

Efecto del tratamiento fertilizante sobre la producción de semilla oleaginosa y el rendimiento graso en la obtención de biocombustibles en el nordeste de Brasil

JEANE MEDEIROS MARTINS DE ARAUJO

Directora: María Dolores Raigón Jiménez

Diciembre 2015

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a Dra. María Dolores Raigón Jiménez, directora de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la amistad, motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años. También de forma especial quiero registrar el reconocimiento por el interés mostrado por mi trabajo en el laboratorio de la UPV allá de la dedicación, amabilidad y sugerencias de María Dolores García, Patricia Esteve y Carmelina Guerrero. A la Universidad Politécnica de Valencia de forma amplia por aceptarme como parte de esta familia y hacerme sentirme a gusto bajo sus cuidados académicos. En especial quiero hacer referencia a la Escuela de Doctorado a las personas de Helena y Miguel siempre tan competentes y disponibles. Quisiera hacer extensiva mi gratitud a todos los investigadores de la EMPARN/EMBRAPA en concreto a los Doctores Marcone Mendonça, Marcelo Abdon Lira, Aldo Arnaldo y Marcos Moreira por el ánimo infundido y la confianza en mi depositada. A la Universidade Federal Rural Do Semiárido, en las personas de los Doutores Rui Sales, Glauber Nunes y Josivan Barbosa. A la Universidade Potiguar-Campus Mossoró, en especial a los profesores Julio Cesar y Gilberto Jales, por la confianza durante mi trabajo en la institución. A todas las personas del Instituto Federal de Educação Ciencia y Tecnologia da Paraíba IFPB -Campus Sousa y Campus Picuí, no solo por el ambiente de trabajo donde puedo cumplir mi misión de investigadora y docente, sino también por ser mi segunda casa. Al amigo Dr. Joserlan Moreira por la ayuda y estímulo recibidos. A ingeniera agrónoma Leliane Janne siempre atenta a mi llamada durante este trabajo. A mi amiga Weronika compañera inseparable durante todo este trayecto. A Salvador Seguí, Piotr Rydel, Claúdia Dias y las familias Rojas y Capobianco por el apoyo, siempre que busqué abrigo y aliento en suelo hispano. Al Productor Agroecológico Manolo Figueroa por su fuerza, que por tantas veces me hizo creer que todo iba a acabar bien. A mis padres y hermanas, por su confianza, un agradecimiento muy especial merecido por la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos. A mis hijas Marina y Victoria, de donde vienen mis ganas de seguir, sin mirar para atrás, haciendo valer la pena cada paso en este camino. A todos, los que seguro no lograría enumerar ni siquiera en un capítulo completo, pero que hicieran parte de esta tan larga, fatigante, pero muy recompensable batalla. A todos ellos muchas gracias. A todos mis alumnos y ex-alumnos, que me inspiran hoy a seguir compartiendo mis conocimientos y a los que incansables me ayudarán durante las colectas y tabulación de datos. A Dios y a la Naturaleza que lo divulga con tanta perfecciónpor ello elegí la Agroecología.

Por fin;

Al Doctor José Flamarión de Oliveira (in memoria) por el legado dejado a los que quieren la Agricultura, a quien con honor dedico esta obra.

RESUMEN

En el momento actual, el petróleo y sus derivados son las principales fuentes para abastecimiento energético a la industria y el transporte. Pero en la actualidad se conoce la naturaleza no renovable, agotable y por tanto finita del petróleo, además de algunos problemas técnicos como su difícil explotación o su alto impacto medioambiental en la cadena productiva, ello hace que se reclamen nuevas formas de energía, entre las que destacan los biocombustibles, en concreto el biodiesel obtenido de la transesterificación de aceites. La producción de biocombustibles arrastra críticas, principalmente por la deriva de tierras de cultivo, competencia en la producción de alimentos, el acceso a la tierra y otros recursos productivos, como empleo de agroquímicos y agua de riego, por ello, hay que realizar estudios de adaptación de cultivos de alto rendimiento en aceite, bajo condiciones de bajos insumos.

El principal objetivo de esta investigación es mostrar alternativas de cultivos y prácticas de fertilización, que puedan dar origen a biocombustibles en las mejores condiciones de rentabilidad del aceite, así como del biodiesel obtenido. Se incluyen comparaciones de producción de los diferentes aspectos agronómicos que influyen en el cultivo, adaptaciones vegetativas del cultivo, del aceite y del biodiesel obtenido, así como de la calidad de los aceites obtenidos (perfil de ácidos grasos) y sus repercusiones sobre el rendimiento de biodiesel, entre otras características. Los cultivos de ricino, girasol y algodón se ensayaron durante dos campañas agronómicas consecutivas (2009 y 2010). Los cultivos fueron implantados mediante siembra directa en las parcelas de la estación experimental de "Terras Secas" de EMPARN en la región de Mato Grande en el distrito de Pedro Avelino (Brasil). El diseño experimental se realizó por bloques experimentales. Cada bloque elemental consta de 10 plantas, y cada cultivo cuenta con 10 bloques, compuesto de tres tratamientos fertilizantes: tratamiento convencional (AQ), donde las plantas son abonadas con fertilizantes químicos, tratamiento orgánico (AE), empleando una aportación anual de estiércol de oveja, en dosis de 10 t/ha y un tratamiento sin fertilizar. Los análisis estadísticos consistieron en la realización de un estudio univariante, un análisis discriminante como método multivariante de análisis y un estudio entre variables.

RESUMEN

El cultivo de ricino muestra una gran rusticidad, siendo resistente a las condiciones de déficit hídrico. Aún en las condiciones más extremas, esta planta debería ser fertilizada, preferentemente con abonos orgánicos, para alcanzar adecuados parámetros vegetativos, como altura de la planta, y tamaño y número de racimos florales, que influyen en el rendimiento de aceite y en la síntesis de biodiesel. Las plantas de girasol han obtenido adecuados parámetros vegetativos, incluso en las condiciones de no aplicar fertilizantes. La aplicación de los fertilizantes orgánicos podría reemplazar los fertilizantes químicos para el cultivo de girasol, en la producción de aceite para la obtención de biodiesel. En el cultivo de algodón, para la obtención de semilla, es una buena alternativa productiva la aplicación de fertilizante orgánico, por tener buena respuesta frente a las dosis conservadoras de fertilización. De todos los ácidos grasos, los que se presentan de forma mayoritaria son el ácido oleico, el linoleico, linolénico, palmítico y esteárico, estos dos últimos varían en función del tipo de aceite. Los que se encuentran en concentración minoritaria son mirístico, palmitoleico, eicosanoico, aráquico y heptadecanoico. Del resto las concentraciones son tremendamente bajas ±0.01% o no se detectan. Las campañas de cultivo han sido significativas en la mayoría de los parámetros vegetativos para los cultivos de ricino, girasol y algodón, siendo la segunda campaña menos productiva. La fertilización orgánica es efectiva en la obtención de aceite en los casos del cultivo de algodón y girasol, proporcionando semillas niveles elevados de aceites. Para los tres tratamientos sus fertilizantes ensayados, a medida que aumenta la concentración en ácido graso oleico, disminuye la del rendimiento en biodiesel. Los mejores rendimientos en biodiesel y por tanto las mejores propiedades de los mismos, se alcanzan con aceites que presenten mezclas de diferentes perfiles de ácidos grasos.

Palabras clave: Biocombustibles; cultivos industriales; transesterificación; ácidos grasos, abonos orgánicos.

ABSTRACT

Nowadays, the crude oil and its byproducts are the main resources for energy fulfillment for both industry and transportation. Despite the non-renewable and exhaustible nature of such elements is well known and leads to the end of its availability, in a few years some technical problems will be faced, such as the difficult to exportation and the environmental impact at the supply chain leads the claim for new kinds of energy production. Among them, the bio diesel produced by trans esterification of vegetable oils and animal fats highlights. The bio diesel production faces criticism regarding, mainly, the use of lands destined for food production, the access to the land and others production sources, the use of agro chemicals and irrigation water. Studies for high oil content and low inputs crops are necessary.

The main goal of this research is to show alternatives for plants and fertilizer techniques witch are able to reach high oil and bio diesel production. It includes comparison between different agronomic aspects the influences at the copping, the oil quality (fatty acids profile) and its rebound on bio diesel yield, among others. The castor bean, sunflower and cotton plantation was performed during 2009 and 2010. The seeds were directly planted at the installments of "Terras Secas" experimental land of EMPARN, at Mato Grande and Pedro Avelino district (Brazilian Northeast). The experimental design was made by blocks. Each block contains 10 plants, and each cultivation has 10 blocks, composed of three treatments of fertilizer: Conventional treatment (AQ), where the plants are treated with chemical fertilizers, the organic treatment (AE), using one annual bio fertilization with 10 tons per hectare of sheep manure and one treatment without fertilization. The statistical analysis was made by a one variant study, a discriminant analysis as multi variant method and one study among variants.

The castor bean crop shows a high rusticity, being resistant to dried season condition. Even on extreme conditions, this plant might be fertilized, preferable with organic fertilizer in order to reach suitable vegetative parameters, such as high vegetation, number of flowers, oil yield, and bio diesel conversion. The sunflower has obtained suitable vegetative parameters, including at no fertilizer condition. Therefore, the organic fertilizer application could replace the chemical fertilizer on sunflower crops for bio diesel production. The cotton crop for seed production is also a good alternative

ABSTRACT

for the organic fertilizer application once it responds well to low quantities of

fertilization. Among all the fatty acids, those more observed were the oleic, linoleic,

linolenic, palmitic and estearic acids, the last ones changes depending on the oil type.

The less observed fatty acids were miristic, palmitoleic, eicosanoic and heptadecanoic.

Other types of fatty acids were observed in concentrations below 0.01%. The crops were

significant for most of the vegetative parameters to the castor bean, sunflower and

cotton, being the second one the less productive. The organic fertilization is effective

for the oil yield on both sunflower and cotton, producing high level of oil content. For

the three experienced treatments, the more oleic fatty acid concentration, the less is

the biodiesel yield. The best yields on biodiesel and therefore the best properties were

achieved with oils with mixed fatty acids profiles.

Keywords: Bio fuels, oily crops, trans esterification, fatty acids, organic fertilizers.

En el moment actual, el petroli i els seus derivats són les principals fonts per a proveïment energètic a la indústria i el transport. Però en l'actualitat es coneix la naturalesa no renovable, esgotable i per tant finita del petroli, a més d'alguns problemes tècnics com la seva difícil explotació o el seu alt impacte mediambiental en la cadena productiva, això fa que es reclamin noves formes d'energia, entre les que destaquen els bio-combustibles, en concret el biodièsel obtingut de la transesterificació d'olis. La producció de bio-combustibles arrossega crítiques, principalment per la deriva de terres de conreu, competència en la producció d'aliments, l'accés a la terra i altres recursos productius, com ocupació d'agroquímics i aigua de reg, per això, cal realitzar estudis de adaptació de cultius d'alt rendiment en oli, sota condicions de baixos insums.

El principal objectiu d'aquesta investigació és mostrar alternatives de cultius i pràctiques de fertilització, que puguin donar origen a bio-combustibles a les millors condicions de rendibilitat de l'oli, així com del biodièsel obtingut. S'inclouen comparacions de producció dels diferents aspectes agronòmics que influeixen en el cultiu, adaptacions vegetatives del cultiu, de l'oli i del biodièsel obtingut, així com de la qualitat dels olis obtinguts (perfil d'àcids grassos) i les seves repercussions sobre el rendiment de biodièsel, entre altres característiques. Els cultius de ricí, gira-sol i cotó es van assajar durant dues campanyes agronòmiques consecutives (2009 i 2010). Els cultius van ser implantats mitjançant sembra directa en les parcel·les de l'estació experimental de "Terres Seques" de EMPARN a la regió de Mato Gran en el districte de Pedro Avelino (Brasil). El disseny experimental es va realitzar per blocs experimentals. Cada bloc elemental consta de 10 plantes, i cada cultiu compta amb 10 blocs, compost de tres tractaments fertilitzants: tractament convencional (AQ), on les plantes són abonades amb fertilitzants químics, tractament orgànic (AE), emprant una aportació anual de fems de ovella, en dosis de 10 t / ha i un tractament sense fertilitzar. Les anàlisis estadístiques van consistir en la realització d'un estudi univariant, una anàlisi discriminant com a mètode multivariant d'anàlisi i un estudi entre variables.

El cultiu de ricí mostra una gran rusticitat, sent resistent a les condicions de dèficit hídric. Encara en les condicions més extremes, aquesta planta hauria de ser fertilitzada, preferentment amb adobs orgànics, també per assolir els paràmetres vegetatius, com alçada de la planta, i grandària i nombre de raïms florals, que influeixen

RESUM

en el rendiment d'oli i el la síntesi de biodièsel. Les plantes de gira-sol han obtingut adequats paràmetres vegetatius, fins i tot en les condicions de no aplicar fertilitzants. Per tant, l'aplicació dels fertilitzants orgànics podria reemplaçar els fertilitzants químics per al cultiu de gira-sol, en la producció d'oli per a l'obtenció de biodièsel. En el cultiu de cotó, per a l'obtenció de llavor, és una bona alternativa productiva l'aplicació de fertilitzant orgànic, per tenir bona resposta davant de les dosis conservadores de fertilització. De tots els àcids grassos, els que es presenten de forma majoritària són l'àcid oleic, el linoleic, linolènic, palmític i esteàric, aquests dos últims varien en funció del tipus d'oli. I els que es troben en concentració minoritària són mirístic, palmitoleic, eicosanoic, araquic i heptadecanoic. De la resta les concentracions són tremendament baixes ± 0,01% o no es detecten. La campanya de cultiu ha estat significativa en la majoria dels paràmetres vegetatius per als cultius de ricí, gira-sol i cotó, sent la menys productiva, la segona campanya. La fertilització orgànica és efectiva en l'obtenció d'oli en els casos del cultiu de cotó i gira-sol, proporcionant les seves llavors nivells d'olis elevats. Per als tres tractaments fertilitzants assajats, a mesura que augmenta la concentració en àcid gras oleic, disminueix la del rendiment en biodièsel. Els millors rendiments en biodièsel i per tant les millors propietats dels mateixos, s'assoleixen amb olis que presentin barreges de diferents perfils d'àcids grassos.

Paraules clau: Bio-combustibles; cultius industrials; transesterificació; àcids grassos, adobs organics.

ÍNDICE

ÍNDICE

		Página
1.1.	COMBUSTIBLES FÓSILES: NECESIDAD, PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS	1
1.2.	CULTIVOS ENERGÉTICOS	6
1.3.	LOS BIOCOMBUSTIBLES	8
1.3.1.	Biocombustibles sólidos	10
1.3.2.	Biocombustibles líquidos	11
1.3.3.	Biocombustibles gaseosos	12
1.4.	EL BIODIESEL	14
1.4.1.	Materias primas en la obtención de biodiesel	17
1.4.2.	El proceso de transesterificación en la obtención del biodiesel	21
1.4.3.	Los parámetros de calidad en el biodiesel	26
1.5.	VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL BIODIESEL	30
1.5.1.	Ventajas medioambientales	32
1.5.2.	Ventajas energéticas	33
1.5.3.	Ventajas sociales	34
1.5.4.	Ventajas económicas	34
1.5.5.	Desventajas de los biocombustibles	35
1.6.	EL BIODIESEL A NIVEL MUNDIAL	38
1.7.	BRASIL. LOS BIOCOMBUSTIBLES Y EL PNPB	45
2.1.	OBJETIVOS	51
2.2.	PLAN DE TRABAJO	53
3.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EXPERIMENTAL	56
3.2.	CULTIVO DE RICINO	59
3.3.	CULTIVO DE GIRASOL	61
3.4.	CULTIVO DE ALGODÓN	63
3.5.	METODOLOGÍA	65
3.5.1.	Metodología aplicada a los cultivos en campo	65
3.5.2.	Determinaciones para las plantas de ricino	67
3.5.3.	Determinaciones para las plantas de girasol	68
3.5.4.	Determinaciones para las plantas de algodón	70
3.5.5.	Tratamiento de las semillas	70
3.5.6.	Extracción del aceite y transesterificación	71
3.5.7.	Determinación y tipificación de los ácidos grasos	74
3.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	76
4.1.	RESULTADOS UNIVARIANTES PARA EL CULTIVO Y SEMILLAS DE RICINO	77
4.1.1.	Resultados de altura de planta del ricino	77
4.1.2.	Resultados de la inserción del primer racimo floral en la planta del ricino	81
4.1.3.	Resultados de la longitud del racimo floral en la planta del ricino	84
4.1.4.	Resultados del número de racimos florales en la planta del ricino	87
4.1.5.	Resultados del peso de 300 semillas de ricino	90
4.2.	RESULTADOS UNIVARIANTES PARA EL CULTIVO Y SEMILLAS DE GIRASOL	92

ÍNDICE 4.2.1. Resultados de altura de planta del girasol 93 4.2.2. Resultados del diámetro del tallo en la planta de girasol 96 4.2.3. Resultados del diámetro del capítulo en la planta de girasol 99 4.2.4. Resultados del peso de 1000 semillas de girasol 103 4.3. RESULTADOS UNIVARIANTES PARA EL CULTIVO Y SEMILLAS DE ALGODÓN 107 RESULTADOS DEL RENDIMIENTO EN ACEITE EN FUNCIÓN DEL CULTIVO, 4.4. CAMPAÑA Y TRATAMIENTO FERTILIZANTE 111 RESULTADOS DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN FUNCIÓN DEL CULTIVO, 4.5. CAMPAÑA Y TRATAMIENTO FERTILIZANTE 117 RESULTADOS DEL RENDIMIENTO EN BIODIESEL EN FUNCIÓN DEL 4.6 CULTIVO, CAMPAÑA Y TRATAMIENTO FERTILIZANTE 125 4.7. **RELACIONES ENTRE VARIABLES** 129 4.7.1. Relaciones entre variables en función del tratamiento 129 4.7.2. Relaciones entre variables para el cultivo de ricino 132 4.7.3. Relaciones entre variables para el cultivo de girasol 135 4.7.4 Relaciones entre variables para el cultivo de algodón 137 4.8. OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO EN BIODIESEL 139 4.8.1. Tipificación de los aceites en función de la fracción de biodiesel 139 4.8.2. Análisis de componentes principales 144 4.8.3. Regresión múltiple de parámetros 145 5. **CONCLUSIONES** 147 6. BIBLIOGRAFÍA 150 7. **ANEXOS** 175 ANEXOS PLUVIOMETRÍA

