Agriculture BELGIUM

### Participant:

- Dr Jean-Paul GAOUYER / ADEME/AGRICE FRANCE
- CRES Biomass Dpt. GREECE
- Mr J C Jacquemin / Dept Analyse Economique Faculte des Sciences Economiques et / BELGIUM
- Giuseppe CASERTA / ITABIA - Italian Biomass Association ITALY
- Piet RIJK / LEI-DLO, Agricultural Economics Research Institute / NETHERLANDS

- Josephine BAHR / Swedish National Board for Industrial and Technological Development / SWEDEN
- Kevin HEALION / Tipperary Institute IRELAND
- Werner GROSSKOPF / Universität Hohenheim GERMANY

### ACISA. Alternative Crops Integration on a Spatial Analysis

**A spacial decision support system for strategic planning of integrated bio-energy chains**

**European Commission. Directorate General for Transportation and Energy**

### Description

- Acisa is a collection of artificial intelligence modules built into one tool, which is assisted by spacial analysis and simulates integrated biomass to-energy systems.
- Acisa integrates state of the art knowledge in production of alternative crops (cynara, eucalyptus, miscanthus, etc.) and conversion technologies, (combustion, gasification, etc.) with the associated economic and environmental analysis into a whole biomass-to-energy chain evaluation.
- Acisa performs evaluation of biomass-to-energy systems with respect to biomass production, transportation and exploitation along with the associated economic, social and environmental impacts.
- Producers, consultants, policy makers, regional planners, action agencies and environmentalists can utilize this tool also available on the WEB.
- They can test alternative bio-energy integration strategies that may in turn lead to sustainable development, a

---

reduction in environmental pollution, or a maximum economic return or compromise solutions among the above.

- Acisa has been developed by a large team of experts in biomass production and exploitation from five European countries (Austria, France Greece, Italy and Spain) and incorporates the experience in the field of bio-energy production into a user-friendly, spacial decision support tool.

### **ACISA features**

- Extensive database, in MSAccess®, contains information on land use, soils, climate, land productivity and various modules' parameters.
- Cost Analysis and Investment Appraisal module examines the viability of energy crops cultivated in marginal or set aside land, or replacing existing conventional plantation.
- Transportation module, built in MSAccess® and ArcView®, calculates the biomass feedstock transportation cost as a function of the real covered distance and the type of vehicle, whereas storage cost is calculated as a volume function.
- Biomass Supply module generates supply curves for biomass feedstock.
- Energy Conversion modules evaluate miscellaneous technologies for electricity, Combined Heat and Power, bioethanol and biodiesel production.
- Environmental module analyses all possible Greenhouse Gas Emissions of bio-energy and fossil energy systems and other environmental aspects.
- Land Use Change module analyses carbon stock change due to land use changes options.
- Input-Output analysis module studies the impacts to regional economy.

- Multiple Criteria Decision Module is used to explore bio-energy production choices.
- An Interface, in VBA object-oriented language, controls the data flow between the integrated tool (modules built in MSExcell.) and specialized optimization software (GAMS.) and GIS software.
- Output visualization and reporting for biomass cropping Land Units and optimal bio-energy plants site.

**Coordinator:** Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Avenida Complutense 22, 28040 Madrid, Spain Tel +34 913466307. Fax +34 91 3466005.

**EC Scientific Officer:** Rosa Sáez Email: rosa.saez@ciemat.es

**Participant:** Agricultural University of Athens (AUA) Iera Odos 75, 118 55 Athens, Greece, ECUBA S.r.l. Via del Cestello 4, 40124 Bologna, Italy, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France, JOANNEUM RESEARCH Steyrergasse 17, 8010 Graz, Austria, Tecnologías y Servicios Agrarios S.A. TRAGSATEC c/Conde Penalver 84, 28006 Madrid, Spain, University of Thessaly Pedion Areos, 38334, Volos, Greece.

### **The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation (GREET) Model**

GREET 1.7 - October 13, 2006

#### **How Does GREET Work?**

- To fully evaluate energy and emission impacts of advanced vehicle technologies and new transportation fuels, the fuel cycle from wells to wheels and the vehicle cycle through material recovery and vehicle disposal

---

need to be considered. Sponsored by the U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE), Argonne has developed a fuel-cycle model called GREET (Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation). It allows researchers and analysts to evaluate various vehicle and fuel combinations on a full fuel-cycle basis.

