



A1-515 Incidencia de técnicas agroecológicas en la obtención de aceites vegetales destinados a la producción de biocombustibles

J. Medeiros Martins de Araújo¹; M.D. Raigón²

¹Profesora del curso de Tecnología en Agroecología del Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba -IFPB -Campus Picuí (Brasil) ²Dpto. Química. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46021 Valencia (España). jemartins@hotmail.es; mdraigon@qim.upv.es

Resumen

Las necesidades energéticas globales y la limitación de recursos energéticos procedentes de combustibles fósiles obligan a buscar fuentes de energía alternativas y sostenibles. En este trabajo se estudia el rendimiento graso y el perfil de ácidos grasos de aceites de semillas de girasol, ricino y algodón, y el potencial de los mismos en la reacción de transesterificación para obtener biodiesel, en tres estrategias de fertilización (técnicas agroecológicas de fertilización, técnicas convencionales y un testigo sin fertilizar).

La materia prima idónea para la producción de biodiesel debe cumplir con la adaptabilidad al territorio y baja necesidad de insumos fertilizantes (producción agroecológica o sin fertilización), sin provocar empobrecimiento del suelo. Sus aceites deberán presentar alta resistencia a la oxidación, con alta proporción en ácidos grasos saturados. Por los altos rendimientos en la obtención de biodiesel, sobre todo en condiciones de producción agroecológica y sin fertilizar y por la alta fracción en el ácido graso saturado (palmítico), y no competir como alimento, el aceite de algodón puede ser una buena alternativa a la producción de biodiesel.

Palabras-clave: Ricino; algodón; girasol; transesterificación; rendimiento.

Abstract

Global energy needs and limited energy resources from fossil fuels force to seek alternative and sustainable sources of energy. In this work the oil yield and fatty acid profile of seed oils of sunflower, castor and cotton, and the potential for them in the transesterification reaction is studied for biodiesel in three fertilization strategies (ecological techniques fertilization conventional techniques and unfertilized).

The ideal raw material for the production of biodiesel must meet adaptability to the territory and low inputs fertilizer (unfertilized or agro-ecological production) without causing soil impoverishment. Its oils must show high resistance to oxidation, with a high proportion of saturated fatty acids. By high yields in the production of biodiesel, especially in agro-ecological and unfertilized conditions and the high fraction in the saturated fatty acid (palmitic) and not compete for food, cottonseed oil can be a good alternative to biodiesel production.

Key words: Castor, cotton, sunflower, transesterification, yield.

Introducción

Los combustibles fósiles y la energía nuclear proporcionan cada año alrededor del 90% de la energía que se utiliza en el mundo, pero las reservas de combustibles fósiles son limitadas y, en mayor o menor grado, son contaminantes y sometidas a los factores condicionantes (economías excesivamente dependientes del crudo, reducido número de



yacimientos, posesión de recursos en pocas manos, elevado precio, etc.) Las expectativas creadas por los biocombustibles pasan por innumerables cuestiones de vital importancia para el mundo contemporáneo, como es el no competir con cultivos alimentarios. Los cultivos energéticos, deben ser respetuosos y compatibles con los cultivos agrícolas y la industria alimentaria y su manipulación debe ser compatible con las características de la zona de producción. Las plantas han de ser especies perennes y enérgicas, con capacidad de rebrote, resistentes a plagas y de alta eficiencia fotosintética.

El biodiesel es un combustible obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales (utilizadas o no) que funciona en cualquier motor Diesel. Químicamente se trata de ésteres de alquilo, de metilo y de etilo. Generalmente, los aceites empleados en la obtención de biodiesel, han sido aquellos que abundan en el país de la investigación (Luis *et al.*, 2006). En Brasil lo más utilizado es aceite de soja, pero otras materias primas vegetales vienen siendo probadas para estos fines, como cultivos de algodón, ricino, palma, girasol, canola, cacahuete y otras oleaginosas. La posibilidad de empleo de combustibles de origen agrícola en motores de ciclo Diesel es muy atractiva teniendo en vista el aspecto ambiental, por ser una fuente renovable de energía y por el hecho de permitir la reducción de la dependencia de las importaciones de petróleo (Ferrari *et al.*, 2005).