180

ANEXOS DATOS

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pagina
Figura 1.	Distribución porcentual de las fuentes energéticas en 2010 a nivel mundial	1
Figura 2.	Reacción química de transesterificación	21
Figura 3.	Reacción genérica de obtención del biodiesel	22
Figura 4.	Representación porcentual (v/v) del rendimiento del proceso de	
Figure F	transesterificación	24
Figura 5.	Esquema básico de producción del biodiesel	25
Figura 6.	Peso (%) de los principales cultivos productores de aceites vegetales a nivel mundial en la campaña 2010/2011	44
Figura 7.	Matriz energética en el mundo en 2010 (izquierda) y proyección de la matriz energética en 2030 (derecha) de fuentes energéticas agrupadas	49
Figura 8.	Matriz energética en el mundo en 2010 (izquierda) y proyección	40
Figure 0	de la matriz energética en 2030 (derecha)	49
Figura 9.	Esquema del Plan de trabajo	54
Figura 10.	Localización de la zona del estudio en el distrito de Pedro Avelino (Brasil)	56
Figura 11.	Situación geográfica de las parcelas experimentales	57
Figura 12.	Planta de ricino de la variedad BRS energía en fase de recolección	60
Figura 13.	Capítulo floral inmaduro (derecha) y maduro (izquierda) de la planta de girasol de la variedad Catissol 01	62
Figura 14.	Cultivo y capítulo floral de algodón de la variedad Embrapa CNPA 7H en fase de cosecha	64
Figura 15.	Esquema del diseño experimental (izquierda) y de la distribución del bloque y la parcela elemental (derecha)	65
Figura 16.	Medición de la longitud de la infrutescencia de la planta del ricino	68
Figura 17.	Medición de altura de planta, diámetro del tallo y diámetro del capítulo en la planta de girasol	69
Figura 18.	Paso previo en el tratamiento de las semillas de ricino, girasol y algodón (pesaje de semillas)	70
Figura 19.	Retirada del linter de las semillas de algodón mediante tratamiento químico	71
Figura 20.	Equipo Grindomix 200 empleado en la molienda y homogeneización de las muestras de semillas	71
Figura 21.	Equipos Soxhlet individual (derecha) y en batería (izquierda) empleados en la extracción de aceite de semillas de ricino, girasol y algodón	72
Figura 22.	Obtención del biodiesel del aceite del ricino	74
Figura 23.	Equipo de cromatografía de gases Varian 3400	75
Figura 24.	Gráficas de medias globales para la altura de la planta de ricino, en	/3
	función de la campaña y del tratamiento	78
Figura 25.	Valores promedio de altura de las plantas (cm) de ricino en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican	
	diferencias significativas al 95% de confianza	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 26.	Gráficas de medias globales para la altura de inserción del primer	
	racimo en ricino, en función de la campaña y del tratamiento	82
Figura 27.	Valores promedio de altura de inserción del primer racimo (cm) en	
	ricino, en función del tratamiento y de la campaña. Letras	
	diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza	83
Figura 28.	Gráficas de medias globales para la longitud del racimo floral en	
	ricino, en función de la campaña y del tratamiento	85
Figura 29.	Valores promedio de la longitud del racimo floral (cm) en ricino, en	
	función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican	
	diferencias significativas al 95% de confianza	86
Figura 30.	Gráficas de medias globales para el número de racimos por planta	
	de ricino, en función de la campaña y del tratamiento	88
Figura 31.	Valores promedio del número de racimos por planta de ricino en	
	función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican	
	diferencias significativas al 95% de confianza	89
Figura 32.	Gráficas de medias globales para el peso de 300 semillas de ricino,	
Ü	en función de la campaña y del tratamiento	90
Figura 33.	Valores promedio del peso de 300 semillas de ricino en función del	
0	tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias	
	significativas al 95% de confianza	91
Figura 34.	Gráficas de medias globales para la altura de la planta de girasol,	-
	en función de la campaña y del tratamiento	93
Figura 35.	Valores promedio de altura de las plantas (cm) de girasol en	
6	función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican	
	diferencias significativas al 95% de confianza	94
Figura 36.	Gráficas de medias globales para el diámetro del tallo en la planta	
84. 4. 55.	de girasol, en función de la campaña y del tratamiento	97
Figura 37.	Valores promedio del diámetro del tallo de las plantas (cm) de	
1 1641 4 571	girasol en función del tratamiento y de la campaña. Letras	
	diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza	97
Figura 38.	Gráficas de medias globales para el diámetro del capítulo en la	3,
rigara 50.	planta de girasol, en función de la campaña y del tratamiento	100
Figura 39.	Valores promedio del diámetro del capítulo floral de las plantas	100
rigura 55.	(cm) de girasol en función del tratamiento y de la campaña. Letras	
	diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza	101
Figura 40.	Gráficas de medias globales para el peso de 1000 semillas de	101
i igui a 40.	girasol, en función de la campaña y del tratamiento	104
Figura 41.	Valores promedio del peso de 1000 semillas (g) de girasol en	104
rigura 41.	función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican	
	diferencias significativas al 95% de confianza	105
Figura 42.	Gráficas de medias globales para el peso de 100 semillas y su linter	103
rigura 42.		100
Figure 42	en algodón, en función de la campaña y del tratamiento	108
Figura 43.	Valores promedio del peso de 100 semillas y linter (g) de algodón	
	en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes	100
Figure 44	indican diferencias significativas al 95% de confianza	109
Figura 44.	Valores promedio del rendimiento en aceite (%) de las semillas, en	440
	función del cultivo y del tratamiento	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 45.	Valores promedio del rendimiento en aceite (%) de ricino en	
	función del tratamiento y de la campaña	113
Figura 46.	Valores promedio del rendimiento en aceite (%) de girasol en	
	función del tratamiento y de la campaña	114
Figura 47.	Valores promedio del rendimiento en aceite (%) de algodón en	
	función del tratamiento y de la campaña	115
Figura 48.	Valores promedio del rendimiento en biodiesel (%) de los aceites,	
	en función del cultivo y del tratamiento	126
Figura 49.	Valores promedio del rendimiento en biosiesel (%) de ricino en	
	función del tratamiento y de la campaña	127
Figura 50.	Valores promedio del rendimiento en biodiesel (%) de girasol en	
	función del tratamiento y de la campaña	127
Figura 51.	Valores promedio del rendimiento en biodiesel (%) de algodón en	
	función del tratamiento y de la campaña	128
Figura 52.	Modelo de regresión lineal ajustado entre el rendimiento en	
	biodiesel y el peso de la semilla, para el tratamiento de	
	fertilización orgánica	129
Figura 53.	Modelo de regresión lineal ajustado entre el rendimiento en	
	biodiesel y el peso de la semilla, para el tratamiento de	
	fertilización convencional	130
Figura 54.	Modelo de regresión lineal ajustado entre el rendimiento en	
	biodiesel y el peso de la semilla, para el tratamiento sin abonado	131
Figura 55.	Gráfica de funciones discriminantes para la clasificación de aceites	
	en función del tipo de cultivo	142
Figura 56.	Clasificación de las muestras de aceites en función del tipo de	
	cultivo, atendiendo a los niveles de biodiesel sintetizado y aceite	1 12
Figure F7	extraído	142
Figura 57.	Diagrama de dispersión en la clasificación de biodiesel en función	
	del contenido en ácido oleico (%) y el contenido en aceite extraído	143
Figura 58.	(%) Gráfico de dispersión de los pesos de los componentes principales	
i igui a 56.	Granco de dispersión de los pesos de los componentes principales	145
Figura 59.	Registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2009	175
Figura 60.	Registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2010	176
Figura 61.	Análisis mensual del registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino	
	durante al año 2009	177
Figure C2	Análicio manaval dal rapietro de lluvia en la zone de Dadro Avelina	1,,
Figura 62.	Análisis mensual del registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2010	
F: 60		178
Figura 63.	Análisis anual del registro de lluvia en la zona	
	de Pedro Avelino durante al año 2009	179
Figura 64.	Análisis anual del registro de lluvia en la zona	
	de Pedro Avelino durante al año 2010	179

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1.	Comparación de los diferentes factores técnicos en la producción de biodiesel	23
Tabla 2.	Valores medios de los principales parámetros relativos al biodiesel	28
Tabla 3.	Evolución (años 2005-2009) de la producción mundial de biodiesel en los países con mayor empleo (en 1000 barriles/día)	39
Tabla 4.	Evolución (campañas 2001/02 a 2010/11) del consumo mundial de	
	aceites vegetales ¹ para la alimentación y biodiesel (millones de	
	toneladas y porcentajes)	40
Tabla 5.	Valores de los parámetros característicos del análisis de suelos en	
	cuatro puntos de la parcela experimental y en el promedio	58
Tabla 6.	Valores de los parámetros característicos del análisis de agua de riego	50
rabia o.	de la parcela experimental	58
Tabla 7.	Composición en macro y micronutrientes del estiércol de oveja	30
Tabla 7.	empleado como fertilización orgánica	66
Tabla 8.	Valores promedio de los parámetros altura de planta, distancia de la	00
i abia o.	inserción del primer racimo floral, longitud del racimo floral, número de	
	racimos florales y peso de 300 semillas en el cultivo del ricino	77
Tabla 9.	Valores promedio de los parámetros altura de planta, diámetro del	
Tabla 5.	tallo, diámetro del capítulo y peso de 1000 semillas en el cultivo del	
	• • • •	92
Table 10	girasol	92
Tabla 10.	Valores promedio del peso de 100 semillas y linter en el cultivo del	107
Table 11	algodón	107 111
	Análisis de la varianza para el contenido en aceite (%) de las semillas	111
Tabla 12.	Composición (%) de los ácidos grasos mayoritarios en los aceites de ricino, girasol y algodón, en los tres tratamientos fertilizantes y las dos	
- 11 40	campañas	117
Tabla 13.	Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso oleico (%) de los	440
T 44	aceites	119
Tabla 14.	Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso linoleico (%) de	
	los aceites	120
Tabla 15.	Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso linolénico (%) de	
	los aceites	121
Tabla 16.	Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso palmítico (%) de	
	los aceites	122
Tabla 17.	Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso esteárico (%) de	
	los aceites	123
Tabla 18.	Composición (%) de los ácidos grasos minoritarios en los aceites de	
	ricino, girasol y algodón, en los tres tratamientos fertilizantes y las dos	
	campañas	124
Tabla 19.	Análisis de la varianza del rendimiento en biodiesel (%) de los aceites	125
Tabla 20.	Modelos de regresión lineal significativos con el contenido del	
	rendimiento de biodiesel, coeficientes de regresión y nivel de	
	explicación	131
Tabla 21.	Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de altura	
	de planta y tamaño del racimo en el cultivo de ricino, coeficientes de	
	regresión y nivel de explicación	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 22.	Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de inserción del primer racimo y número de racimos en el cultivo de ricino,	
	coeficientes de regresión y nivel de explicación	134
Tabla 23.	Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de	134
	rendimiento en aceite, biodiesel y los ácidos grasos mayoritarios en el	
	cultivo de ricino, coeficientes de regresión y nivel de explicación	
Tabla 24.	Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de altura	
	de planta en el cultivo de girasol, coeficientes de regresión y nivel de	425
Tabla 25	explicación Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros del	135
Tabla 25.	diámetro del tallo, diámetro de capítulo y el peso de las semillas en el	
	cultivo de girasol, coeficientes de regresión y nivel de explicación	136
Tabla 26.	Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de	
	rendimiento en aceite, biodiesel y los ácidos grasos mayoritarios en el	
	cultivo de girasol, coeficientes de regresión y nivel de explicación	137
Tabla 27.	Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de peso	
	de 100 semillas, rendimiento en aceite y los ácidos grasos mayoritarios	120
	en el cultivo de algodón, coeficientes de regresión y nivel de explicación	138
Tabla 28.	Autovalores de las funciones discriminantes en la clasificación de los	
-	aceites en función de la especie	141
Tabla 29.	Coeficientes estandarizados en la clasificación de los aceites en función	141
Tahla 30	de la especie Resultados de la clasificación de los aceites en función de la especie	141
	Autovalores de las funciones discriminantes en la clasificación de los	172
Tabla 51.	aceites en función de la cantidad de biodiesel	143
Tabla 32.	Valores vegetativos del cultivo de ricino (años 2009 y 2010)	175
	Valores vegetativos del cultivo de girasol (años 2009 y 2010)	186
	Valores vegetativos y rendimiento graso de la semilla (%aceite) del	
	cultivo de algodón (años 2009 y 2010)	199
Tabla 35.	Valores vegetativos y rendimiento graso de la semilla (%aceite) del	
	cultivo de algodón (años 2009 y 2010)	200
Tabla 36.	Valores del rendimiento graso de la semilla (%aceite), rendimiento en la	
	obtención de biodiesel (%BD) y valores de los diferentes ácidos grasos	201
Table 27	de los aceites en el cultivo de girasol (años 2009 y 2010)	201
Tabla 37	Valores del rendimiento graso de la semilla (% aceite), rendimiento en la obtención de biodiesel (% BD) y valores de los diferentes ácidos	
	grasos de los aceites en el cultivo de algodón (años 2009 y 2010)	203
	0. mili mi	_00

1. INTRODUCCIÓN

1.1. COMBUSTIBLES FÓSILES: NECESIDAD, PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS

La búsqueda de fuentes de energía para reducir el esfuerzo manual, mover maquinaria y vehículos de transporte y mejorar las condiciones de confort está asociada a la historia de las civilizaciones. En este sentido, el descubrimiento del petróleo y de todo su potencial energético desencadenó, en el inicio del siglo XX una nueva revolución industrial, representada principalmente por el nacimiento de los primeros vehículos movidos por motores de combustión de compresión interna, desarrollados por Rudolf Diesel. Con el paso de los años se realizaron investigaciones que dieron lugar a mejoras tanto en los combustibles derivados del petróleo, como en los motores que los utilizan (Kucek, 2004), y desde entonces la mayor parte de la demanda energética global ha sido atendida por derivados del petróleo o combustibles fósiles (figura 1) siendo el diesel una de sus principales fracciones (Tskan, 2010).

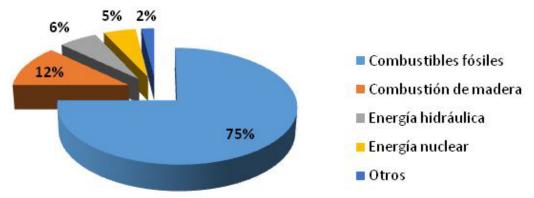


Figura 1. Distribución porcentual de las fuentes energéticas en 2010 a nivel mundial.

Así pues, el petróleo y sus derivados son la principal materia prima, de entre las fuentes de combustibles, para la industria y el suministro de energía para mover las principales vías de transporte (puertos, aeropuertos y carreteras). Pero en la actualidad se conoce la naturaleza no renovable, agotable y por tanto finita del petróleo, además de algunos problemas técnicos como su difícil explotación o su alto impacto medioambiental en la cadena productiva, ello hace que se reclamen nuevas formas de energía.

Los datos (http://peak-oil.org/) muestran que las reservas mundiales de petróleo se agotarán en torno a 2046, sin tener en cuenta la tendencia de crecimiento del consumo. Sin embargo, incluso antes de su colapso es posible que

su precio alcance niveles muy altos, por lo que económicamente se pueden generar situaciones de gran conflicto en torno a esta materia prima, supuestamente agotable.

Con respecto a la dependencia del petróleo, se conoce que actualmente según la *International Energy Agency* (IEA) el 80% del petróleo que se consume en el mundo proviene de pozos descubiertos en la década de 1970. El consumo de petróleo pasó de 2753 millones de barriles, en 1973, a 3767 millones en el 2004. La extracción diaria de petróleo es del orden de los 75 millones de barriles, y se espera una demanda creciente de 2% anual para los próximos años; por lo que en 2020, según esas proyecciones, se necesitarán unos 100 millones barriles/día. Para el 2025, el 82% de la población del planeta consumirá el 45% de la energía, mientras que en los países industrializados, el 14% de la población consumirá el 43%. Por otro lado, el petróleo es una fuente de crisis global, generándose cambios en los precios, que afectan a la balanza comercial de muchos países y a diversos sectores de la economía y en consecuencia, del consumidor final (Rochester, 2007).

Además de estas alteraciones que preocupan cada vez más al sector del mercado petrolífero y que tienen serias implicaciones sociales, el empleo de combustibles fósiles a gran escala, en el sector de transportes, es uno de los principales agentes de contaminación atmosférica, causando daños a través de los gases emitidos por los motores, que afectan la calidad del aire, provocan lluvias ácidas y alteran ecosistemas (Sher, 1998). Efectos como el aumento de la temperatura media global, las alteraciones en el perfil de las precipitaciones pluviométricas y la elevación del nivel de los océanos pueden ser catastróficos, ante la continua tendencia del aumento de la población mundial y su dependencia del petróleo (Peterson *et al.*, 1983; Peterson y Hustrulid, 1998; Bindraban *et al.*, 2009). Como consecuencia hay una significativa disminución de la calidad de vida y un crecimiento del índice de pobreza de las poblaciones que habitan las regiones afectadas del planeta. Por ello, la creación y manutención de programas fijados en investigación de fuentes alternativas de energía han sido fuertemente incentivadas en varios países (Kucek, 2004).

Con el objetivo de buscar soluciones para los problemas generados por las emisiones de gases de efecto invernadero, los responsables de los gobiernos suelen

reunirse en cumbres como "Conferencias de Naciones Unidas sobre el Medio ambiente y el Desarrollo", también conocidas como las Cumbres de la Tierra, que son reuniones internacionales que tuvieron lugar en Estocolmo (Suecia) en junio de 1972, Río de Janeiro (Brasil) en junio de 1992 y en Johannesburgo (Sudáfrica) en agostoseptiembre del 2002. En junio de 2012 se celebró en Río de Janeiro la Conferencia de desarrollo sostenible Río+20.

La cumbre de Estocolmo fue la primera gran conferencia de la ONU sobre cuestiones ambientales internacionales, y marcó un punto de inflexión en el desarrollo de la política internacional sobre el medio ambiente. En la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, los temas tratados incluían:

- Recuento sistemático de patrones de producción, especialmente de la producción de componentes tóxicos, como el plomo en la gasolina y los residuos contaminantes.
- Fuentes alternativas de energía para el uso de combustibles, vinculados al proteger el cambio climático global.
- Apoyo al transporte público para reducir las emisiones de los vehículos, la congestión en las ciudades y los problemas de salud, causados por la polución.
- La creciente escasez de agua potable en el planeta.

Los principales logros de la Conferencia fueron los cuerdos sobre la *Diversidad Biológica* y el *Acuerdo Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, que más tarde llevaría al Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático.

El Protocolo de Kyoto es un ocume o de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global, en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990. Es preciso señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5% como mínimo, sino que este es un porcentaje a nivel global y, por

el contrario, cada país obligado por Kyoto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe contribuir a la disminución de la contaminación global.

El protocolo fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto, Japón, pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. En noviembre de 2009, eran 187 estados los que ratificaron el protocolo con la excepción de EE.UU. y China, que contradictoriamente son países con una gran carga en la emisión de gases de invernadero.

En la Conferencia de Naciones Unidas sobre Cambio Climático celebrado en Copenhague, se ratificó la voluntad política de combatir de forma urgente el cambio climático, de conformidad con el principio de responsabilidad común. En junio de 2012 se celebró en Rio de Janeiro (Brasil) la cumbre Rio+20, donde se hace incidencia en la energía sostenible para todos, es decir, el acceso a la energía, a la eficiencia energética y a las energías renovables (RIO+20 United Nations Conference on Sustainable Development, 2012).

Entre los compromisos adquiridos por los países firmantes de las cumbres está la sustitución de los combustibles fósiles por biocombustibles obtenidos de los cultivos energéticos. Sin embargo, el tema de los biocombustibles es polémico y sus ventajas y desventajas se siguen discutiendo. Para Stratta (2000), la sustitución de los combustibles fósiles por otras alternativas renovables cobra una gran importancia por el hecho de disminuir la dependencia del petróleo, ser un instrumento de lucha contra el deterioro medioambiental y promover el desarrollo de la agricultura e industrias derivadas.

En conclusión, la crisis energética de principios de los 70 reincentivó el interés por las energías renovables y en las últimas décadas este interés se está potenciando por otros factores, como son la necesidad de disminuir las emisiones de efecto invernadero y la reducción, en general, de las emisiones del sector energético tradicional y la autosuficiencia energética. Por ello, las necesidades energéticas globales y la limitación de los recursos energéticos procedentes de los combustibles fósiles, así como la estrategia económica, social y medioambiental obligan a la

búsqueda de fuentes de energía alternativas, como pueden ser los cultivos energéticos (Nguyen y Tenhunen, 2013).

Actualmente una proporción relativamente pequeña del total de energía producida, se obtiene a partir de biomasa. Pessuit (2003) indica que el 2.2% de la energía consumida en el mundo proviene de fuentes renovables, pero la proporción se prevé que crezca en las próximas décadas, ya que el reto de ampliar las fuentes de energía renovable en el actual escenario mundial obliga a profundizar sobre las oportunidades para la biomasa. Esto ha llevado a impulsar políticas de apoyo que han ocasionado un aumento exponencial de la producción y el comercio mundial de biocombustibles líquidos y sólidos (Lamers et al., 2012). Esta tendencia va a continuar, por ejemplo la Unión Europea tiene como objetivo que el 20% de suministro de energía en 2020 para el transporte sea procedente de energía renovable. La gran mayoría de esta energía será suministrado por los biocombustibles (Beurskens y Hekkenberg, 2010). Objetivos similares se encuentran en los EE.UU. y China (REN21, 2011). Pero, las previsiones concretas de futuro las marca, entre otros, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, estableciendo que antes de 2100 la cuota de participación de la biomasa en la producción mundial de energía debe estar entre el 25 y el 46%.