- GREET was developed as a multidimensional spreadsheet model in Microsoft Excel. This public domain model is available free of charge for anyone to use. The first version of GREET was released in 1996. Since then, Argonne has continued to update and expand the model. The most recent GREET version is GREET 1.7 version.

For a given vehicle and fuel system, GREET separately calculates the following:

- Consumption of total energy (energy in non-renewable and renewable sources), fossil fuels (petroleum, natural gas, and coal), and petroleum
- Emissions of CO<sub>2</sub>-equivalent greenhouse gases - primarily carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O)

- Emissions of five criteria pollutants: volatile organic compounds (VOCs), carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>), particulate matter with size smaller than 10 micron (PM<sub>10</sub>), and sulfur oxides (Sox).

- GREET includes more than 30 fuel-cycle pathway groups. It also includes these vehicle technologies

- To address technology improvements over time, GREET separates fuels and vehicle technologies into near- and long-term options. The latter are assumed to have improved energy and emission performance compared with the former.

#### Uses of GREET

- Argonne has used GREET to evaluate various engine and fuel systems for DOE, other government agencies, and industry.

- Other organizations have used GREET for their evaluation of advanced vehicle technologies and new transportation fuels. GREET users include government agencies, the auto industry, the energy industry, research institutes, universities, and public interest groups. GREET users are spread in North America, Europe, and Asia.

---

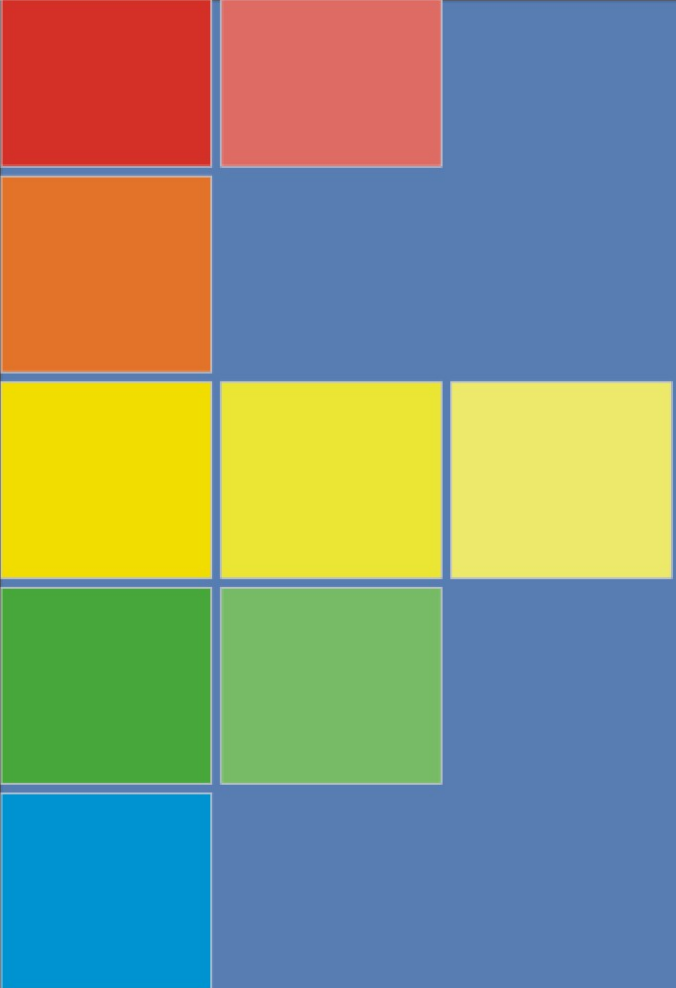
Diseño y diagramación:  
MERCOSOFT CONSULTORES  
[www.mercosoft.com](http://www.mercosoft.com)

---

---







**Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico  
Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur**

Argentina  
Bolivia  
Brasil

Chile  
Paraguay  
Uruguay.



**Edificio MERCOSUR**  
Luis P. Piera 1992 Piso 3  
Tel.: (598 2) 410 1676  
Fax: (598 2) 410 1780  
Montevideo - Uruguay  
E-mail: [sejecutiva@procisur.org.uy](mailto:sejecutiva@procisur.org.uy)  
[www.procisur.org.uy](http://www.procisur.org.uy)