Las propiedades de un combustible biodiesel se van a determinar por la composición en ácidos grasos, que serán los que definan posteriormente la calidad de ignición, el calor de combustión, el flujo en frío, la estabilidad oxidativa, la viscosidad y la lubricidad (Knothe, 2005). El potencial de las especies vegetales productoras de energía y de las técnicas de producción con menor impacto sobre el sistema es amplio (Heaton *et al.*, 2004) y se hace necesario estudiar el comportamiento productivo de las especies que puedan tener una mayor adaptación al medio, minimizando los insumos empleados en el sistema productivo y obtener la mayor cantidad posible de biomasa recolectable y de mejor composición en ácidos grasos.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el rendimiento en grasa y el perfil de ácidos grasos de los aceites de semillas de girasol, ricino y algodón así como la calidad de los aceites y el potencial de los mismos en la reacción de transesterificación para obtención de biocombustible, empleando tres estrategias de fertilización, una de ellas bajo técnicas agroecológicas de fertilización, otra con técnicas convencionales y un testigo sin fertilizar.

Metodología

El experimento se llevó a cabo en los años agrícolas de 2009 y 2010 en la base experimental de la Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte- EMPARN en la región del Mato Grande en el distrito de Pedro Avelino (Brasil), ubicado en la meso-región Central Potiguar y en la micro-región Angicos, con clima muy cálido, con pluviometría media anual de 578.9 mm con período de lluvias desde marzo a abril y temperaturas medias anuales, máxima de 32 °C y mínima de 21 °C, una humedad relativa media de 70% y 2400 horas de insolación anual (<http://wikimapia.org/6026934/pt/Pedro-Avelino-Rio-Grande-do-Norte-Brasil>).

El esquema experimental fue el establecimiento de bloques experimentales al azar, compuesto de tres tratamientos fertilizantes: tratamiento convencional (AQ), donde las plantas fueron abonadas con fertilizantes químicos, tratamiento orgánico (AE) donde las plantas fueron abonadas por fertilizantes ecológicos y tratamiento testigo donde las plantas no fueron fertilizadas (SA), cada tratamiento ocupaba una superficie de 150 m² dividido en

10 parcelas compuestas por sub-parcelas de 10 plantas. Dentro de cada tratamiento fueron recolectadas 10 plantas en cada caso, con un total de 100 plantas por tratamiento, con excepción en el cultivo de ricino, compuesto por 8 parcelas donde se trabajó con 80 plantas. Para el tratamiento con abono ecológico se utilizó el estiércol de oveja en dosis de 10 t/ha equivalente a 1 kg/golpe de siembra para el ricino; 0,3 kg/golpe para el girasol y 0,9 kg/golpe para el algodón. Para el tratamiento convencional se utilizó el manejo tradicional del productor convencional de la región, consistente en mezcla de 60/90/60 de sulfato amónico, superfosfato simple y cloruro de potasio, equivalente a 21 g/golpe de siembra, para el ricino; 6 g/golpe para el girasol y 283,5 g/metro lineal para el algodón, estas dosis se realizarían como abonado de fondo y se repite a los 15 días después de la siembra.

La extracción de la grasa se realizó por triplicado con un equipo Soxhlet, empleando hexano como extraente. Para la transesterificación de los aceites de algodón y girasol se utilizó 3 g de aceite y 0,9 g de KOH con metanol, agitándose y dejándose en reposo durante 24 h. La separación se realizó en probetas de 10 mL para medir el volumen de biodiesel obtenido. Para el caso del ricino se tomaron 500 mg del aceite en 5 mL de KOH disuelto en metanol, tras el reflujo se añadió 15 mL de la disolución de $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_4$. La separación se realizó en embudos de 250 mL, añadiéndose hexano y sacándolo con nitrógeno, posteriormente se centrifugó durante 5 minutos a 5000 rpm, para separación del biodiesel. La caracterización de los ácidos grasos se realizó por cromatografía gaseosa. El cromatógrafo utilizado fue el VARIAN modelo 3800 equipado con inyector automático VARIAN modelo 8.400.