Estas demandas futuras de cultivos energéticos para la producción de biocombustibles está originando también una preocupación paralela sobre la sostenibilidad, potencial de mitigación de cambio climático y la disponibilidad de la materia prima (Fargione *et al.*, 2008; Searchinger *et al.*, 2008; Melillo *et al.*, 2009; Searchinger, 2010). Por lo que las políticas de producción de biocombustibles deben incorporar mecanismos de control limitados para la movilización de recursos específicos que satisfagan la creciente demanda de biomasa (Dornburg *et al.*, 2010; Schueler *et al.*, 2013).

La biomasa, o fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y ganadero), de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales-urbanos, es una alternativa energética por dos razones principales, por un lado, porque a partir de ella se pueden obtener una gran

diversidad de productos; y la segunda, porque se adapta perfectamente a todos los campos de utilización actual de los combustibles tradicionales. Así, mediante procesos específicos, se puede obtener toda una serie de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que pueden ser aplicados para cubrir las necesidades energéticas, confort, transporte, energía doméstica e industria, incluso transformarla y acumularla en electricidad, o servir de materia prima para la industria (Ragauskas *et al.*, 2006).

1.2. CULTIVOS ENERGÉTICOS

Los cultivos energéticos son cultivos de plantas cuyo crecimiento es rápido y son destinadas exclusivamente a la obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles. Con frecuencia su desarrollo va acompañado del desarrollo de la industria de transformación de la biomasa en combustibles (Álvarez Suárez y Granado Mongil, 2007.)

Debido a su gran facilidad para adaptarse a los distintos tipos de suelo y ser resistente a las necesidades especiales para el crecimiento, son cultivos que presentan alta rentabilidad económica y energética (Duke, 1983; Sims *et al.*, 2006).

Dentro de los cultivos energéticos destinados a la producción de biomasa se distinguen:

- Cultivos productores de biomasa lignocelulósica: se emplean para obtener calor mediante la combustión en calderas. Especialmente son especies leñosas o cultivos de especies herbáceas muy lignificadas.
- Cultivos de semillas oleaginosas: se trata de los cultivos de colza (Brassica napus), soja (Glycine max), girasol (Helianthus annuus), etc. empleados en la obtención de aceites para ser empleados como carburantes en automoción.

Los cultivos energéticos se desarrollan atendiendo al valor que poseen como combustible, aunque existen todavía interrogantes sobre su rentabilidad y su impacto tanto a nivel social como ecológico, debido a la falta de datos experimentales. Atendiendo a los cultivos que se pueden aprovechar con fines energéticos, se pueden considerar los siguientes grupos:

- 1. Cultivos tradicionales: son los que el hombre ha utilizado desde hace tiempo para la producción de alimentos y para la obtención de productos industriales. Las especies de este tipo tienen exigencias climáticas y precisan de terrenos fértiles y agua, por lo que su cultivo compite con los cultivos alimentarios, a no ser que se utilicen los excedentes de las cosechas con fines energéticos. Dentro de esta categoría estarían los cereales, la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), la remolacha (*Beta vulgaris*), la mandioca (*Manihot esculent*) y las plantaciones forestales, entre otros.
- 2. Cultivos poco frecuentes: son especies silvestres adaptadas a áreas no aprovechables para fines alimentarios. Esto evitaría la competencia entre cultivos alimentarios y cultivos energéticos. En este grupo estarían especies de gran producción de biomasa en condiciones edáficas y climáticas desfavorables, como por ejemplo los cardos (especies de la familia de las compuestas, Asteraceae), las chumberas (*Opuntia* spp.), los agaves (*Agave fourcroydes*) y los helechos (*Pteridium aquilinum* (L.) Kunth).
- 3. Cultivos acuáticos: se trata de aprovechar diferentes algas procedentes de la biomasa acuática, procedentes de especies marinas, y el jacinto de agua como planta acuática de agua dulce (*Eichornia crassipes*).
- 4. Cultivos de plantas productoras de combustibles líquidos: son aquéllas que producen sustancias que tras ser tratadas de forma sencilla, se pueden usar como combustibles por sus propiedades similares a las de los derivados del petróleo. En este grupo destacan las palmeras, euforbias, ricino, jojoba, copaiba y el membrillo negro.

Las características más importantes que deben cumplir los cultivos energéticos son:

- Capacidad de producir altos niveles de biomasa con bajos costos de producción, de tal forma que hagan viable económicamente la producción de biocombustibles en relación a los de origen fósil.
- Posibilidad de desarrollarse en tierras marginales o en tierras agrícolas marginalizadas por falta de mercado para los productos tradicionalmente cultivados.
- Bajos requerimiento de maquinaria agrícola.

- No contribuir a la degradación del medio ambiente, de tal forma que el balance medioambiental producido por su cultivo sea superior al que se produciría si la tierra agrícola estuviese en barbecho o fuera ocupada por un cultivo tradicional.
- Balance energético positivo. Es decir, que la energía neta contenida en la biomasa producida sea superior a la gastada en el cultivo más la parte proporcional correspondiente a la gastada en la obtención de los productos y equipos utilizados.
- Posibilidad de recuperar fácilmente las tierras después de finalizado el cultivo energético para realizar otros cultivos si las condiciones socioeconómicas así lo aconsejaran.

1.3. LOS BIOCOMBUSTIBLES

Biocombustible es el término por el cual se denomina a cualquier tipo de combustibles que procede de la biomasa, es decir, que proceda de organismos que han estado vivos en corto espacio de tiempo o de sus metabolitos. Desde la perspectiva etimológica son combustibles de origen biológico, pero esta definición incluiría al petróleo, ya que éste procede de restos fósiles de organismos que estuvieron vivos hace millones de años. Por ello una definición más adecuada es la que indica que los biocombustibles son los combustibles de origen biológico de manera renovable a partir de restos orgánicos. Y desde la visión cuantitativa, los biocombustibles son aquellos combustibles que presentan un contenido mínimo del 80% en volumen de compuestos orgánicos derivados de organismos vivos, cosechados dentro de los 10 años desde su obtención (Uhlenbrook, 2007).

Desde el punto de vista de composición son alcoholes, éteres y otros componentes químicos obtenidos a partir de productos agrícolas, del procesado de productos agroindustriales o de residuos orgánicos considerados como biomasa, entre las que se encuentran plantas herbáceas y leñosas, residuos de la agricultura y actividad forestal, y una gran cantidad de subproductos agroindustriales.

Las razones para el interés en los biocombustibles son muchas y son variables en función del país y de las circunstancias temporales, las principales son las siguientes (Neto, 2007):

- Reducir la dependencia del petróleo, por razones de seguridad del suministro, o el impacto sobre la balanza de pagos.
- Minimizar los efectos de las emisiones de vehículos en la contaminación local, especialmente en las grandes ciudades.
- Minimizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.
 Otras ventajas sociales y económicas asociadas a los biocombustibles son:
- Mantener la actividad del sector agrario, evitando el abandono de las tierras de cultivo, la emigración, así como el empobrecimiento social de las zonas rurales.
- Mantener la actividad económica de los sectores industriales relacionados directamente con la producción agraria.

Entre las fuentes de biomasa que se consideran apropiadas y disponibles para la consolidación de los programas de energía renovable, destacan los vegetales y otras fuentes oleosas, ya que representan una alternativa a la generación descentralizada de energía, actuando como un fuerte apoyo para las explotaciones agrícolas familiares, con la creación de mejores condiciones de vida en las áreas alternativas y pobres, fortaleciendo las capacidades regionales y minimizando los problemas socioeconómicos y ambientales de difícil solución (Ramos *et al.*, 2003).

Todo material vegetal orgánico genera energía, pero el biocombustible se produce a escala comercial a partir de productos agrícolas que presenten alto contenido en hidratos de carbono y/o aceites, como la caña de azúcar, ricino, soja, colza, palma, yuca, maíz, remolacha, algas marinas, etc.

Las principales formas de utilización de los biocombustibles son la combustión para producir calor aplicable a la calefacción urbana, a procesos industriales o a la generación de electricidad, y a la carburación en motores térmicos, tanto de explosión como de combustión interna (De Juana *et al.*, 2003).

En cuanto a su composición existen diferentes tipos de biocombustibles, destacando el bioetanol, biodiesel, biogás, biomasa, biometanol, biodimetiléter, bioeteretil-ter-butiléter (bio-ETBE), bio-metil-ter-butil-bioetermetil (bio-MTBE), biocarburantes sintéticos, bio-hidrógeno y bio-oil. Sin embargo, los principales

biocombustibles comerciales son los de biomasa, bioetanol, biodiesel y biogás (López Sako, 2008).

Los biocombustibles se pueden clasificar en biocombustibles de primera y de segunda generación, siendo los de segunda generación los que se producen a partir de las materias primas que no son fuentes de alimentación, es decir, que no compiten con la obtención de alimentos.

Atendiendo al estado de la materia, los biocombustibles también se pueden clasificar en sólidos, líquidos y gaseosos.

1.3.1. Biocombustibles sólidos

Dentro del grupo de los biocombustibles sólidos, los más importantes son los de tipo primario, constituidos por compuestos de naturaleza lignocelulósica originados en las paredes de las células vegetales y tienen como componentes químicos mayoritarios, celulosas, hemicelulosas y lignina, formados principalmente por átomos de C, H y O que intervienen de forma especial en el valor calorífico bruto de los combustibles sólidos (Obernberger *et al.*, 2006). Pueden proceder del sector agrícola o forestal y de las industrias de transformación que producen residuos de dicha naturaleza. La paja y los restos de poda de vid, olivo y frutales, la leña, las cortezas y los restos de podas y aclareos de las masas forestales son materia típica para elaboración de biocombustibles sólidos de origen agrario.

También las cáscaras de frutos secos y huesos de aceituna y otros frutos, los orujillos procedentes de la extracción del aceite de orujo en las almazaras y los restos de las industrias del corcho, la madera y el mueble, constituyen una buena materia prima para la fabricación de biocombustibles sólidos.

Otro grupo de biocombustibles sólidos lo constituye el carbón vegetal, que resulta de un tratamiento térmico con bajo contenido en oxígeno de la biomasa leñosa, pero al ser el resultado de una alteración termoquímica de la biomasa primaria, debe ser considerado de naturaleza secundaria.

Aunque una parte importante de la biomasa se utiliza directamente, como por ejemplo la leña en hogares y chimeneas, la utilización energética moderna de los

biocombustibles sólidos requiere un acondicionamiento especial. Las formas más generalizadas de utilización de este tipo de combustibles son astillas, serrín, pelets y briquetas (Vagonyte, 2011).

Según datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), "algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles". En África, Asia y Latinoamérica representa la tercera parte del consumo energético y para 2000 millones de personas es la principal fuente de energía en el ámbito doméstico. Pero, en muchas ocasiones, esta utilización masiva no se realiza mediante un uso racional y sostenible de los recursos, sino como una búsqueda desesperada de energía que provoca la deforestación de grandes áreas, dejando indefenso al suelo frente a la erosión, por lo que bajo estas condiciones, no es el más adecuado para su aprovechamiento energético ya que podría conllevar la destrucción de los ecosistemas que la producen (Lamers *et al.*, 2012).

1.3.2. Biocombustibles líquidos

La denominación de biocombustibles líquidos se aplica a una serie de productos de origen biológico utilizables como combustibles de sustitución de los derivados del petróleo o como complementos de éstos para su uso en motores (Larson, 2006). Los principales biocombustibles son el biodiesel y el bioetanol (Fortman *et al.*, 2008), pero existen una serie de derivados que presentan la misma la misma propiedad carburante (Demirbas, 2011). Los biocombustibles líquidos se clasifican en (Sánchez Macías, 2006; Cherubini *et al.*, 2009; Demirbas, 2007a):

• Bioetanol: es un alcohol etílico deshidratado producido a partir de la fermentación de elementos de la biomasa ricos en componentes azucarados, amiláceos y, últimamente, lignocelulósicos. Entre los insumos agrarios empleados en la producción de bioetanol se encuentran la caña de azúcar, la remolacha el maíz, el sorgo, el trigo, la cebada, así como tallos de maíz y residuos celulósicos. Se utiliza como sustitutivo de la gasolina, o en mezcla con ésta en proporciones del 5 y 10%, en los motores de explosión (Dufey, 2006). Como subproducto se puede obtener fertilizantes y alimento para el ganado (Hahn-Hägerdal *et al.*, 2006).

- El biodiesel es un éster metílico que se obtiene principalmente a partir de aceites vegetales como el de colza, girasol, palma, soja; aceites de fritura usados y las grasas animales a los que se aplican operaciones de esterificación y refino (Shay, 1993). Puede utilizarse como un sustituto del diesel convencional, reduciendo la contaminación y alargando la vida del motor en los vehículos (Meher *et al.*, 2006).
- El biometanol es un alcohol obtenido principalmente a partir de gas natural, aunque también se puede obtener de la biomasa. El metanol puede ser producido mediante la reacción catalítica de monóxido de carbono y algo de dióxido de carbono con hidrógeno (Demirbas, 2008a).
- Biodimetiléter (DME) se trata del compuesto orgánico (CH₃OCH₃), obtenido a partir de biomasa, para su uso como biocarburante.
- Aceite vegetal. Se trata de aceites vegetales naturales, procedentes de las diferentes materias primas. Estos aceites pueden ser utilizados en determinados motores, bien directamente o mezclados en un porcentaje variable junto con diesel o biodiesel.
- BioETBE (etil ter-butil éter) y BioMTBE (metil ter-butil éter): En realidad estas moléculas orgánicas son aditivos obtenidos a partir del bioetanol o biometanol y el isobutileno utilizados en la formulación de las gasolinas. Han tenido una importante expansión en la sustitución de los aditivos con plomo. Al obtenerse de la combinación de un carburante biológico y un hidrocarburo, la fracción volumétrica de bioETBE que se computa como biocarburante es del 47%, esto es, el volumen de etanol contenido en el producto final ETBE, mientras que para el BioMTBE es del 36%.
- Biocarburantes sintéticos. Se trata de hidrocarburos sintéticos o sus mezclas, producidos a partir de la biomasa (Colby *et al.*, 2008).

1.3.3. Biocombustibles gaseosos

Los biocombustibles gaseosos que se pueden obtener a partir de la biomasa son el gas de gasógeno, el biogás y el biohidrógeno. Ejemplos de estos son: gas de gasógeno, biogás y biohidrógeno (Fernández, 2009).

- Al someter la biomasa a altas temperaturas (entre 800 y 1500 °C) en ausencia de oxígeno, se originan productos gaseosos, con un poder calorífico bajo (de 1000 a 1200 kcal/m³) consistentes, principalmente, en N₂, CO, H₂, CH₄ y CO₂ en proporciones variables. Este proceso se realiza en los llamados gasógenos, que se utilizan con fines térmicos o, en combinación con motores, para producir energía mecánica o eléctrica. En principio, el destino del gas de gasógeno suele ser la producción de calor por combustión directa en un quemador o la generación de electricidad por medio de un motor o turbina.
- El biogás es un combustible gaseoso producido a partir de la biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos por descomposición bacteriana en condiciones anaeróbicas y que puede ser purificado hasta alcanzar una calidad similar a la del gas natural, para uso como biocarburante. Como materia prima se puede utilizar la cachaza de caña de azúcar, los residuos provenientes de mataderos, destilerías y fábricas de levaduras, pulpa y cáscara de café, excreciones de animales, materia seca vegetal y serrín, entre otros. La composición de biogás es variable, pero está formado principalmente por metano (55-65%) y CO2 (35-45%) y en menor proporción, por nitrógeno, (0-3%), hidrógeno (0-1%), oxígeno (0-1%) y trazas de sulfuro de hidrógeno. El poder calorífico del biogás está determinado por la concentración de metano (9500 kcal/m³), pudiéndose aumentar ésta, eliminando todo o parte del CO₂ que le acompaña. Este tipo de transformación se produce de manera espontánea en pantanos o fondos de lagunas y lagos en los que haya depósitos de materia orgánica. El biogás se suele utilizar para generar electricidad. En el caso de los vertederos, su uso para este fin tiene como ventajas añadidas la quema del metano y su transformación en CO2 y agua. De esta forma se reduce el efecto perjudicial del metano como gas de efecto invernadero.
- El biohidrógeno es el hidrógeno obtenido a partir de compuestos orgánicos hidrogenados, tales como hidrocarburos o alcoholes. La obtención se lleva a cabo mediante un proceso denominado reformado, consistente en romper las moléculas orgánicas en sus componentes elementales (carbono e hidrógeno y eventualmente oxígeno) mediante reacciones con vapor de agua en presencia de un catalizador. El hidrógeno se considera actualmente como un "vector energético" de enorme

potencial, ya que su combustión produce agua y una gran cantidad de energía (27 kcal/g), por lo que resulta idóneo para múltiples aplicaciones en la industria, el transporte y los usos domésticos. Entre las moléculas orgánicas con posibilidad de ser la vía limpia de obtención de hidrógeno destaca el bioetanol, que se puede obtener a gran escala a partir de biomasas alcoholígenas.

McKinlay y Harwood (2010) indican que la energía solar puede ser convertida en energía química en forma de gas hidrógeno utilizando microorganismos fotosintéticos. Los resultados a escala de laboratorio sugieren que las tasas de producción de hidrógeno fotobiológicos podrían producir más energía que la obtenida por biocombustibles procedentes de biomasa.

1.4. EL BIODIESEL

Los lípidos son sustancias hidrofóbicas e insolubles en agua. Presentan un alto contenido en energía, al tratarse de compuestos de reserva tanto de la grasa animales como de los aceites vegetales. Sus principales características son la alta viscosidad, la baja volatilidad y la alta reactividad. La mayor reactividad se produce en las moléculas que presentan ácidos grasos insaturados. La mayor parte (90-98%) de las grasas animales y de los aceites vegetales están constituidos por los triacilglicéridos o triglicéridos, es decir, la molécula formada por la esterificación de la glicerina y tres moléculas de ácidos grasos de cadena larga, saturados o insaturados, dependiendo de la procedencia (Agarwal y Agarwal, 2007).

Los aceites vegetales, debido a la capacidad calorífica que presentan, pueden ser empleados directamente como combustibles alternativos en el motor diesel (Nag *et al.*, 1995; y Piyaporn *et al.*, 1996; Mondal *et al.*, 2008). Sin embargo, estos estudios demostraron la existencia de algunas desventajas en la utilización directa de aceites:

- La aparición de partículas en los depósitos.
- La obstrucción de los filtros de aceite y boquillas.
- La disolución parcial del combustible en el lubricante.
- El compromiso de durabilidad del motor.
- El aumento de los costes de mantenimiento del motor.

Otros autores (Goering y Fry, 1984; Koßmehl y Heinrich, 1998; Tashtoush *et al.*, 2003) demostraron que la alta viscosidad y baja volatilidad los aceites vegetales sin procesar puede causar serios problemas para el bien funcionamiento de los motores de ciclo diesel. Por ello, el uso de aceites vegetales frescos como alternativa al combustible diesel está sujeto a las adaptaciones especiales de motores a fin de resolver las no conformidades derivadas de su empleo directo. Entre los problemas que suelen aparecer después de largos periodos de uso, incluyen la formación de partículas de carbón derivadas de la combustión incompleta en el motor, reduciendo la eficacia del aceite y aparición de reacciones de polimerización (en el caso de los aceites poliinsaturados) y atomización ineficiente del carburante con la consiguiente obstrucción de los sistemas de inyección, debido a la alta viscosidad, baja volatilidad y el carácter poliinsaturados de los ácidos grasos libres y de los que forman parte de los triglicéridos (Peterson *et al.*, 1983; Pryde, 1983; Ma y Hanna, 1999; Knothe, 2008).

Con ello, el principal problema asociado al uso de aceites vegetales puros como combustibles, para los motores diesel es que presentan una alta viscosidad. Para disminuir los problemas que causan la viscosidad de los aceites en la combustión, se pueden emplear cinco técnicas (Demirbas, 2005); 1) la dilución de 25 partes de aceite vegetal con 75 partes de combustible diesel, 2) la microemulsión con alcoholes de cadena corta, tales como etanol o metanol, 3) la descomposición térmica, por pirolisis, que produce alcanos, alquenos, ácidos carboxílicos y compuestos aromáticos, 4) el craqueo catalítico, que produce alcanos, cicloalcanos y alquilbencenos y 5) la transesterificación con etanol o metanol.

La dilución de aceites con disolventes y microemulsiones de aceites vegetales disminuye la viscosidad, pero presenta algunos problemas en el rendimiento del motor. Los valores de viscosidad de los aceites vegetales varían entre 27.2 y 53.6 mm²/s, mientras la de los ésteres metílicos de aceites vegetales está entre 3.59 y 4.63 mm²/s. Por lo que, los valores de viscosidad de los ésteres metílicos de los aceites vegetales disminuye después de un proceso de transesterificación (Demirbas, 2002).

Estas cuestiones dieron lugar a que a mediados de los años 1970, se produjera la primera modificación propuesta a los aceites vegetales mediante el proceso químico de transesterificación, para su uso como combustible, ya que las características físicas

de los ácidos grasos esterificados son muy similares a los de combustible diesel y el proceso es relativamente simple. Los objetivos eran mejorar la calidad de ignición, reducir su fluidez y los índices de viscosidad y gravedad específica (Mittelbach *et al.*, 1985; Mittelbach y Tritthart, 1988; Shay, 1993; Stournas *et al.*, 1995, Ma y Hanna, 1999). Es decir que así un biocombustible renovable, biodeiesel, puede ser producido con propiedades compatibles a los del diesel convencional.

El biodiesel se define como un combustible compuesto por ésteres de ácidos grasos de cadena larga derivados de la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales con un alcohol de cadena lineal. El éster resultante se llama B100. El biodiesel puede ser utilizado puro (B100) o como sus propiedades son similares a las del combustible diesel procedente del petróleo (Giannelos *et al.*, 2002), se pueden mezclar en cualquier proporción, sin ningún tipo de problema, con el diesel normal, en los motores de ignición de compresión (motores diesel) o en calderas de calefacción.

El biodiesel se puede obtener de dos vías; por la transesterificación no catalítica de los aceites vegetales y las grasas animales con alcohol supercrítico, y con el empleo de catalizadores, principalmente alcalinos. Para la producción del biodiesel por una ruta no catalítica de metanol supercrítico se ha desarrollado un proceso sencillo que permite un alto rendimiento debido a la transesterificación de los triglicéridos y la esterificación metílica de los ácidos grasos, simultáneamente (Demirbas, 2003; Demirbas, 2005).

Al porcentaje de biodiesel puro que se encuentra en el combustible, se le denomina porcentaje de biomasicidad o, simplemente, bioesteraje. Así, el biodiesel B30 tiene un 30% de ésteres grasos y un 70% de diesel petrolífero. El biodiesel B100 sólo contiene ésteres grasos. La *United States Environmental Protection Agengy* (EPA), tiene registrado el biodiesel para su utilización como combustible puro (B100), como mezcla-base (B20), o como aditivo de combustibles derivados del petróleo en proporciones del 1 al 5% (Pinto *et al.*, 2005).

Este proceso químico da lugar a un compuesto con calidad y propiedades del combustible biodiesel que sustituye a los de procedencia de fósiles sin modificaciones en el motor. El biodiesel necesita tener unas especificaciones que enumere las

propiedades y garantice la calidad de producto. Además, el biodiesel debe cumplir los requisitos para los combustibles minerales de automoción, en este sentido los requerimientos específicos y los métodos de control para la comercialización y distribución de ésteres metílicos de ácidos grasos para su utilización en motores diesel está regulada por la mayoría de países.

1.4.1. Materias primas en la obtención de biodiesel

El sector agropecuario tiene un amplio potencial como proveedor de materias primas para la generación de energía y en concreto para la producción de biodiesel, a partir de productos y de residuos resultantes de dicha actividad sectorial. Estas materias primas, aptas para la producción de biodiesel, pueden ser obtenidas del procesado de productos agropecuarios como aceites vegetales y sebo animal (Peterson y Scarrah, 1984; Tashtoush *et al.*, 2004), pero también de otras fuentes de aceites, como pueden ser los aceites usados de las cocinas, que presenten un contenido significativo de triglicéridos (Demirbas, 2009), el resto de materias primas que interviene en el proceso de transesterificación son los alcoholes primarios (metanol y etanol) (Knothe y Dunn, 2001) y los catalizadores, en caso de ser necesarios.

Diversos aceites han sido probados para la producción del biodiesel, generalmente los que abundan en la zona o país (Pryde, 1983). Dado que el 78% del coste de producción del biodiesel se debe al aceite, la obtención de materias primas más económicas es fundamental para mejorar la rentabilidad del proceso. En consecuencia, se ha trabajado también con aceites modificados genéticamente, aceites de oliva crudo de final de campaña (aceites lampantes) y con aceites ya usados en procesos de fritura de las cocinas (Mandolesi de Araújo *et al.*, 2013), a cuyos ésteres metílicos se les ha denominado "ecodiesel" o "diesel verde" para diferenciar de aquellos que proceden de aceites expresamente refinados para su transformación (Vicente *et al.*, 1998).

En Estados Unidos se utiliza principalmente el aceite de soja (Schuchardt *et al.*, 1998), mientras que en Europa es la colza (Peterson y Scarrah, 1984) o el girasol (Harrington, 1986). En países tropicales se ha investigado la utilización del aceite de

palma (Kalam y Musjuki, 2002) y el de coco (Graille *et al.*, 1986; Martínez Ávila *et al.*, 2007). Los ensayos realizados con grasas de animales y aceites de cocina usados, no todos han tenido resultados satisfactorios, apareciendo problemas de incrustaciones y depósitos de sólidos, en los conductos, problemas de combustión y de temperatura. Ma *et al.* (1998) en el proceso de obtención de ésteres metílicos de sebo de vacuno concluyó que se debe recuperar metanol mediante destilación al vacío, separar el éster de glicerol y luego lavar los ésteres metílicos con agua tibia, facilitándose todo el proceso a pH neutro, ya que reduce la formación de emulsión.

Según Dermibas (2002) hay más de 350 cultivos oleaginosos identificados, entre los cuales sólo el girasol, cártamo, aceites de soja, de colza de semilla de algodón, y cacahuete son considerados como posibles materias primas para la producción de combustibles alternativos para los motores diesel. Balat (2011) indica que el uso extensivo de aceites comestibles puede causar otros problemas importantes como el hambre en los países en desarrollo y propone para la elaboración de biodiesel, el uso de aceites vegetales no comestibles, ya que presentan buenas aptitudes en el rendimiento de obtención de biodiesel.

Knothe (2005) indica que las propiedades de un combustible biodiesel se van a determinar por la estructura de sus componentes 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, en concreto por la composición en ácidos grasos presentes en los triglicéridos del aceite o grasa.

Los ácidos grasos son cadenas hidrocarbonadas con un grupo metilo en un extremo y en el otro extremo un grupo carboxilo que es el que le confiere su propiedad de ácido (ácidos carboxílicos) y número par de átomos de carbono. Son compuestos muy insolubles en agua y ricos en energía metabólica. Los ácidos grasos son constituyentes de los triglicéridos y de lípidos complejos y pueden esterificar el colesterol. Se pueden clasificar según el número de carbonos en la cadena en cuatro grupos:

- ácidos grasos de cadena corta (entre 4-6 átomos de carbono),
- ácidos grasos de cadena media (entre 8-12 átomos de carbono),

- ácidos grasos de cadena larga (entre 14-20 átomos de carbono) y
- ácidos grasos de cadena muy larga (con 22 o más átomos de carbono).

Según el número de dobles enlaces presentes en la cadena, los ácidos grasos se clasifican en:

- ácidos grasos saturados, que solamente presentan enlaces simples entre los átomos de carbono de la cadena (C-C),
- ácidos grasos monoinsaturados, que presentan un doble enlace en la cadena (C=C) y
- ácidos grasos poliinsaturados, que presentan dos o más dobles enlaces en la cadena.

Las características de los ácidos grasos dependen de su longitud como del número de dobles enlaces en la cadena, de manera que a mayor longitud mayor punto de fusión, y por ello, los aceites utilizados en el proceso de transesterificación presentan propiedades físicas que varían en función de su contenido y composición en ácidos grasos (Foglia *et al.*, 2005).

Los alcoholes más empleados en el proceso de transformación son de origen mineral (etanol, isopropanol, butanol, metanol), siendo este último el más ampliamente utilizado. La elección del alcohol puede modificar algunos de los aspectos tecnológicos del biodiesel. En la elección del alcohol, hay algunos aspectos a tener en cuenta, algunos de los cuales relacionados con el coste (Méndez, 2006):

- Coste de la reacción: los alcoholes con menor número de átomos de carbono son más reactivos. Por lo tanto, el metanol es más eficiente que el etanol. En consecuencia, para producir 10 proporciones de biodiesel se emplea 1.8 proporciones de etanol frente a 1.0 proporción de metanol.
- Coste de materia prima: generalmente, pero siempre en función de las fluctuaciones del mercado, el coste del metanol es de aproximadamente un 35%-50% menor que el coste de etanol. Además, el etanol también se utiliza para la obtención del bioetanol, como combustible.

• Coste de recuperación: sólo el 95% del agua del etanol se destila. El 5% restante del agua tiene que ser eliminadas por otros mecanismos, más caros.

Otros aspectos a tener en cuenta en la elección del alcohol son:

- Continuidad en el suministro: ambos alcoholes, metanol y etanol, se utilizan como materias primas en otros procesos químicos y como materiales, principalmente como disolventes. Esto afectará a su disponibilidad y, obviamente, a su precio.
- Tiempo en el suministro: cuanto más cerca de la ubicación de la planta de biodiesel esté el suministro del alcohol, menor será el tiempo empleado en el transporte, y esto tiene una influencia importante en la eficiencia del proceso de transesterificación.

Los catalizadores empleados en el proceso pueden ser químicos o físico-químicos. Entre los químicos destacan los ácidos de Lewis, las bases, los óxidos metálicos, etc. Entre los físico-químicos hay que señalar las resinas de intercambio, las zeolitas (Suppes *et al.*, 2004) y los catalizadores con base de zirconio y titanio (Coteron *et al.*, 1997) e incluso se ha ensayado la cáscara de huevo como catalizador de la reacción, debido a su carácter básico (Wei *et al.*, 2009). Las mejores ventajas, atendiendo al rendimiento y calidad del biodiesel, se obtienen con catalizadores básicos como el hidróxido sódico, potásico, etc. (Kim *et al.*, 2004). Algunos trabajos han contrastado (Noiroj *et al.*, 2009) la eficacia de algunos catalizadores en la obtención del biodiesel, concluyendo que algunas mezclas alcalinas pueden incrementar el volumen de biodiesel obtenido, disminuyendo la temperatura del proceso.

En la reacción catalizada también se puede emplear enzimas catalizadores, en concreto, las lipasas. Las investigaciones sobre este insumo todavía están en desarrollo, debido a la flexibilidad y capacidad de adaptación de la enzima al nuevo proceso (Al-Zuhair *et al.*, 2007).

Leung *et al.* (2010) indica que cuando las materias primas (aceites o grasas) tienen un alto porcentaje de ácidos grasos libres o de agua, el catalizador alcalino reacciona con los ácidos grasos libres para formar jabones. El agua puede hidrolizar los triglicéridos en diglicéridos y formar más ácidos grasos libres. Estas reacciones son

indeseables ya que reducen el rendimiento en la obtención del biodiesel. En esta situación, los materiales ácidos deben ser tratados previamente para inhibir la reacción de saponificación.

1.4.2. El proceso de transesterificación en la obtención del biodiesel

Aunque hay muchas formas y procedimientos para convertir el aceite vegetal en un combustible para motor diesel, el proceso de transesterificación ha sido el método más viable (Fukuda *et al.*, 2001; Bala, 2005).

La transesterificación es el proceso donde los ácidos grasos se separan del triglicérido, al ser reemplazados por un alcohol lineal de cadena corta, como el metanol o el etanol, dando lugar a la glicerina libre y a los ésteres de alquilo de metilo y de etilo, comúnmente llamado biodiesel (figura 2). Por cada molécula de ácido graso eliminada de la molécula del triglicérido, se precisa otra del alcohol.

La reacción estequiométrica requiere 1 mol de un triglicérido y 3 moles del alcohol (1:3). Sin embargo, un exceso del alcohol puede ayudar a aumentar los rendimientos de los ésteres de alquilo y facilitar la separación de fases desde el glicerol formado. Así el exceso de alcohol desplazará la reacción hacia la formación del éster. El exceso de alcohol necesario para el desplazamiento de la reacción se estima entre un 10 y 15% más. Además, la formación de la glicerina, inmiscible con los ésteres acentúa el desplazamiento de la reacción hacia la derecha, permitiendo conversiones cercanas al 100% (Kusdiana y Saka, 2001).

Figura 2. Reacción química de transesterificación.

En la reacción de transesterificación del aceite para la obtención del biodiesel, los triglicéridos del aceite reaccionan con un alcohol en presencia de un ácido o base fuerte, produciendo una mezcla de ácidos grasos y ésteres de alquilo y glicerina como subproducto (figura 3) (Freedman *et al.*, 1986).

El proceso general es una secuencia catalizada de tres reacciones consecutivas y reversibles. En la primera secuencia se produce el paso de triglicérido a diglicérido, en la segunda etapa se obtienen los monoglicéridos a partir de los diglicéridos, y en la última etapa, se obtiene la glirecina a partir del monoglicérido, y en todas las etapas de la reacción, se van liberando los ésteres producidos.

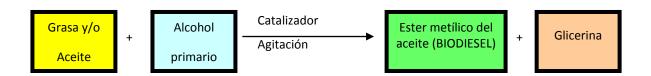


Figura 3. Reacción genérica de obtención del biodiesel.

De manera, que los aceites vegetales en presencia de un catalizador, se mezclan con un exceso de alcohol, principalmente etanol o metanol, y este alcohol sustituye el glicerol, para formar ésteres grasos, como etil o metilester, respectivamente. Debido a ello, se define al biodiesel como una mezcla de ácidos grasos esterificados con cadenas lineales alifáticas. La composición final de estos ésteres grasos y sus propiedades depende de la fuente de materia prima (Dunn, 1999; Meher *et al.*, 2006).

Fundamentalmente, el proceso de transesterificación se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos que cuentan con una distribución de ácidos grasos que tienen una cantidad de átomos que varía entre 15 y 23, siendo el más común 18. Estos triglicéridos reaccionan con los alcoholes de bajo peso molecular, entre los cuales se puede mencionar al metanol, etanol, propanol y butanol, para producir los ésteres y la glicerina.

Varios aspectos, incluyendo el tipo de catalizador (ácido o alcalino), la cantidad del mismo y el tipo de catálisis, la relación de alcohol/aceite vegetal molar, la temperatura, la intensidad del mezclado, la pureza de los reactivos (principalmente contenido en agua) y el contenido de ácido graso libre son influyentes en el transcurso de la transesterificación (Freedman *et al.*, 1984).

En general se ha encontrado que las reacciones catalizadas con bases alcalinas han tenido un buen proceso de producción, con un alto índice de conversión. El procedimiento de transesterificación de Freedman *et al.* (1986) sigue una cinética

normal de orden pseudo-uno, en la misma línea que la cinética de las reacciones catalizadas en medio ácido. Con el uso del alcohol supercrítico, se demostró que se obtiene una mayor velocidad de reacción de transesterificación (Marchetti *et al.*, 2007). Bajo el punto de vista técnico y económico, la reacción vía metanol es mucho más ventajosa que la reacción vía etanol (Costa y Oliveira, 2006).

Noureddini y Zhu (1997) han obtenido una buena cinética de transesterificación para la reacción catalizada en el caso del aceite de soja. La conversión fue de aproximadamente el 60%, que no es muy alta en comparación con las que obtienen otros autores (Mittelbach y Tratnigg, 1990; Zhang *et al.*, 2003), debido posiblemente, a las diferencias en el tiempo en el que han hecho los experimentos, la temperatura, el alcohol y la calidad del aceite crudo utilizado.

Un resumen de la influencia de los principales factores que afectan el rendimiento de biodiesel para cada posibilidad tecnológica, en el proceso de producir biodiesel se muestra en la tabla 1. El proceso debe realizarse a temperaturas moderadas para separar las dos fases inmiscibles y obtener el biodiesel que requiere un filtrado previo antes de ser utilizado (Ma y Hanna, 1999).

Tabla 1. Comparación de los diferentes factores técnicos en la producción de biodiesel.

Variable	Catálisis alcalina	Catálisis enzimática	Catálisis ácida	Alcohol supercrítico
Temperatura (°C)	60-70	30-40	55-80	239-385
Ácidos grasos libres en la materia prima	Productos saponificados	Metíl ésteres	Ésteres	Ésteres
Agua en la materia prima	Interfiere con la reacción	No influye	Interfiere con la reacción	-
Rendimiento	Normal	Alto	Normal	Bueno
Recuperación del glicerol	Difícil	Fácil	-	Difícil
Purificación de los éteres metílicos	Lavados repetidos	No	Lavados repetidos	-
Coste de producción	Barato	Relativamente caro	Barato	Medio

Como resultado de la reacción de transesterificación se obtienen los ésteres metílicos del aceite y la glicerina como subproducto. El proceso descrito permite producir un volumen de biodiesel similar al de la grasa de partida, de forma que, de

una tonelada de aceite y 300 kg de etanol se obtendría una tonelada de biodiesel y 300 kg de glicerina (figura 4).

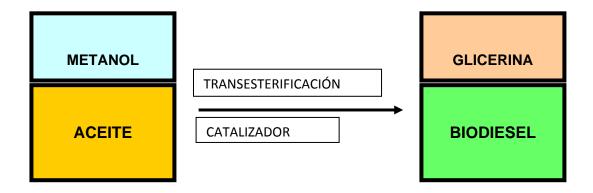


Figura 4. Representación porcentual (v/v) del rendimiento del proceso de transesterificación.

La glicerina puede ser utilizada como materia-prima en la producción de tintes, pegamentos, productos fármacos, telas, cosmética, etc., aumentando la rentabilidad del sistema productivo (Costa, 2006).

Dependiendo del método empleado, se puede recuperar parte del catalizador, así como el alcohol para ser reciclado en sucesivas reacciones (Sánchez-Macías, 2006). La mezcla de biodiesel y glicerina obtenida en la reacción de transesterificación se somete a un proceso de separación por decantación mediante gravedad o por centrifugación, el biodiesel crudo obtenido pasa a un lavado y secado (refinado), para mejorar la calidad del biocombustible, la glicerina también pasa por un proceso de refinado, donde se purifica, para mejorar la calidad y los subproductos de cada proceso pueden volver a entrar en sistema para recuperar e incrementar el rendimiento global (figura 5).

En los últimos años, se han desarrollado nuevos procesos de obtención de biodiesel, como el proceso de Biox co-disolvente, el proceso de alcohol supercrítico y el proceso de biodiesel *in situ* (Leung *et al.*, 2010).

El proceso de Biox co-disolvente fue desarrollado por Boocock *et al.* en 1996. En este proceso, los triglicéridos se convierten en ésteres a través de la utilización de disolventes inertes, como el tetrahidrofurano, que aumenta la solubilidad del alcohol en la fase de los triglicéridos, aumentando el tiempo de reacción a temperatura y

presión ambiente. La separación del biodiesel-glicerol es limpia y tanto el exceso de alcohol, como el co-disolvente se pueden recuperar en un solo paso. El mayor inconveniente de este proceso es la toxicidad de los co-disolventes, y se puede emplear en todo tipo de aceites, sin dejar residuos de catalizador.