Para el tratamiento de los datos se ha trabajado con el programa estadístico Statgraphics Plus versión 5.1, realizando un análisis de varianza (ANOVA) para determinar qué medias muestrales son significativamente diferentes al 95% de confianza.

Resultados y discusiones

La tabla 1 muestra los valores promedio y los errores estándar para los parámetros del rendimiento en grasa y en el proceso de transesterificación, así como el contenido de los tres ácidos grasos mayoritarios (oleico, palmítico y linoleico) para la obtención de biodiesel para cada cultivo (ricino, girasol y algodón), en función del sistema productivo (convencional, ecológico y sin fertilizar). Los resultados muestran que las especies vegetales utilizadas tienen características propias en el perfil lipídico encontrado en sus aceites, así como la conversión de la grasa obtenida en biodiesel. En el porcentaje de biodiesel obtenido, se observa que las semillas procedentes del cultivo ecológico (AE), generan aceites que favorecen la transesterificación a biodiesel, algo más manifiesto en el caso de las semillas y aceites de algodón, con un 94,33% de aceite transesterificado. En cuanto a la obtención de aceite, se observa que las semillas más productivas fueron las de ricino y girasol, independientemente del tratamiento fertilizante, con amplias diferencias para el cultivo de ricino. Con los tratamientos de fertilización ecológica (AE), no se observaron diferencias en los niveles de grasa obtenidos frente al tratamiento de fertilización química, en los cultivos de ricino y girasol, siendo en cambio, las diferencias estadísticamente significativas, en el caso del rendimiento graso de las semillas de algodón obtenidas por técnicas de fertilización orgánicas. Hay que destacar el buen comportamiento en el rendimiento graso del ricino, bajo condiciones más rigurosas, ya que el mayor porcentaje en aceite se obtiene cuando las plantas no se fertilizan, seguido del caso de la fertilización orgánica, lo que pone de manifiesto la rusticidad de esta planta para las condiciones de producción de grasa.

El contenido de aceite es una característica importante que puede influir en la elección y el uso de una materia prima para la producción del biodiesel. En este sentido el girasol y el ricino son las fuentes que tienen un mayor contenido de aceite en las semillas y más bajo para el algodón. Cardone *et al.* (2003) en un estudio realizado con *Brassica carinata* en condiciones mediterráneas concluyen que bajo condiciones de bajos insumos esta especie es menos productiva en cuanto a la cantidad de semillas obtenidas, pero no influye en el rendimiento del aceite ni en la transesterificación, donde influyen otros factores, como la fracción lipídica.

En estudios llevados a cabo con el cultivar de algodón BRS-Safira (Moretto, 1998) se comprobó que el rendimiento graso que presentaron estas semillas fue de 23,5%, estando por encima del valor promedio que se estima para las semillas de algodón, y por debajo de los valores obtenidos en este ensayo, independientemente del tratamiento fertilizante. Silva y Mundstok (1988) concluyeron que el porcentaje de aceite en semillas de diferentes cultivares de girasol varía de 38 a 47%, cuando se muestrea con las diferentes épocas de siembra. Aunque hay pocos estudios sobre la influencia de la composición en ácidos grasos y la calidad del biodiesel, la composición y el contenido de ésteres de ácidos grasos influyen directamente en las propiedades de biodiesel (Knothe, 2005, Ramos *et al.*, 2009). Los ésteres formados durante la reacción de transesterificación con el alcohol, tienen el mismo perfil de ácidos grasos de aceite vegetal de origen, ya que el proceso de transesterificación no afecta a la composición de ácidos.