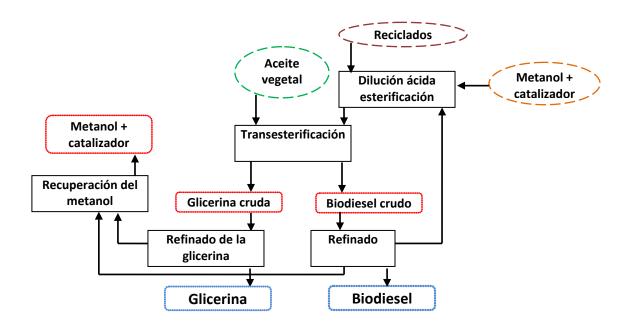


Figura 5. Esquema básico de producción del biodiesel.

El proceso de metanol supercrítico consiste en el empleo de este alcohol para el proceso de transesterificación en fase supercrítica no catalítica (Saka y Kusdiana, 2001; Demirbas, 2002), es decir, en una fase indistinta de líquido y vapor. Debido al menor valor de la constante dieléctrica de metanol en el estado supercrítico, la reacción se lleva a cabo en menor tiempo. La transesterificación supercrítica se lleva a cabo en un reactor de alta presión, con el calor suministrado desde un calentador externo. La reacción se produce durante el período de calentamiento. La presión de reacción y la temperatura afectan al rendimiento en la obtención de biodiesel. En contraste con el método de transesterificación con catalizadores alcalinos, este proceso disminuye el tiempo de reacción e incrementa la pureza del biodiesel obtenido, pero requiere una temperatura y presión alta, y por ello una alta cantidad de energía.

La producción de biodiesel *in situ* es un nuevo enfoque para la conversión de aceite en biodiesel que fue desarrollado por Harrington y D' Arcy Evans en 1985. En este método, las semillas oleaginosas se tratan directamente a temperatura ambiente

y presión con una disolución de metanol, donde se ha disuelto el catalizador previamente. Eso significa que el aceite en las semillas oleaginosas no se aísla antes de la transesterificación de ésteres de ácidos grasos. Para ello, las semillas oleaginosas tienen que secarse y triturarse antes de que tenga lugar la reacción. Las semillas trituradas se mezclan con el alcohol y con el catalizador disuelto y se calienta a reflujo durante 1-5 h, formándose dos fases; la fase alcohólica (en la parte inferior) que se puede recuperar y la capa superior que incluye el biodiesel bruto, que se lava con agua para eliminar los contaminantes hasta que la disolución de lavado da reacción neutra. Después de la etapa de lavado, la capa superior se seca con sulfato de sodio anhidro, y después se filtra. Este método reduce los costes de producción de biodiesel, al eliminar el proceso de extracción de la grasa, sin embargo, este proceso no se puede emplear para los aceites usados de cocina y grasas animales.

1.4.3. Los parámetros de calidad en el biodiesel

Las propiedades de un combustible biodiesel son determinadas por la estructura de sus ésteres e incluyen la calidad de ignición, el calor de la combustión, flujo en frío, estabilidad oxidativa, viscosidad y lubricidad (Knothe, 2005). Estas cuestiones se pueden agrupar en dos, el tipo de aceite utilizado como materia prima en la obtención del biodiesel y la tecnología empleada en la transesterificación. Debido a esto, se hace necesario disponer de una regulación estándar que indique los parámetros de calidad internacionales básicos para garantizar que el biocombustible cumple con sus funciones.

Existen dos normas de calidad internacionales estrictas para el control del biodiesel. La European Standard for Biodiesel (EN 14214) para la UE, y la American Standard Specification for Biodiesel Fuels formulada por los estándares de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, para los EE.UU. Las más importantes son la ASTM PS 121/1999 (Especificación provisional para combustible biodiesel B 100) para los EE.UU., ASTM D 6751/2002 (Especificación estándar para combustible biodiesel B-100) de los EE.UU. La norma europea establece las especificaciones y los métodos de prueba correspondientes, de los combustibles biodiesel para automóviles formados por ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) y sus usos tanto puro o en mezclas. Otros países también han desarrollado normas propias,

como Argentina a través de la norma IRAM 6515-1, con base en la Resolución número 129/2001 del Secretario de Estado de Energía.

Los parámetros críticos para determinar la calidad del biodiesel son:

- Reacción completa de los ésteres de monoalquilo: Medido a través de la conversión de la grasa o aceite a ésteres de monoalquilo, mediante el rendimiento total de la reacción.
- La eliminación de la glicerina libre: Medido por la cantidad de glicerina, que incluye todos los mono-, di-, y triglicéridos, así como glicerina libre.
- La eliminación del catalizador residual: Medido a través del contenido en cenizas del biodiesel.
- La eliminación de alcohol reactivo: Medido a través del punto de inflamación.
- La ausencia de ácidos grasos libres: Midiendo la ausencia de ácidos grasos a través del índice de acidez.

Las principales características físico-químicas del biodiesel y los valores aceptados como máximo y mínimo, para el biocombustible, así como el método empleado para su determinación se muestran en la tabla 2 (Raigón, 2000; European Standard, 2002).

El **punto de ignición** se utiliza para limitar el nivel de alcohol sin reaccionar que queda en el combustible. Este parámetro tiene una importante relación con los requisitos legales y medidas de seguridad que intervienen en el manejo y almacenamiento de combustible. Se especifica normalmente para cubrir el seguro y la normativa contra incendios.

La **viscosidad** es un parámetro especialmente importante en los motores. Para algunos motores, puede ser ventajoso especificar el valor de viscosidad mínimo debido a la pérdida de potencia en la inyección de la bomba y a fugas en el inyector y también por las emisiones de azufre. La viscosidad máxima permisible, por otro lado, está limitada por consideraciones relacionadas con el diseño del motor y las características del sistema de inyección.

1. INTRODUCCIÓN

Tabla 2. Valores medios de los principales parámetros relativos al biodiesel.

Parámetros	Unidad	Valores	Método
Contenido en éster	% (m/m)	Min. 96.5	prEN 14103
Densidad a 15 °C	kg/m³	860-900	EN ISO 3675/EN ISO12185
Viscosidad a 40 °C	mm ² ·s ⁻¹	3.5-5.0	EN ISO 3104
Punto de ignición	°C	Min. 120	EN ISO 3679
Punto de obstrucción del filtro (POFF)	°C verano	Máx. 0	
	°C invierno	Máx15	
Azufre	mg/kg)	Máx. 10	prEN ISO 20846
Carbono residual	% (m/m)	Máx. 30	EN ISO 10370
Cenizas sulfatadas	% (m/m)	Máx. 0.02	ISO 3987
Agua	mg∙kg ⁻¹	Máx. 500	EN ISO12937
Impurezas totales	mg∙kg ⁻¹	Máx. 24	EN ISO12662
Número de cetano		Min. 51	EN ISO 5165
Acidez total	mg KOH·g⁻¹	Máx. 0.50	prEN 14104
Metanol	% (m/m)	Máx. 0.20	prEN 14110
Estabilidad oxidativa (110 °C)	h	Min. 6	prEN 14112
Triglicérido	% (m/m)	Máx. 0.2	prEN 14105
Diglicérido	% (m/m)	Máx. 0.2	prEN 14105
Monoglicérido	% (m/m)	Máx. 0.8	prEN 14105
Glicerina libre	% (m/m)	Máx. 0.02	prEN14105/prEN 14106
Glicerina total	% (m/m)	Máx. 0.25	prEN 14105
Fósforo	mg∙kg ⁻¹	Máx. 10	prEN 14107
Grupo I metales (Na+K)	mg∙kg ⁻¹	Máx. 5	prEN14108/prEN 14109
Grupo II metales (Ca+Mg)	mg∙kg ⁻¹	Máx. 5	prEN14538
Índice de yodo		Máx. 120	prEN 14111

Las **cenizas sulfatadas** son materiales que forman cenizas y pueden estar presentes en el biodiesel de tres formas: sólidos abrasivos, catalizadores excedentes y jabones metálicos solubles. Los sólidos abrasivos y el exceso de catalizadores pueden afectar al inyector, a la bomba de combustible y al depósito del motor. Los jabones metálicos solubles tienen poco efecto en el desgaste, pero pueden contribuir a la obstrucción del filtro y del depósito del motor.

El **azufre** está siendo extremadamente controlado por las normas internacionales porque contribuye a formar gases de efecto invernadero y por otras razones ambientales. Por lo tanto, el azufre del combustible también puede afectar al

1. INTRODUCCIÓN

rendimiento en el control de emisiones. Por otro lado, el contenido en azufre afecta al desgaste del motor y de los depósitos. El B100 está esencialmente libre de azufre, aunque algunos biodiesel producidos a partir de aceites de cocina usados se ha demostrado que pueden alcanzar hasta 30 ppm de azufre.

El **número de cetano** es una medida de la calidad de ignición del combustible y influye en la formación de humo blanco y la rugosidad de la combustión. Los requisitos del índice de cetano dependen del diseño del motor, el tamaño, la naturaleza de la velocidad y de las variaciones de carga y de las condiciones atmosféricas.

El análisis del **carbono residual** mide la tendencia del biodiesel a acumular el carbono. Aunque no se puede relacionar directamente con los depósitos en el motor, esta propiedad se considera una aproximación.

El **fósforo** puede dañar los convertidores catalíticos utilizados en los sistemas de control de emisiones y su nivel debe mantenerse bajo.

La **densidad** del biodiesel debe estar entre 0.86 y 0.90 g/m³, con valores típicos, comprendido entre 0.88 y 0.89. La densidad de los aceites y grasas crudos es similar a la de biodiesel, por lo tanto, el uso de la densidad como una herramienta de control de la calidad del combustible puede no ser tan útil para el biodiesel como lo es para el diesel de petróleo.

El biodiesel presenta un punto de ignición significativamente más alto que el diesel procedente del petróleo, siendo su uso mucho más seguro. El número de cetano del biodiesel tiende a ser más alto, ayudando al proceso de arranque del motor y evitando el cascabeleo (Agarwal y Das, 2001; Demirbas, 2008b; Ramos *et al.*, 2009). Entre otras características del biodiesel se puede mencionar:

- Peso molecular aproximado: 296
- Aspecto: amarillo claro brillante (según el aceite utilizado).
- Punto de inflamación: mayor a 100 °C.
- Presión de vapor: menor a 5 mm de Hg.

1.5. VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL BIODIESEL

Los problemas potenciales de suficiencia energética obligan a la búsqueda de alternativas viables, sobre todo en el sector del transporte. Con el empleo de biocarburantes, en lugar de los combustibles fósiles, se resolvería parte del problema de escasez de fuentes energéticas y de la dependencia de las mismas (Russi, 2007). Según Callejas y Quezada (2009), en comparación con otras fuentes de energía alternativa como el hidrógeno, el uso de biocombustibles se adapta con mayor flexibilidad a la tecnología ya existente.

Las propiedades del biodiesel son similares a las del gasoil de automoción, en cuanto a la densidad y al número de cetanos. Tiene un punto de inflamación superior al gasóleo derivado del petróleo y por ello, el biodiesel puede sustituir totalmente al gasóleo o ser mezclado en distintas proporciones con él para su uso en motores diesel, sin ser necesaria una modificación en los motores posteriores a los años 1990. El biodiesel, utilizado como combustible líquido, presenta ventajas energéticas, medioambientales y económicas entre las que destaca (Neto, 2007):

- Desarrollo sostenible tanto en agricultura como en energía.
- Menor impacto ambiental, reducción de las emisiones contaminantes, principalmente de SO₂, partículas, humos visibles, hidrocarburos y compuestos aromáticos.
- Efectos positivos para la salud, ya que reduce compuestos cancerígenos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos.
- Reduce el calentamiento global, al limitar las emisiones de CO₂ en el ambiente, cumpliendo el protocolo de Kyoto y presentando un balance energético positivo, ayudando a reducir los gases de efecto invernadero.
- Se obtiene un producto biodegradable. El 95% se degrada en 28 días.
- Permite un desarrollo local y regional. Mejora la cohesión económica y social y posibilita la creación de puestos de trabajo.
- Puede sustituir a los gasóleos convencionales en motores, quemadores y turbinas y es utilizable en flotas de autobuses, taxis y maquinaria agrícola.
- Favorece el mercado doméstico.

- Reducción la balanza de pagos al disminuir las importaciones de combustibles.
- El biodiesel es un excelente lubricante cuando se mezcla con el gasóleo convencional a pequeñas dosis.
- El biodiesel puede comportarse como un aditivo que facilita la limpieza de los filtros, al presentar pequeñas o nulas concentraciones de azufre.
- Prolonga la vida del motor al disminuir los residuos carbonizados que se depositan en su interior.
- Es seguro de manejar y transportar ya que posee un punto de ignición más elevado que el del gasoil.

El argumento principal que justifica las políticas a favor de los biocombustibles se basa en el hecho que no aumentarían la concentración de CO₂ en la atmósfera, ya que el CO₂ que desprenden en la fase de combustión es la que han absorbido en la fase de crecimiento los cultivos, como materia prima, debido al proceso de fotosíntesis. Por ello, diversos países ya disponen de leyes regulatorias de especificaciones técnicas y distribución de biocombustibles.

Algunos autores (Bajpai y Tyagi, 2006; Hill *et al.*, 2006; Yee *et al.* 2009; Cho *et al.*, 2013) coinciden al enumerar las ventajas medioambientales, energéticas, sociales y económicas del uso del biodiesel.

No obstante, el biodiesel se enfrenta a varias barreras a vencer para extender su uso comercial, ya que para que su utilización sea exitosa se deben cumplir algunos requisitos, entre los que se puede mencionar (Hilbert, 2006):

- Pocas modificaciones a los motores en uso.
- Baja reducción de la potencia o limitaciones en las condiciones de empleo.
- Bajas inversiones en el proceso de sustitución.
- Disponibilidad a corto plazo.
- Superar obstáculos de regulación, y lograr un precio más competitivo antes de que alcance una penetración significativa del mercado.

Esto se logrará a través de las acciones de los grandes actores, como son las petroleras y grupos inversores, quienes plantean inversiones de importancia a mediano plazo, lo cual permitirá una oferta a gran escala de este producto (Hilbert, 2006).

1.5.1. Ventajas medioambientales

Varios estudios han demostrado que la obtención de ésteres metílicos y etílicos del aceite de colza, girasol, soja, palma, ricino, o de aceites procedentes de frituras, son sostenibles ambientalmente, principalmente por la combustión incompleta de los hidrocarburos y la reducción de las emisiones monóxido de carbono, partículas sólidas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y hollín (Kalam y Musjuki, 2002; Dorado *et al.*, 2003; Neto da Silva *et al.*, 2003; Carraretto *et al.*, 2004; Pinto *et al.*, 2005). Resultados similares obtuvieron Nabi *et al.* (2006) al estudiar las emisiones procedentes de la combustión del diesel con mezclas diesel-biodiesel, concluyendo que el biodiesel es renovable, no tóxico, biodegradable, libre de azufre, benceno y cancerígenos y los gases emitidos de la combustión de la mezcla de biodiesel en el motor diesel de inyección directa mostraron menor contenido en monóxido de carbono y humos, pero mostraron mayores emisiones de gases de nitrógeno (NOx). Además:

- El biodiesel presenta una naturaleza biodegradable, siendo de 4 a 5 veces más rápida su degradación que la del diesel procedente de fuentes fósiles.
- El biodiesel no contamina los acuíferos superficiales o subterráneos, de forma que una avería en la cadena productiva, no generaría desastres ambientales, siendo la contaminación de las fugas de los biocombustibles menos contaminantes y letales para la flora y la fauna acuática.
- Prácticamente no contienen azufre, por lo que no genera SO₂ causante de las lluvias ácidas, disminuyendo la contaminación ambiental por esta causa.
- Reduce emanaciones de dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrocarburos aromáticos, sustancias nocivas para los seres vivos, el agua y el aire. Se estima que la reducción en la emisión de sustancias es del 45%, 10%, 15% y 18% de CO₂, CO, partículas e hidrocarburos aromático (Álvarez Suárez y Granado Mongil, 2007). El ciclo biológico en la producción y el uso de biodiesel reduce

aproximadamente un 80% las emisiones de dióxido de carbono. Además el balance neto de emisiones de dióxido de carbono, sería considerado como neutro, ya que las plantas, en su etapa de crecimiento, consumen la misma cantidad de CO₂ que la emitida por el biocombustibles. Algunos estudios (Kalam *et al.*, 2003) indican que se pueden realizar mezclas interesantes, por ejemplo con aceite de coco, obteniéndose reducciones considerables en las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

- Produce una mejor combustión, resultando una reducción de humo visible en el arranque de motores de un 30% aproximadamente.
- Prolonga la vida útil de los motores actuando como lubricante.
- Es menos irritante para la epidermis humana.
- Sustituyen los malos olores que se desprenden en la combustión del diésel.
- En el caso de la producción de biodiesel a partir de aceites usados, procedentes de las cocinas domésticas o industriales, se elimina un potente contaminante, a la par que se obtiene un valor añadido.
- En algunos casos podrán servir para recuperar terrenos erosionados en laderas o zonas desertificadas.

1.5.2. Ventajas energéticas

El biodiesel presenta como principal ventaja que es una alternativa viable al uso de energías no renovables, haciendo frente al agotamiento de energías procedentes de los combustibles minerales o fósiles y a la dependencia de las mismas. Pero además:

- Se produce a partir de cultivos energéticos, alternativos a los cultivos agrícolas, que son fuentes renovables de energía.
- Puede obtenerse a partir de cultivos propios de una región, permitiendo la producción local del biocombustible, sin invertir energía en el transporte.
- Mejora la posibilidad de autoabastecimiento energético en un marco local y regional.

1.5.3. Ventajas sociales

El biodiesel da la posibilidad al sector agrario de sumar un nuevo rol, pues además de ser el proveedor de alimentos y el sostén de la balanza comercial, tiene la posibilidad de contribuir a mejorar el ambiente, al ser la futura fuente de insumos para la producción de combustibles ecológicos, provenientes de recursos renovables (Stratta, 2000). Sin embargo es evidente que la activación de zonas agrícolas para un mercado de energía debe realizarse con una buena planificación para evitar los efectos de monocultivo y la competencia de los suelos agrícolas por la producción de cultivos energéticos, aspectos que están generando polémica en los medios científicos y sociales (Srinivasan, 2009; Ajanovic, 2011). Por ello, es importante diseñar políticas que promuevan y aseguren la rentabilidad de la bioenergía, así como también que los beneficios de la producción alcancen a las zonas rurales y garanticen y promuevan el acceso a alimentos a los sectores más desposeídos.

Pero al margen de estas cuestiones, otras ventajas de carácter social relacionados con el biodiesel son:

- Permiten disponer de combustible independientemente (o menos dependiente y afectado) de las políticas de importación y fluctuaciones en el precio del petróleo.
- La posibilidad de ampliar el mercado local de los aceites, dando lugar a mayores niveles de ocupación en las plantas de procesado.
- Aumento del empleo en el medio rural, debido a una expansión de la actividad del sector primario.

1.5.4. Ventajas económicas

El biodiesel representa una alternativa al dominio de unos pocos países y compañías (monopolios del gas y petróleo), donde los intereses parciales intervienen en la fijación de los incrementos de precios. Aunque las ventajas económicas hay que establecerlas a macroescala, ya que todavía el biodiesel tiene un precio elevado, en gran parte debido a los altos precios de la materia prima. Por ello, la producción y utilización de biodiesel está apoyada en primer lugar, a través de la política agrícola de subvencionar el cultivo de productos no alimentarios; y en segundo lugar, porque el

biodiesel está exento del impuesto sobre el petróleo. Los beneficios económicos de una industria de biodiesel incluirían, el valor añadido de la materia prima, un mayor número de empleos en las zonas rurales, un aumento de impuestos sobre la renta y las inversiones en material inmovilizado (Demirbas, 2007b). Además otra ventaja que aportaría el establecimiento de los cultivos energéticos para la producción de biodiesel sería el fortalecimiento de los precios agrícolas.

La comercialización, para las industrias de perfumería o industrias de producción de jabones, de la glicerina obtenida como subproducto del proceso de transesterificación de los aceites vegetales, podría ser un valor añadido al total de las ventajas económicas.

1.5.5. Desventajas de los biocombustibles

Frente a las ventajas encontradas en el desarrollo y uso del biodiesel como biocombustibles, se elevan algunas voces que apuntan desventajas a tener en cuenta en la producción los mismos (Neto, 2007).

Respecto a las razones energéticas, se indica que la balanza del CO₂ en el modelo de consumo de biocombustibles no es neutra. Así, aunque la energía necesaria para la producción de biocombustibles es menor que la de otras fuentes energéticas similares y que la producción vegetal es una fuente de consumo del dióxido de carbono atmosférico. En el balance total también se debería considerar, la energía necesaria para la producción de fertilizantes y fitosanitarios, para la locomoción de la maquinaria agrícola, para el riego, así como para el almacenamiento y transporte de los productos.

Por otro lado, la producción intensiva de la materia prima de origen vegetal lleva a un agotamiento de las capacidades del suelo, ocasionando demanda de de nuevos suelos, fertilizantes y productos fitosanitarios. En zonas de América del Sur y Asia (Braun y Pachauri, 2006), los cultivos de soja, cuyos aceites son fuentes potencialmente importantes de biodiesel, han invadido los suelos de bosques tropicales, con las irremediables consecuencias sobre aspectos del territorio, ya que la deforestación ha eliminado los refugios naturales de biodiversidad, y en consecuencia, muchas especies han pasado a estar en peligro de extinción, por el avance de las áreas de cultivo y destrucción de los hábitats naturales.

La competencia por las tierras de cultivo, también ha sido objeto de protesta en zonas de América del Sur, donde el maíz constituye un alimento esencial, y su disponibilidad como alimento, se podría ver afectada por la falta de tierras disponibles y aptas para dedicarlas a los cultivos energéticos (Hilbert, 2006). En este sentido, se necesitan grandes espacios de cultivo, pues del total de la plantación se consigue un porcentaje de combustible muy bajo (7%).

Según Callejas y Quezada (2009), el impacto del uso alternativo de alimentos por biocombustibles implicó un incremento de precios de los alimentos en 70%, siendo del 54%, para el caso concreto del maíz. Dado que los biocombustibles se producen con materias primas alimentarias o bien compiten por la tierra que puede ser utilizada para producir alimentos, esta situación repercute en el precio de los alimentos, de manera directa porque se limita la oferta de cereales para la alimentación, y de forma indirecta porque algunas materias primas son alimentos para el ganado, lo que se impacta es el precio de la carne y de los lácteos.

La introducción productiva de los biocombustibles es un tema de controversia, ya que el modelo a gran escala, se caracteriza por una agricultura de monocultivo, con uso masivo de insumos externos, y posiblemente con semillas híbridos o modificadas genéticamente (Schubert, 2006). Además, algunos costes sociales podrían ser altísimos, ya que las áreas deforestadas para la implantación de los cultivos energéticos, han sido el hábitat de pueblos nativos ligados a su agricultura campesina, y al saqueo del ecosistema, habría que sumarle el desplazamiento de los aborígenes, que por un lado dejan de producir sus bienes de autoconsumo, y por otro lado pierden el uso de las reservas por la explotación empresarial a gran escala, quedando relegados a míseros jornales y a la pérdida de la soberanía alimentaria.

Desde el punto de vista técnico, algunos biocombustibles suponen un incremento de determinado tipo de emisiones, como los aldehídos en el caso del bioetanol, para los que no se dispone aún de información suficiente para valorar el impacto que supondrían emisiones masivas de los mismos (Sánchez Macías, 2006). El uso de biodiesel, en concreto, está limitado a motores de bajo rendimiento y poca potencia, y presenta un punto de congelación entre 0 °C y 5 °C, lo que produce dificultades en el arranque del motor a bajas temperaturas. Además, los grandes

volúmenes de glicerina previstos como subproducto, sólo tendrán mercado a precios competitivos con los procedentes de otras fuentes, por lo que se podría afectar el mercado de óleo-químicos. En este sentido, no existe una visión clara sobre los posibles impactos potenciales de esta oferta de glicerina.

De acuerdo con Carrere (2006), los aspectos a considerar para estimar la adecuación en la producción de biocombustibles son muchas, como por ejemplo:

- El aumento del uso de fertilizantes nitrogenados, especialmente en los casos en que se trabaje con especies de rápido crecimiento, ya que liberaría más óxido nitroso en la atmósfera, el cual tiene un efecto que es 310 veces más poderoso que el del dióxido de carbono en lo que respecta al calentamiento global.
- Para la implantación de los cultivos energéticos es necesario obtener nuevos suelos deforestando la vegetación existente. Esto podría generar que el balance neto de carbono en las áreas destinadas a la producción de biocombustibles sea negativo, aumentando así la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, que es precisamente lo que se pretende evitar.
- Se está impulsando el uso de materia prima procedente de semillas modificada genéticamente, de lo cual no se conoce con certeza los efectos. Además, esto promueve la creación de patentes, que a la larga podría hacer los procesos mucho más costosos. Pero también se está probando el potencial de semillas de especies vegetales, que no compiten con las semillas de uso alimentario, para producir grasa y la capacidad de la misma para el proceso de transesterificación (Azam et al., 2005).

Para Russi (2007), los biocarburantes todavía no son competitivos por sí solos con los combustibles fósiles, de manera que su uso está impulsado por tres vías: 1) subsidios agrícolas otorgados por las administraciones correspondientes en el marco de la Políticas de Ayuda; 2) defiscalización; 3) uso en proyectos pilotos por empresas de transporte público, o limitando el uso en zonas de protección especial, como en flotas de vehículos públicos o privados que circulen por los centros urbanos.

Por todo ello, los biocarburantes tal y como se plantean los cultivos, sin cambios en los modelos productivos o simplemente sin estudios técnicos del territorio y de las

cuestiones sociales del mismo, no son la alternativa que pueda contribuir a resolver contemporáneamente el problema del constante aumento del precio del petróleo, del cambio climático, de la seguridad energética y de la contaminación urbana, aportando un discurso polémico a la mesa científica y social. En este sentido, no hay que olvidar que el único camino es emprender con la máxima urgencia y seriedad unas políticas de reducción del uso de energía, y unas políticas reguladoras, que eviten los conflictos sociales, políticos y económicos por el alza en los precios de la cesta básica.

1.6. EL BIODIESEL A NIVEL MUNDIAL

Las primeras iniciativas en cuanto al biodiesel se dieron en Sudáfrica, en 1981 y fueron seguidas en 1982 por sendas investigaciones en Austria, Alemania y Nueva Zelanda. Alrededor de 1985 se instaló una pequeña planta piloto en Austria que probó la obtención de biodiesel en condiciones de presión y temperatura controladas y en 1989 se comenzó a producir biodiesel de forma comercial por parte de algunas cooperativas agrícolas. En este mismo año, las principales empresas de maquinaria agrícola homologaron este producto como combustible para sus motores, siendo este un importante paso hacia la introducción en el mercado del biodiesel. Otro avance importante fue la estandarización del biodiesel en 1990 por parte del Instituto Austriaco de Estandarización, mediante la norma ONC 1990, lo que aseguraba que el biodiesel debería cumplir unos mínimos de calidad (Sorda *et al.*, 2010)

A partir de entonces, empezaron a proliferar las plantas de producción en todo el mundo, especialmente en Europa occidental, pero también en los países del Este, Malasia y Estados Unidos. En el año 1996 se pusieron en marcha las primeras plantas de producción de gran escala, en Rouen (Francia) y Leer (Alemania). En este mismo año se fundó la Asociación Europea del Biodiesel, como una organización profesional que agrupa a los principales productores de biodiesel en Europa.

En el transcurso de la década de 2000, los biocombustibles se establecen como un compromiso medioambiental para reducir los gases de efecto invernadero y una alternativa ante el alto precio de petróleo (ANP, 2010). La producción mundial, incluyendo el etanol y el biodiesel, pasó de 661500 barriles por día en 2005 a 1.6

millones de barriles por día en 2009, de los cuales un 81% eran de etanol (Fulton *et al.*, 2004). El biodiesel, aunque en menor número, fue el de mayor crecimiento, pasando de 77.2 mil barriles por día a 308200 barriles por día, en el mismo período de tiempo (tabla 3).

Tabla 3. Evolución (años 2005-2009) de la producción mundial de biodiesel en los países con mayor empleo (en 1000 barriles/día).

País	Año				
	2005	2006	2007	2008	2009
Alemania	39.0	70.4	78.3	61.7	51.2
Francia	8.4	11.6	18.7	34.4	41.1
Estados Unidos	5.9	16.3	32.0	44.1	32.9
Brasil	0.0	1.2	7.0	20.1	27.7
Argentina	0.2	0.6	7.5	15.3	23.1
Italia	7.7	11.6	9.2	13.1	13.1
España	3.2	1.2	3.3	4.3	11.0
Tailandia	0.4	0.4	1.2	7.7	10.5
Bélgica	0.0	0.5	3.2	5.4	8.1
China	0.8	4.0	6.0	8.0	8.0
Otros	11.6	24.2	36.6	56.9	81.4
Mundo	77.2	142.0	202.9	270.9	308.2

La tabla 4 muestra la evolución productiva del aceite en el mundo, diferenciando entre el destinado a la alimentación y para la industria (producción de biodiesel). En todo el mundo, la cantidad de aceite vegetal destinado a biodiesel pasó de 10.6 millones de toneladas en la campaña 2001-2002 a 34 millones de toneladas en la campaña 2010-2011 (USDA, 2011). También se observa el ratio, entre la cantidad de aceite destinado a la alimentación y el total, y el ratio de aceite destinado a la fabricación de biodiesel y el total, obteniendo que mientras el ratio de la producción de aceite para la obtención de biodiesel se ha incrementado al doble, en el período de tiempo analizado (de 11.7% al 23.4%), el ratio del aceite destinado a la alimentación ha sufrido un descenso significativo (del 88.3% al 76.6%), lo que indica la tendencia en las cuotas de producción que está tomando este cultivo. En Europa y EE.UU. el biodiesel es producido y utilizado en cantidades comerciales. En 1998, el departamento de energía de EE.UU. (DOE)

designó al biodiesel puro como un combustible alternativo y estableció un programa de créditos para el uso de biodiesel. Sin embargo las mezclas obtenidas del biodiesel con los carburantes procedentes de fuentes fósiles no han sido designadas como un combustible alternativo. En Europa, el biodiesel es producido principalmente a partir del aceite de la semilla de colza y del metanol, el cual es utilizado en los motores diesel puro o mezclado con aceite o con diesel procedente del petróleo, en proporciones que van desde un 5% hasta un 20%, generalmente. En Alemania y Austria, la administración permite la comercialización del biodiesel puro para garantizar mayor beneficio ambiental.

Tabla 4. Evolución (campañas 2001/02 a 2010/11) del consumo mundial de aceites vegetales¹ para la alimentación y biodiesel (millones de toneladas y porcentajes).

Campaña	Total (a)	Alimentos (b)	Industrial (c)	(b/a)	(c/a)
2001/02	91.06	80.42	10.6	88.3	11.7
2002/03	95.36	83.27	12.1	87.3	12.7
2003/04	100.5	86.9	13.7	86.4	13.6
2004/05	108.1	91.4	16.6	84.6	15.4
2005/06	114.8	94.4	20.5	82.2	17.8
2006/07	119.9	96.2	23.8	80.2	19.8
2007/08	125.8	99.7	26.1	79.2	20.8
2008/09	129.8	101.4	28.4	78.1	21.9
2009/10	137.8	106.4	31.4	77.2	22.8
2010/11	145.1	111.1	34.0	76.6	23.4

¹ Aceites incluidos: algodón, cacahuete, colza, coco, girasol, soja, oliva, palma y palmaste (extraído de almendra de la palma)

En Alemania, donde el biodiesel está disponible en cerca de 1000 de un total de 16000 estaciones de suministro de combustible, su participación está en el orden de 0.3 % del diesel vendido, lo cual equivale a 100000 t. Se espera que esto se eleve a quizás 300000 toneladas en el futuro cercano. La bio-refinería alemana de Emden con financiación de una asociación holandesa, pretende producir 430000 t de aceite de palma, probablemente de origen indonesio, capaz de producir más de 400 millones L/año de biodiesel (Carrere, 2006).

El proyecto *Local and Innovative Biodiesel*, ha tenido como objetivo contribuir al cumplimiento de que la cuota del mercado del biodiesel en Europa sea

del 5.75% para el 2010. Este porcentaje pretende ser alcanzado a través de la eliminación de barreras por la escasez de materia prima y alto costo de la misma, ampliando el suministro a los aceites vírgenes y usados. Además de demostrar la importancia del uso del biodiesel en los mercados de transporte público y comercial, donde los beneficios medioambientales son más necesarios. El Proyecto consta de distintas fases, en las que están incluidas experiencias piloto de recogida, definición de estrategias, estudios potenciales y difusión del Proyecto. Esta cifra podría aumentar al 20% para 2020. El denominado plan de acción europeo sobre la biomasa tenía como objetivo el incremento de la producción en bio-energía (Carrere, 2006). Brasil y EE.UU. son los principales países productores de bioetanol para el transporte, acumulando aproximadamente el 90% de la producción mundial. Ambos países producen alrededor de 16 billones de litros por año, siendo este biocombustible el responsable de la sustitución del 40% de gasolina empleada en Brasil, pero sólo del 3% de los EE.UU. La principal materia prima para este bioetanol es la caña de azúcar en Brasil y el maíz en EE.UU.

En los últimos años muchos países han enfocado acciones y legislaciones que permitan la expansión del biodiesel en todo el mundo. Ejemplo de esto es que a nivel Europeo el biodiesel está experimentando un crecimiento sostenido del 35% anual (Hilbert, 2006). Especialmente Francia y Alemania, son los principales productores de biodiesel, acumulando el 88% de la producción mundial, seguido de EE.UU., que producen un 8%. En general, la producción de biodiesel está alrededor de 1:10 de la producción mundial de etanol. La colza es la principal materia prima para la producción de biodiesel en la Unión Europea. En Francia, todos los combustibles diesel poseen un mínimo del 1% de biodiesel. En Alemania, el biocombustible se comercializa en un gran número de estaciones de servicio y su empleo es común en los cruceros turísticos que navegan en sus lagos (ECO2SITE, 2004).

La evolución de la producción de biodiesel en Europa queda ejemplificada con dos de las plantas industriales de gran tamaño que se encuentran en producción continua desde mediados de los 90's, sobre la base del aceite de girasol: una en

Livorno, Italia, con una capacidad instalada de 80000 t/año, y la otra en Rouen, Francia, cuya producción de 120000 t/año la convierte en la mayor del mundo (López Sako, 2008).

Brasil y otros países han presentado planes de acción en la producción de biocombustibles, pero son países como China, Colombia, India y Tailandia, los que han iniciado pequeños programas pilotos.

En Asia, Malasia e Indonesia, son los principales productores a nivel mundial de aceite de palma puro para la exportación. En 2005 el 87% de la deforestación en Malasia tuvo lugar con el fin de hacer espacio para las plantaciones de palma aceitera. Dado que los bosques tropicales malayos se cuentan entre los ecosistemas más diversos del planeta, la tala de esas zonas plantea graves amenazas a un sin número de especies vegetales y animales. Aún así, en el 2006, el gobierno aprobó 54 proyectos de producción de B100 fabricado exclusivamente con aceite de palma. En ese mismo año, Malasia anunció la construcción de un proyecto conjunto con socios privados para construir tres plantas que producirían biodiesel para exportar a Europa. Respecto a Indonesia, el gobierno está promoviendo la producción de biodiesel de aceite de palma tanto para uso interno como para la exportación. Estas tendencias, planes y proyecciones podrían tener importantes consecuencias para los bosques indonesios y los pueblos que dependen de ellos. La tala de bosques para el cultivo de palma aceitera es uno de los principales motores de la deforestación en dicho país y una causa de los incendios forestales. La FAO calcula que la deforestación ocasiona entre 25 y 30% de los gases de efecto invernadero que cada año se liberan a la atmósfera.

En América Latina, Venezuela, pese a poseer importantes reservas de petróleo, se dispone a integrarse con Brasil y Argentina en el desarrollo de combustibles de origen vegetal como alternativa energética. La búsqueda de tecnologías para producir combustibles alternativos, entre ellos el biodiesel, se incluye también en un acuerdo firmado por Venezuela y otros 13 países caribeños para la creación de Petrocaribe.

Colombia es el principal productor de aceite de palma en América y el cuarto a nivel mundial (Carrere, 2006). En 2001, se expidió en Colombia la ley 693, que se articula con la ley 939 del 2004, con lo que se abrió el camino a la producción de

biocombustibles. La ley 693 estipula que la gasolina colombiana deberá tener 10% de etanol en 2009 y que en un período entre 15 y 20 años deberá alcanzar gradualmente una proporción del 25%, siguiendo el modelo de Brasil (ANP, 2010). Se incluía el montaje de 27 plantas esparcidas en 17 departamentos del país, para extender la mezcla del 10% con la gasolina a todo el territorio colombiano.

De acuerdo con un estudio de la FAO (2009), la aparición de los biocombustibles es un factor importante en los mercados agrícolas debido al aumento de la demanda de productos básicos, especialmente cereales y especies oleaginosas. La interferencia de la producción de biocombustibles crea un vínculo entre los precios agrícolas y el petróleo, como ha ocurrido con el cultivo de trigo, de maíz y de las semillas oleaginosas. Esto es así porque, además de las inflexiones sobre precios de los insumos, los precios del petróleo tienden a influir en la demanda cada vez más de las materias primas agrícolas utilizadas en la producción de biocombustibles. Pero además, el aumento de los precios del petróleo tiende a incrementar el uso y los precios de las materias primas agrícolas, el establecimiento de un enlace en el lado de la demanda, y los precios de los insumos utilizados en la producción agrícola.

Los cultivos oleaginosos que satisfacen la demanda de aceites vegetales son diversos (palma, soja, colza, girasol, cacahuete, algodón, y en menor escala, oliva, palmaste y coco), pero sólo tres de ellos representan el 77% del consumo (figura 6). El aceite de palma es el de mayor consumo con un 32%, concentrándose su producción en Malasia e Indonesia, que representan el 87% de todo el mundo. El aceite de soja es el segundo en importancia con un 29%, siendo Estados Unidos el país que lidera la producción de granos, seguido por Brasil y Argentina. El uso del aceite de colza representa el 16% de todo el mundo y ocupa la tercera posición en importancia, siendo la Unión Europea el principal proveedor, seguido por China y Canadá (USDA, 2011).

La producción de aceites vegetales en la Unión Europea se estima en 28.9 millones de toneladas en 2010/2011, de los cuales 72% corresponden a colza.

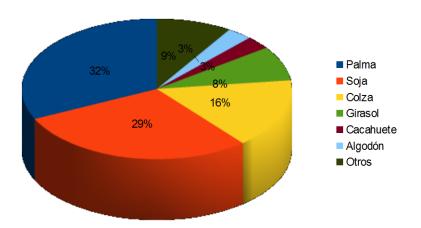


Figura 6. Peso (%) de los principales cultivos productores de aceites vegetales a nivel mundial en la campaña 2010/2011.

Estados Unidos ocupa el tercer lugar en la producción de biodiesel y la soja es la principal materia prima. La práctica totalidad de la producción de este aceite se utiliza internamente en el mercado nacional, incluso antes de la presencia del biodiesel en su matriz energética. El biodiesel representa el 13% del consumo de aceite de soja en el país (USDA, 2011).

El aceite de palma también está incrementando su consumo para la producción de biodiesel, situándose alrededor del 30% de la producción en el sudeste asiático.

Hoy en día la gran mayoría de los países del mundo, poseen algún tipo de política o instrumento para favorecer el desarrollo de sistemas de energía sostenibles y perdurables en el tiempo. Estos programas permiten ubicar la posición relativa de cada región en términos de desarrollo e innovación de los biocarburantes a nivel global, así como su nivel de competitividad a mediano y largo plazo, identificando las competencias tecnológicas y los esfuerzos en investigación y desarrollo de cada país. Paralelamente a estos estudios y antes que ningún país de embarcarse en la producción de estos biocombustibles, los gobiernos deben llevar a cabo análisis en profundidad sobre su potencial e identificar los posibles impactos ambientales y sociales, así como los vínculos con la seguridad alimentaria.