TABLA 1. Valores promedio y error estándar del rendimiento graso, del biodiesel y del contenido en ácido graso oleico, palmítico y linoleico de los aceites de las semillas de ricino, girasol y algodón de producción convencional, ecológica y sin fertilizar.

Sistema Productivo	Cultivo	Rendimiento graso (%)	Rendimiento biodiesel (%)	Oleico (%)	Palmítico (%)	Linoleico (%)
Convencional	Ricino	49,74±1,18	76,94±7,98	32,21±2,99	8,77±0,16	39,27±0,56
	Girasol	36,45±1,18	74,82±7,98	52,95±2,99	5,06±0,16	37,23±0,56
	Algodón	24,69±1,18	83,10±7,98	17,62±2,99	24,51±0,16	52,56±0,56
Ecológico	Ricino	52,60±1,18	73,21±7,98	32,16±2,99	8,30±0,16	39,89±0,56
	Girasol	36,88±1,18	81,87±7,98	43,73±2,99	6,75±0,16	38,60±0,56
	Algodón	30,02±1,18	94,33±7,98	17,30±2,99	23,76±0,16	53,77±0,56
Sin fertilizar	Ricino	60,73±1,18	74,43±7,98	31,65±2,99	8,58±0,16	39,97±0,56
	Girasol	33,62±1,18	79,82±7,98	54,50±2,99	5,17±0,16	35,66±0,56
	Algodón	23,99±1,18	92,05±7,98	17,88±2,99	24,31±0,16	52,84±0,56

El ácido oleico ha sido superior en los aceites extraídos de semillas de girasol, siendo el tratamiento sin abono, el que presenta la mayor fracción, con diferencias estadísticamente significativas, frente a los niveles de oleico que presentan los aceites procedentes de girasol abonado de forma orgánica. El aceite de girasol destaca por sus excelentes características físico-químicas, y aunque se trata de uno de los cultivos de oleaginosas con mayor extensión a nivel mundial, presenta alta viabilidad en la producción del biocombustible (Ferrari y Souza, 2009). El ácido linoleico ha presentado mayor concentración en el aceite procedente del algodón, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos fertilizantes. El aceite de las semillas de algodón es típico del grupo oléico-linoleico de los vegetales oleaginosos, estos dos representan alrededor del 75% del total de los ácidos grasos.

La Tabla 2 muestra la distribución del resto de ácidos grasos minoritarios presentes en los aceites de ricino, girasol y algodón en función del sistema productivo.

TABLA 2. Valores promedio y error estándar de los ácidos grasos minoritarios de los aceites de las semillas de ricino, girasol y algodón de producción convencional, ecológica y sin fertilizar.

Sistema Productivo	Cultivo	Estearico (%)	Linolénico (%)	Aráquico (%)	Mirístico (%)	Behénico (%)	Eicosanoico (%)
Convencional	Ricino	8,51±0,13	3,81±0,09	0,30±0,02	0,06±0,01	0,07±0,02	2,89±0,19
	Girasol	2,96±0,13	0,03±0,09	0,25±0,02	0,05±0,01	0,70±0,02	0,17±0,19
	Algodón	2,47±0,13	0,13±0,09	0,27±0,02	0,83±0,01	0,12±0,02	0,06±0,19
Ecológico	Ricino	7,95±0,13	3,71±0,09	0,27±0,02	0,05±0,01	0,13±0,02	1,83±0,19
	Girasol	5,56±0,13	1,95±0,09	0,27±0,02	0,05±0,01	0,44±0,02	1,63±0,19
	Algodón	2,44±0,13	0,12±0,09	0,26±0,02	0,75±0,01	0,11±0,02	0,69±0,19
Sin fertilizar	Ricino	8,17±0,13	3,27±0,09	0,25±0,02	0,07±0,01	0,09±0,02	1,89±0,19
	Girasol	2,81±0,13	0,04±0,09	0,24±0,02	0,05±0,01	0,71±0,02	0,13±0,19
	Algodón	2,38±0,13	0,13±0,09	0,27±0,02	0,79±0,01	0,12±0,02	0,07±0,19