1.7. BRASIL. LOS BIOCOMBUSTIBLES Y EL PNPB

Los biocombustibles presentan un crecimiento anual de aproximadamente el 10% desde el año 2000. Del total de la producción, el 82% corresponde a bioetanol y un 18% a biodiesel. Además de que hoy en día, la gran mayoría de los países del mundo, incluyendo los de América Latina y el Caribe, poseen algún tipo de política o instrumento para favorecer su desarrollo. Con base en las estadísticas y las tendencias del mercado, Argentina crecerá entre el quinto y el cuarto lugar en ranking mundial de producción de biodiesel, justo por detrás de Brasil, que pasará del cuarto al tercer lugar. Alemania y Francia, se espera que repita el primer y segundo lugar respectivamente, y los Estados Unidos podrían caer del tercer al quinto puesto.

Brasil viene desarrollando desde la década de 1970, una política energética que intenta depender cada vez menos de petróleo y aumentar la producción de biocombustibles, particularmente de etanol. De hecho, uno de los temas de agenda estratégicos de la política de seguridad energética de Brasil es convertirse en la mayor potencia mundial energética en el siglo XXI, gracias al desarrollo de la tecnología necesaria para producir etanol, a partir de la caña de azúcar. En este sentido, el Plan de Reducción de Dependencia Energética busca lograr la autosuficiencia energética de Brasil.

Brasil también considera, en sus proyecciones futuras y dentro de la política de seguridad energética, la estrategia de producir biodiesel, así en 1980 se registró la primera patente mundial sobre biodiesel, por la Universidad Federal de Ceará (Crestana, 2005). La Ley 11097, aprobada el 13 de enero de 2005, dispone la introducción del biodiesel en la matriz energética brasileña, lo que supone el punto de partida para el desarrollo de políticas públicas en el marco del Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel (SAGPyA-IICA, 2005). Otro elemento que hay que considerar es que este programa nacional se encuentra enmarcado en una política estratégica agro-energética como respuesta a las proyecciones de escasez de petróleo y a su vez, como impulso al incremento de la productividad agrícola (Ministerio da Agricultura, Pecuaria e Abastecimiento, 2006).

La Ley 11097, además de promover incentivos para las empresas en la producción de biodiesel, indicaba el uso obligatorio de al menos un 2% (B2) de biodiesel para el año 2008, el 5% (B5) para el año 2013 y para el 2020 tener la sustitución a B20 (que utiliza 80% diesel y 20% de biodiesel) (Pousa *et al.*, 2007), lo que obliga a la producción de más de 2 millones de litros de biodiesel por año.

El desarrollo y uso de la bioenergía en Brasil ha sido discutido por varios investigadores (Pacheco, 2004; Ferrari *et al.*, 2005; Freitas y Fredo, 2005; Lovatelli, 2005; Peres *et al.*, 2005; Rathmann *et al.*, 2005; Nass *et al.*, 2007; Padula *et al.*, 2012; Lamas y Giacaglia, 2013), abordando temas relacionados con las políticas y regulaciones de los biocombustibles, las oportunidades y riesgos asociados, los vínculos con el ambiente y la seguridad alimentaria.

La producción de bioetanol, en Brasil, a partir de la fermentación del azúcar de caña y la producción de biodiesel a partir del aceite de palma ha sido una excelente alternativa desde el punto de vista agrario, ante un clima internacional proteccionista que imponía restricciones al comercio en productos agrícolas (Sánchez-Macías, 2006). De manera que, el fomento del uso de biocarburantes, respetando las prácticas sostenibles en agricultura, ha creado nuevas oportunidades de desarrollo rural sostenible y contribuye al respeto de una vida rural próspera y una agricultura multifuncional, abriendo un mercado nuevo para productos agrícolas innovadores.

Las condiciones climáticas, la diversidad de zonas edafoclimáticas favorables a los posibles cultivos que son materia prima para la producción de biodiesel, con suelos fértiles y con capacidad de agua para riego y la vocación agrícola de Brasil son también factores añadidos para posicionar estratégicamente, a este país como un importante proveedor mundial de aceite verde (Oliveira *et al.*, 2008), pudiendo lograr una alta productividad en los diferentes cultivos energéticos. En este sentido, el *National Biodiesel Board* (NBB) indican que Brasil podría suministrar el 60% de la demanda mundial de biodiesel para sustituir al gasóleo procedente del petróleo.

El material de origen para la producción de biodiesel en Brasil varía en función de las regiones. Diferentes especies oleaginosas se han utilizado y otras están siendo estudiadas como fuentes potenciales para la obtención de biodiesel. La soja ha sido el

cultivo más empleado para la transesterificación en Brasil, pero otras materias primas vegetales vienen siendo probadas para estos fines. Entre los cultivos estudiados están el algodón, el ricino, la palma, el girasol, la colza, el cacahuete y otras oleaginosas (Peres y Beltrao, 2006).

La tendencia en Brasil es que la discusión sobre el nuevo marco regulatorio de producción de biocombustibles se intensifique. Un ejemplo de ello es el Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel (PNPB, 2004), donde el Gobierno Federal de Brasil se apoyó, debido a la creciente demanda de combustibles procedentes de fuentes renovables y en el potencial brasileño para atender parte de esas necesidades, generando empleos y renta en la agricultura familiar, reduciendo disparidades regionales y contribuyendo a la economía de divisas y mejorar las condiciones ambientales. La utilización de combustibles líquidos obtenidos de vegetales cultivados fue considerada por el gobierno de Brasil, como alternativa interesante a la crisis del petróleo de 1973 y 1974, y especialmente, a la crisis de 1979 y 1980.

Los principales objetivos del PNPB son: 1) Implementar un programa de producción de materias primas sostenible. 2) Promover la inclusión social. 3) Asegurar precios competitivos, la calidad y la oferta.

El Plan establece otorgar un sello acreditativo de "Combustible Social", la presencia de esta identificación expedida por el Ministerio de Desarrollo Agrario a los productores de biodiesel que promuevan la inclusión social y el desarrollo regional mediante la generación de empleo y renta para los agricultores familiares. A través de este sello, el productor de biodiesel tiene acceso a programas de seguridad social, crédito y coeficientes de reducción para la financiación. También puede usar el sello para fines de promoción comercial. El sello se otorga a los productores de biodiesel que compran materias primas de los agricultores familiares en un porcentaje mínimo, que depende de la región.

Los contratos con los agricultores deben indicar, al menos, el precio de compra y los criterios para el ajuste del precio del contrato, las condiciones de entrega de materias primas, con protección para las partes, identificación y el acuerdo de una representación de los agricultores que participaron en las negociaciones. Además proporcionar asistencia técnica y capacitación a los agricultores.

A pesar de ser considerado un éxito, el programa de biodiesel brasileño todavía tiene desafíos tales como la descentralización de la producción y el creciente papel de la agricultura familiar como proveedor de materias primas.

Entre 2008 y 2011, las ventas de biodiesel pasaron de 1.1 millones de m³ a 2.6 millones de m³. En 2010, unos 100000 agricultores fueron parte del programa de biodiesel, aunque la producción y los ingresos de las familias no son todavía satisfactorios.

La participación del etanol en la matriz de combustible en Brasil se redujo de 44.6% a finales de 2010 a 31.68% a finales de 2011, esta reducción es el resultado de un mantenimiento artificial de los precios de la gasolina, lo que hace que el etanol pierde competitividad en el espacio del mercado del combustible. En el caso del etanol, el gran elemento de distorsión en Brasil es la política de precios aplicada por el gobierno.

En el marco de políticas de promoción del consumo de biodiesel, el Ministerio de Deportes, promovió que el biodiesel se utilizará como combustible en la mayoría de los medios de transporte durante la Copa del Mundo en Brasil en 2014.

Los datos de la Agencia Internacional de Energía, en el año 2010, indican que 81% de la energía de la matriz energética proviene de fuentes fósiles, principalmente del petróleo, carbón mineral y gas natural, el 6% corresponde a energías nucleares y el 13% restante procede de energía renovables. Este panorama se visualiza para el año 2030, con un importante descenso del consumo de energía procedente de fuentes fósiles, ya que ésta se situará en el 77%, frente al incremento del 17% de la energía procedente de fuentes renovables y se mantiene el 6% procedente de la energía nuclear (figura 7).

En la figura 8 se muestra la misma distribución, pero especificando las fuentes energéticas presentes en cada grupo, de forma que dentro de las energías renovables, se distingue no sólo la energía procedente de biomasa, sino de otras fuentes, como la

hidroeléctrica. Se observa el impulso que pueden tomar otras fuentes energéticas, como la eólica.

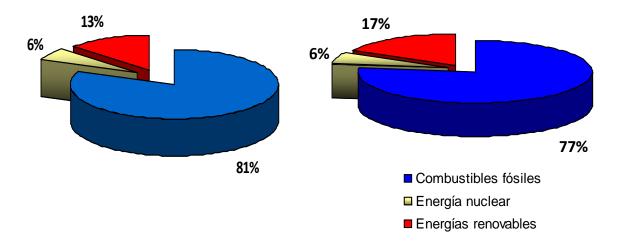


Figura 7. Matriz energética en el mundo en 2010 (izquierda) y proyección de la matriz energética en 2030 (derecha) de fuentes energéticas agrupadas.

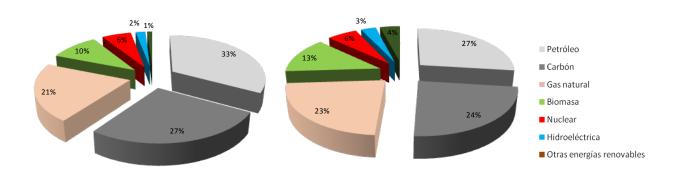


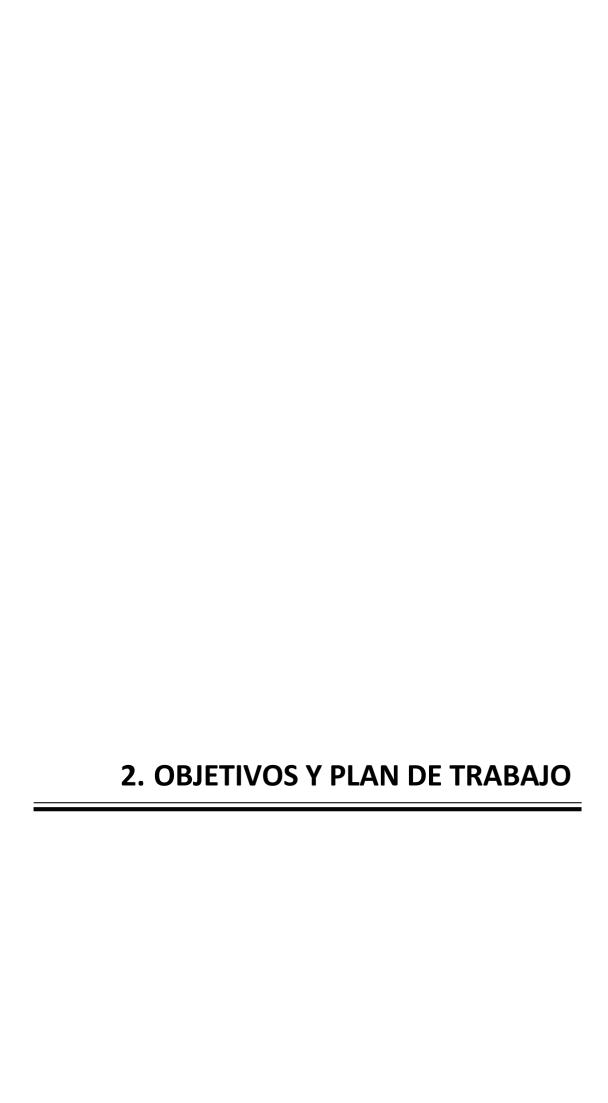
Figura 8. Matriz energética en el mundo en 2010 (izquierda) y proyección de la matriz energética en 2030 (derecha).

Según Lovarelli (2005) Brasil es el único país del mundo con altas capacidades para desarrollar y expandir la producción de oleaginosas de forma sostenible para la producción de biodiesel. De manera que la expansión se tendrá que producir mediante la recuperación de áreas ya degradadas, o que manifiesten inicio de degradación.

Pero las expectativas puestas en el PNPB no se han alcanzado en su totalidad. Rathmann *et al.* (2012) analiza el nivel de cumplimiento del Programa, para ver si éste ha logrado los resultados prometidos. Desde el punto de vista

1. INTRODUCCIÓN

socioeconómico, se ha observado que la generación de empleo en el sector agrícola ha sido muy inferior a la cifra de creación de 1.3 millones de puestos de trabajo previstos. Desde el punto de vista de la reducción de la salida de divisas, debido a la potencial disminución en la demanda de diesel importado, el resultado no ha sido significativo, ya que la opción de usar metanol en lugar de etanol en la ruta de transesterificación ha dado lugar a la mayor necesidad de importar metanol para producir biodiesel, sin compensar la menor necesidad de importar diesel procedente del petróleo. Sin embargo, a pesar de que los objetivos esperados no se ha alcanzado, en particular desde el punto de vista socioeconómico, los aspectos sobre la eficiencia energética y el potencial para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero parecen estar en la línea de lo programado. En este sentido, los autores del estudio (Rathmann et al., 2012) indican que el ratio de energía entrante/energía saliente en la producción de biodiesel a base de soja y el potencial de mitigación de los gases de efecto invernadero del biodiesel puro, justifican el continuo esfuerzo por mejorar el PNPB y para lograr resultados más prometedores en relación con los otros indicadores.



2.1. OBJETIVOS

La intensificación en el uso de biocombustibles genera tanto beneficios como riesgos ambientales asociados (McLaughlin y Walsh, 1998). Los diferentes riesgos se pueden agrupar en impactos generados por la producción agrícola, en impactos generados por la transformación industrial (extracción de los aceites, transesterificación, purificación, etc.) y los riesgos asociados al propio consumo como combustible. Pero también existen impactos asociados a las actividades de transporte y distribución, tanto de la materia prima necesaria para la obtención del biocombustible, como del propio biodiesel, y otros asociados a la producción de los insumos necesarios y empleados en la producción de la materia prima, principalmente de las especies vegetales, como fertilizantes, componentes químicos del proceso industrial, maquinaria agrícola, etc. (Rodríguez y Valencia, 2012).

La etapa de producción agrícola es significativamente influyente, debido a los e ec os sobre el uso de la tierra, la especie vegetal empleada, la forma de producción (uso de fertilizantes, productos fitosanitarios, maquinaria, dosis y tipo de riego, etc.), pero además porque en esta fase se originan la mayor parte de los impactos ambientales negativos, principalmente debido al uso de agroquímicos y sus consecuencias, como la degradación de suelos, sobre explotación de los recursos hídricos y la competencia de suelos a la hora de generar alimentos. Así, los impactos ambientales asociados al uso de fertilizantes, especialmente los nitrogenados, ocasionan problemas de eutrofización de aguas continentales, contaminación de nitratos en acuíferos, y el incremento de las emisiones de efecto invernadero, por dos cuestiones, por el proceso de producción de los fertilizantes de síntesis y en su aplicación al suelo, por liberación de N₂O. El uso de sustancias fitosanitarias también se relaciona con la contaminación del suelo, del agua y del aire, y atañe a cuestiones de salud, por cuestiones de bioacumulación (Kim y Dale, 2005).

El potencial de las especies vegetales productoras de energía es amplio, de la misma manera que el de las técnicas de producción con menor impacto sobre el sistema (Heaton *et al.*, 2004). Por ello se hace necesario estudiar el comportamiento productivo de las especies autóctonas que puedan tener una mayor adaptación al

medio, minimizando los insumos empleados en el sistema productivo y posteriormente llevar a cabo una selección de especies y prácticas fertilizantes encaminadas a obtener la mayor cantidad posible de biomasa recolectable, en las mejores condiciones de calidad.

El objetivo principal del presente trabajo es estudiar el comportamiento agronómico de tres cultivos oleaginosos ricino (Ricinus communis L.), girasol (Helianthus annuus L.) y algodón (Gossypium hirsutum L.) bajo diferentes manejos fertilizantes, en la región de Mato Grande (Brasil) para evaluar su potencial agronómico y la calidad de sus aceites destinados a la producción de biocombustible. Así, este trabajo pretende aportar nuevos datos sobre el potencial para la producción de biocombustibles en Brasil, como una forma de disminuir la dependencia energética, generando economía entre los productores, que pueden introducir los cultivos energéticos en las rotaciones clásicas, incluso con la reducción de insumos y contribuyendo a los modelos de agricultura familiar. El principal objetivo de esta investigación es mostrar alternativas de cultivos y prácticas de fertilización nitrogenada, que puedan dar origen al biodiesel en las mejores condiciones de rentabilidad del aceite, así como del biodiesel obtenido. Se incluyen comparaciones de producción de los diferentes aspectos agronómicos que influyen en el cultivo, rendimientos del cultivo, del aceite y del biodiesel obtenido, así como de la calidad de los aceites obtenidos (perfil de ácidos grasos) y sus repercusiones sobre el rendimiento de biodiesel, entre otras características.

Los objetivos específicos son:

- 1. Determinar el cultivo más adecuado, desde el punto de vista de rendimiento agronómico, para la obtención de biomasa y su aprovechamiento para la obtención de biodiesel.
- 2. Analizar el efecto de las prácticas fertilizantes (empleo de fertilizantes químicos de síntesis, fertilización orgánica y no fertilización) sobre el rendimiento agronómico de los cultivos de ricino, girasol y algodón.

- 3. Estudiar el comportamiento de los cultivos de ricino, girasol y algodón, como cultivos energéticos, cuando las prácticas de fertilización son ecológicas.
- 4. Evaluar el rendimiento graso de las semillas de ricino, girasol y algodón, para cada una de las variables de fertilización.
- 5. Evaluar el rendimiento en la obtención de biodiesel de los aceites de ricino girasol y algodón, para cada una de las variables de fertilización.
- 6. Valorar la calidad de los aceites de ricino, girasol y algodón, en función del perfil lipídico y el potencial de los mismos en la reacción de transesterificación para obtención de biodiesel, para cada una de las variables de fertilización.

2.2. PLAN DE TRABAJO

Para llevar a cabo los objetivos planteados se diseñó un plan de trabajo (figura 9), que consta de los siguientes apartados:

- Selección del material vegetal idóneo (por disponibilidad, adecuación al tipo de suelos, precocidad de germinación, etc.) de las tres especies a estudiar.
- ➤ Implantación de los cultivos de ricino, girasol y algodón, consistente en la adecuación del suelo de cultivo, sistema de riego, prácticas culturales, etc. en las épocas adecuadas de producción de cada especie vegetal.
- Programación de los muestreos de campo, en función de los momentos críticos del ciclo vegetativo, de las diferentes especies vegetales.
- Evaluación y control (estado sanitario, estado vegetativo, estado productivo, etc.) de los tres cultivos.
- Programación de la recolección de cada especie, en función de la época apropiada a cada cultivo.
- Extracción de los aceites de ricino, girasol y algodón.
- Evaluación de la composición de ácidos grasos de los aceites de ricino, girasol y algodón.
- Producción del biodiesel a partir de los aceites de ricino, girasol y algodón.

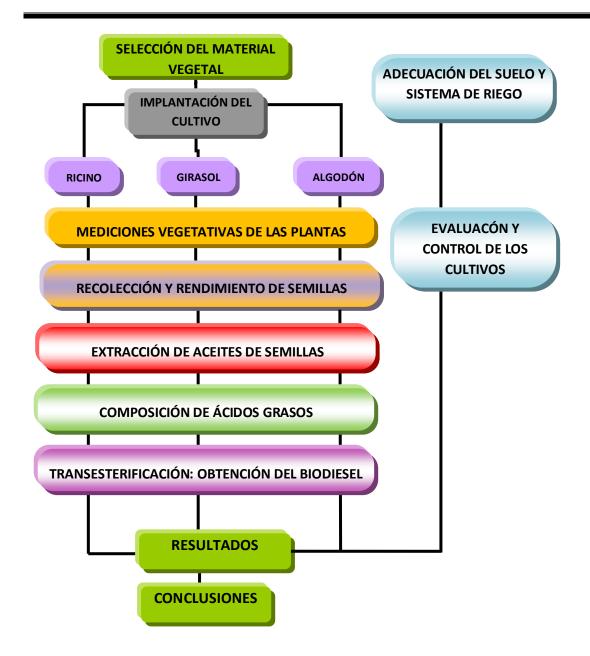


Figura 9. Esquema del Plan de trabajo.