El nivel elevado de ácido linolénico (caracterizado por tres enlaces insaturados) puede ser la causa de mayor tendencia a la oxidación de la grasa y a la peor estabilidad del biodiesel. El diesel empleado como combustible para vehículos debería contener menos del 12% de ácido linolénico, mientras que un éster metílico con un valor superior sólo se deberían permitir para instalaciones de calefacción.

Las producciones de ricino y de girasol para el uso del biodiesel pueden ser consideradas incoherentes, por ser empleados como aceites nobles en la alimentación humana, ya que presentan una alta composición en ácidos grasos poliinsaturados, y por lo tanto con beneficios y valorizados para la alimentación. Pero el aceite de ricino, cada vez más pierde interés para el consumo humano, y sería la mejor opción para la producción de biocombustibles. Además la fracción que presenta en linolénico no llega al valor límite del 12% por lo que el biodiesel obtenido tendría buenas aplicaciones como combustible, independientemente del sistema de fertilización. La rusticidad de la especie, su tolerancia al déficit hídrico, así como una floración irregular y la alta dehiscencia de los frutos la hacen una alternativa de cultivo para pequeñas explotaciones.

Conclusiones

El sistema de fertilización no ha sido significativo en la composición de los ácidos grasos de los aceites obtenidos para cada especie. Los ácidos grasos, linoleico, oleico, palmítico y estearico, en los aceites de ricino, girasol y algodón, en conjunto representan más del 90% del total. Destacando el linolénico entre los ácidos grasos minoritarios, con mayor fracción para el ricino, independientemente del sistema de fertilización y para el girasol, únicamente cuando se fertiliza en condiciones de agricultura ecológica, aunque estos niveles no llegan a ser perjudiciales en la esterificación y estabilidad del biodiesel.



La materia prima idónea para la producción de biodiesel deberá cumplir con cuestiones de adaptabilidad al territorio y baja necesidad de insumos fertilizantes, bien por sinergias con la producción agroecológica o bien porque no precise de fertilización, sin que se aprecie empobrecimiento del suelo. Además esta materia prima deberá presentar alta resistencia a la oxidación, es decir, con alta proporción en ácidos grasos saturados. Por los altos rendimientos en la obtención de biodiesel, sobre todo en condiciones de producción agroecológicas y sin fertilizar y por la alta fracción en el ácido graso saturado (palmítico), el aceite de algodón puede ser una buena alternativa a la producción de biodiesel.

Referencias bibliográficas

- Cardone M, M Mazzoncini, S Menini, V Rocco, A Senatore, M Seggiani & S Vitolo (2003) *Brassica carinata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. *Biomass and Bioenergy*, 25(6): 623-636.
- Ferrari RA, VS Oliveira, & A Scabio (2005) Biodiesel de soja - taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físicoquímica e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, v. 28, jan./fev. 2005.
- Luis FG Patiño, LP Pereyra, F Roussel, E Riba & G Coronado (2006) Biodiesel. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería Industrias y Servicios. Mendoza. Argentina.
- Knothe G (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*, 86: 1059-1070.
- Moretto E (1988) Tecnología de óleo e gorduras vegetais na indústria de alimentos. São Paulo. Livraria Varela, 145 pp.
- Ramos MJ, CM Fernández, A Casas, L Rodríguez & Á Pérez (2009) Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, 100 (1): 261-268.
- Silva da PRF & CM Mundstock (1988) Época de sementeira. In: Girassol: indicações para o cultivo no Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: UFGRS: 13-17. <http://www.wikimapia.org/6026934/pt/Pedro-Avelino-Rio-Grande-do-Norte-Brasil>