Los cultivos de ricino, girasol y algodón se llevaron a cabo durante las campañas 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).

Las determinaciones realizadas, en cada una de las variables de fertilización, para el cultivo y semillas de ricino han sido:

- Altura de la planta.
- Distancia de la inserción del primer racimo floral.

- Longitud del racimo floral.
- Número de racimos florales.
- Peso de 300 semillas.
- Rendimiento del aceite de semillas de ricino.
- Perfil lipídico del aceite de semillas de ricino.
- Rendimiento del biodiesel del aceite de las semillas de ricino.

Las determinaciones realizadas, en cada una de las variables de fertilización, para el cultivo y semillas de girasol han sido:

- Altura de planta.
- Diámetro del tallo.
- Diámetro del capítulo.
- Peso de 1000 semillas.
- Rendimiento del aceite de semillas de girasol.
- Perfil lipídico del aceite de semillas de girasol.
- Rendimiento del biodiesel del aceite de las semillas de girasol.

Las determinaciones realizadas, en cada una de las variables de fertilización, para el cultivo y semillas de algodón han sido:

- El peso de 100 semillas junto con el linter.
- Rendimiento del aceite de semillas de algodón.
- Perfil lipídico del aceite de semillas de algodón.
- Rendimiento del biodiesel del aceite de las semillas de algodón.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EXPERIMENTAL

El estudio experimental se llevó a cabo durante las campañas agrícolas de 2009 (año 1) y 2010 (año 2). La zona donde se realiza la experimentación es en la región de Mato Grande en el distrito de Pedro Avelino (Brasil), ubicado en la meso-región Central Potiguar y en la micro-región de Angicos, al límite con los municipios de Macau, Guamaré, Jandaíra, Lajes, Angicos y Afonso Bezerra (figura 10) y distante 160 km de Natal, que es la capital del estado. La zona posee un clima muy cálido, clasificado como clima-árido (Bw) según la clasificación de Koppen, con pluviometría media anual de 578.9 mm, con período de lluvias desde marzo a abril y temperaturas medias anuales que oscilan entre los 32 °C de máxima y 21 °C de mínima, una humedad relativa media de 70% y 2400 horas de insolación anual. En el anexo se muestran los datos pluviométricos de las dos campañas. Observándose que el año 2009 se caracterizó como muy lluvioso y el 2010 como seco.



Figura 10. Localización de la zona del estudio en el distrito de Pedro Avelino (Brasil).

En concreto las parcelas donde se implantaron los cultivos oleaginosos están situadas en la estación experimental de "Terras Secas" de la *Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte* (EMPARN), cuyas coordenadas geográficas son 05° 17′ 39.17″ latitud sur y 36° 16′ 26.34″ de longitud este (figura 11).



Figura 11. Situación geográfica de las parcelas experimentales.

La zona se caracteriza por diversificación en sus suelos. En el caso del suelo de las parcelas de los cultivos, se trata de un Cambisol Háplico según la clasificación del Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos (SiBCS) (Santos *et al.*, 2006), este suelo se caracteriza por presentar una textura media y substrato calcáreo, con pH alcalino, alrededor de 8.0, son constituidos por materiales minerales, con horizonte B incipiente (Bi) de textura franco-arenosa, pudiendo aparecer un pequeño incremento de arcilla del horizonte A para el Bi. La estructura del horizonte B puede ser en bloques, granular o prismática, existiendo casos, con ausencia de agregados, con granos simples o agregados unidos y homogéneos.

La tabla 5 muestra los valores del análisis de suelo de la parcela experimental en cuatro puntos de la misma (AM1, AM2, AM3 y AM4) y en el promedio de la parcela, realizados en noviembre de 2009. Se observa que es un suelo de textura arenosa, con reacción básica y adecuado nivel de elementos minerales.

Tabla 5. Valores de los parámetros característicos del análisis de suelos en cuatro puntos de la parcela experimental y en el promedio.

Parámetro •	Resultados analíticos					
Parametro	Punto AM 1	Punto AM 2	Punto AM 3	Punto AM 4	Promedio	
pH en agua (1:2.5)	8.56	8.55	8.60	8.63	8.58	
Ca (cmol.kg ⁻¹)	3.10	3.65	2.80	2.78	3.08	
Mg (cmol.kg ⁻¹)	1.20	1.55	1.28	1.28	1.33	
Al (cmol.kg ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
H+Al (cmol.kg ⁻¹)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
P (mg.kg ⁻¹)	49	31	37	35	38	
K (mg.kg ⁻¹)	56	65	59	63	61	
Na (mg.kg ⁻¹)	95	67	80	34	54	
Fe (mg.kg ⁻¹)	6.08	6.01	7.96	8.12	7.04	
Zn (mg.kg ⁻¹)	6.15	4.60	4.74	4.47	4.99	
Cobre (mg.kg-1)	1.66	1.64	1.76	3.30	2.09	
Mn (mg.kg ⁻¹)	17.01	21.06	27.24	15.60	20.23	
Densidad total (kg.dm ⁻³)	1.55	1.55	1.57	1.50	1.54	
	Granulometría					
Arena (g.kg ⁻¹)	923	892	907	907	907	
Arcilla (g.kg ⁻¹)	20	40	20	20	25	
Limo (g.kg ⁻¹)	57	68	73	73	68	
Clasificación textural	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	

El agua de riego procede de un pozo de la propia finca. La tabla 6 muestra los valores del análisis de agua de riego empleada en la parcela experimental, realizado en diciembre de 2009. El agua utilizada para el riego está calificada como C₄S₁T₃ según el sistema de clasificación del Consejo de Consultores de la Universidad de California (UCCC), con alto riesgo de salinidad (University of California, 1972). Se trata de un agua de alta salinidad, con alto nivel en cloruros y sodio, pero de bajo riesgo de ocasionar problemas de impermeabilidad en los suelos.

Tabla 6. Valores de los parámetros característicos del análisis de agua de riego de la parcela experimental.

Parámetro	Resultados analíticos		
рН	6.9		
Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹) (25 °C)	4.39		
Calcio (mmol.L ⁻¹)	18.76		
Magnesio (mmol.L ⁻¹)	16.12		
Sodio (mmol.L ⁻¹)	15.82		
Potasio (mmol.L ⁻¹)	0.29		
Cloruro (mmol.L ⁻¹)	36.64		
Carbonato (mmol.L ⁻¹)	0.0		
Bicarbonato (mmol.L ⁻¹)	6.36		
Relación de absorción de sodio-RAS	4.83		

3.2. CULTIVO DE RICINO

El ricino (*Ricinus communis* L.) es una planta oleaginosa posiblemente originaria del cuerno de África, pero distribuida en diferentes regiones cálidas del mundo, entre ellas Brasil, principalmente por su aprovechamiento en la obtención de aceite, habiéndose cultivado desde la antigüedad. Es una planta muy tolerante a la sequía, empleándose como alternativa en la región semiárida del Brasil, donde existen pocas alternativas agrícolas (Azevedo *et al.*, 1997).

Se trata de una planta monoica, de crecimiento indeterminado, arbustiva de tallo grueso, leñoso y hueco, que en función de las variedades, puede presentar los peciolos, nervios e incluso las propias hojas de color variable, desde el verde al púrpura oscuro. Las hojas son alternas, muy grandes, de nerviación palmeada y hendidas de 5 a 9 lóbulos, de bordes irregularmente dentados. El peciolo es muy largo (de 10 a 20 cm), unido por su parte inferior.

Las flores están dispuestas en grandes inflorescencias, erguidas, que emergen entre los nudos del tallo y los pedúnculos de las hojas; en la parte inferior de dichas inflorescencias están las flores masculinas, las flores femeninas se encuentran en la parte superior de la panícula. El fruto es globuloso, trilobulado, casi siempre cubierto por abundantes púas. Tiene tres cavidades, cada una con una semilla, grande y jaspeada, de superficie lisa y brillante. Al secarse los frutos, la cubierta espinosa se tensa progresivamente produciendo un efecto de resorte que lanza la semilla a distancias superiores a los diez metros, siendo ésta la forma de su diseminación.

La rama principal crece verticalmente, sin ramificaciones, hasta surgir la primera inflorescencia. El nudo en el que aparece el primer racimo o inflorescencia es una importante característica agronómica, asociada a la precocidad de la planta. La rama lateral surge, crece y se desarrolla de la axila de la última hoja, así como debajo de cada inflorescencia. Todas las ramas secundarias, terciarias, y de cuarto orden presentan crecimiento limitado, terminando siempre en una inflorescencia, formando una estructura sigmoidea (Mazzani, 1983; Machado *et al.*, 2012) (figura 12).

El aceite de las semillas de ricino es una materia prima de múltiples aplicaciones en la industria química debido a sus características moleculares peculiares, que lo convierten en un aceite vegetal naturalmente hidrolizado, además presenta una composición lipídica con predominancia en el ácido graso ricinoleico, que le imprime unas propiedades químicas características (Aca-Aca *et al.*, 2009).



Figura 12. Planta de ricino de la variedad BRS energía en fase de recolección.

La variedad de ricino empleada para el estudio ha sido la BRS energía. Se trata de un cultivar obtenido por EMBRAPA, EBDA y EMPARN en 2007. Se caracteriza por ser precoz (ciclo entre 120 y 150 días), porte bajo (alrededor de 1.40 m de altura), color de hojas y frutos verde, con ceras. Los racimos son de forma cónica, con tamaño promedio de 60 cm. Las semillas pueden pesar entre 0.40 y 0.53 g, oscilando el color de las mismas de marrón al beige. El rendimiento promedio es de 1800 kg/ha en régimen de sequia. Puede producir de dos a ocho racimos por planta, de acuerdo con la densidad de plantación, en condiciones de monocultivo esta densidad puede ser de 1 m x 1 m o de 0.70 m x 0.40 m. Cada racimo llega a producir 100 frutos y el nivel de aceite promedio es del 48% (www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/cultivares.html).

3.3. CULTIVO DE GIRASOL

El girasol (*Helianthus annuus* L.) es una planta originaria del continente americano, más precisamente de Norteamérica y Centroamérica. Su cultivo se remonta al año 1000 a. C., pero existen datos (Heiser, 1951) que indican que el girasol fue domesticado primero en México al menos 2600 años a. C. En muchas culturas amerindias, el girasol fue utilizado como un símbolo que representaba a la deidad del sol, principalmente los aztecas y otomíes en México, y los incas en el Perú.

Actualmente el cultivo del girasol está presente en todos los continentes, observándose un incremento de la superficie y de los rendimientos de cultivo en los últimos diez años. Rusia es actualmente el país que más produce esta oleaginosa, seguido de la Unión Europea. En América del Sur destaca Argentina, mientras que Brasil todavía no es un productor importante de girasol.

El girasol es una planta anual de porte alto (algunos cultivares pueden alcanzar los 3 m de altura) y raíces profundas. Por ello el suelo para su cultivo debe ser profundo y permeable, para facilitar la penetración de las raíces. Los tallos son generalmente erectos, la mayoría de las hojas son caulinares, alternas, pecioladas, con base cordiforme y bordes aserrados. Los frutos son cipselas ovaladas, algo truncados en la base, de 3-15 mm de largo, estriados por finísimos surcos verticales, de color oscuro, aunque pueden ser también blanquecinas, rojizas, de color miel o bien moteados o con bandas longitudinales más claras. Los frutos del girasol, son utilizados para consumo directo, o bien para la extracción de aceite de consumo humano, o bien para otros usos industriales. Contiene hasta un 58% de aceite en su fruto y son ricos en vitamina E y minerales.

El nombre girasol hace referencia a que el capítulo floral gira según la posición del sol (heliotropismo). Esta orientación variable se manifiesta cuando la planta es joven, cuando madura, ya no gira y se queda en una posición fija hacía el levante.

El desarrollo de la planta de girasol está dividido en dos etapas: vegetativa y reproductiva. La etapa vegetativa va desde la siembra hasta la aparición del brote floral, la etapa reproductiva incluye desde la aparición del brote floral hasta la maduración fisiológica de las cipselas. Las fases de germinación-

emergencia deben ocurrir a los 7 días tras la siembra, procurando buena calidad de semillas para una germinación lo más rápida y uniforme posible. La fase de crecimiento es inicialmente lenta, pero después de 25-30 días se acelera, la absorción de agua y nutrientes se intensifica, mientras avanza el crecimiento. La etapa de floración es función, del genotipo y dura alrededor de 10-15 días. El relleno de los aquenios también depende principalmente del genotipo, oscilando de 7 a 10 días, tras el inicio de esta fase, la intensidad de absorción de agua y nutrientes disminuyen. La fase de maduración y cosecha se caracteriza por la pérdida de agua en los aquenios, en función de esto puede tardar de 20 hasta 30 días, conforme la velocidad de la pérdida de agua. Estas fases también van a depender del material genético y de los factores climáticos, esencialmente la temperatura (Paiva et al., 2003).

La variedad de girasol empleada para el estudio ha sido Catissol 01. Se trata de una variedad obtenida por cruzamiento y recombinación de diferentes genotipos en el año 2000 por el *Departamento de Sementes, Mudas e Matrizes/Cati* (Brasil). Esta planta presenta un porte erecto, alcanzando una altura de 1.70 m. El capítulo floral, en promedio, puede alcanzar los 22 cm de diámetro (figura 13), que presenta buena aptitud para la floración y obtención de aceite (www.cati.sp.gov.br/Cati/ produtos/SementesMudas/cultivares/GIRASSOL-CATISSOL01.pdf).



Figura 13. Capítulo floral inmaduro (derecha) y maduro (izquierda) de la planta de girasol de la variedad Catissol 01.

3.4. CULTIVO DE ALGODÓN

El algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es una planta dicotiledónea, herbácea, anual, de la familia de las Malvaceae que pertenece al género *Gossypium*, con 52 especies conocidas. Puede alcanzar entre los 60 y 150 cm de altura. El eje del tallo es de color variable, del verde al rojizo, dependiendo de la variedad. Las hojas son lobuladas, de forma más o menos triangular. El limbo mide de 5 a 10 cm de largo, el ancho es ligeramente más grande que la longitud. La base de la hoja tiene forma de corazón. El pecíolo tiene entre 3 y 10 cm de largo. Las flores salen de una inflorescencia axial y tienen unos 2.5 cm de largo. Su color es blanco, amarillento o rojizo. El fruto es una cápsula de 3 a 4 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho. Las semillas son ovales y de 0.3 a 0.5 cm de longitud. La semilla está rodeada de una fibra larga (linter), de color generalmente blanco, que es lo que constituye literalmente el algodón.

El origen de la planta de algodón se centra en el Valle de Tehuacán (México). El algodón, en la zona del medio-oeste de Brasil, apareció como una alternativa a la rotación con la soja. Actualmente la zona de El Cerrado brasileño representa el 84% de la producción brasileña de algodón, con el estado de Mato Grosso como el mayor productor del país. El éxito de la cosecha de algodón en El Cerrado ha sido impulsada por las favorables condiciones climáticas, las tierras planas, que permiten la mecanización completa de la agricultura, los programas de incentivos culturales aplicados por los Estados de la región y, especialmente, el uso intensivo de las tecnologías modernas (Wendel *et al.*, 1992).

De acuerdo con Souza *et al.* (2006), la temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del algodón es de 22 a 32 °C. En condiciones inferiores a los 22 °C, el ciclo de la planta es muy largo, mientras que en condiciones superiores a los 32 °C, la tasa de respiración es significativamente alta y el ciclo del algodón se ve reducido. El algodón es extremamente exigente en luz. Los periodos de baja luminosidad provocan la caída acentuada de las estructuras reproductivas. Según Suarez *et al.* (2001) desde el inicio del crecimiento de los frutos, la deficiencia de luz reduce significativamente el número de botones lo les por planta y su peso.

Entre la siembra y la apertura de los primeros frutos, el algodón es bastante exigente en agua. Para producir 1 g de materia seca, las plantas necesitan de 450 g a 950 g de agua. El algodón también es muy sensible a la falta de oxígeno en el suelo, especialmente durante las primeras semanas, tras el inicio de la floración. Los períodos muy largos de lluvia, con baja radiación solar, hacen que la tasa de abscisión de las estructuras reproductivas tenga un aumento significativo. En la fase de maduración de los frutos, el exceso de lluvias impide su apertura o puede causar podredumbre, y si los frutos ya están abiertos, la lluvia en exceso puede provocar la germinación de las semillas, con el detrimento de la calidad de la fibra (Souza *et al.*, 2006).

El algodón crece en una amplia variedad de suelos, pero los que se recomiendan son suelos medios, fuertemente texturizados, profundos, bien drenados, fértiles y con buenas características de retención de agua. Los subsuelos ácidos o densos limitan la penetración. El cultivo es tolerante a la salinidad del suelo.

El cultivo de algodón no sólo provee fibra para la industria textil, sino que también juega un rol en las industrias aceiteras y de la alimentación, debido a su semilla, que es rica en aceites (18-24%) y proteínas (20-40%).

La variedad estudiada en el presente trabajo fue Embrapa CNPA 7H, obtenida por mejora genética en 1994, por Embrapa, caracterizada por tener porte herbáceo para la obtención de fibra principalmente y que produce capullos de peso elevado (6.7 g) y con un rendimiento en fibra alrededor del 39% (Soares *et al.*, 1999) (figura 14).



Figura 14. Cultivo y capítulo floral de algodón de la variedad Embrapa CNPA 7H en fase de cosecha.

3.5. METODOLOGÍA

3.5.1. Metodología aplicada a los cultivos en campo

Los cultivos de ricino, girasol y algodón se ensayaron durante dos campañas agronómicas consecutivas (2009 y 2010). Los cultivos fueron implantados mediante siembra directa en las parcelas de la estación experimental de "Terras Secas" de EMPARN.

El diseño experimental se realizó por bloques experimentales (figura 15). Cada cultivo está compuesto de tres tratamientos fertilizantes: tratamiento convencional (AQ), donde las plantas son abonadas con fertilizantes químicos, tratamiento orgánico (AE) donde las plantas son abonadas por fertilizantes autorizados para la agricultura ecológica y tratamiento testigo donde las plantas no son fertilizadas (SA), cada tratamiento ocupaba una superficie de 150 m² dividido en 10 parcelas elementales, compuestas por 10 plantas, con un total de 100 plantas por tratamiento. Cada bloque está separado por un cinturón protector. 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.

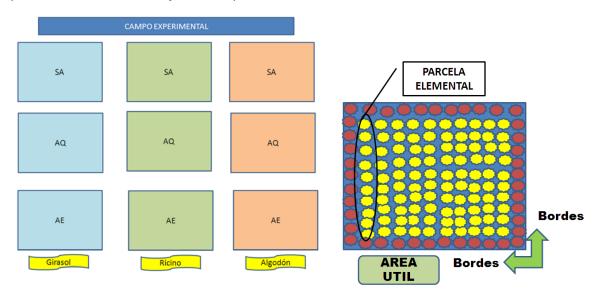


Figura 15. Esquema del diseño experimental (izquierda) y de la distribución del bloque y la parcela elemental (derecha).

El tratamiento con abono ecológico consistió en una aportación anual de 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. La aportación se realizó 30 días antes de la siembra en cada campaña. La composición en macro y micronutrientes del estiércol de oveja empleado se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Composición en macro y micronutrientes del estiércol de oveja empleado como fertilización orgánica.

	Elemento	Contenido
Carbono orgánico (%)		18.09
_	N	6.47
	Р	4.05
Macronutrientes	K	17.79
(g.kg ⁻¹)	Ca	7.39
	Mg	2.97
	Na	1.11
	Zn	70
Micronutrientes	Cu	50
(mg.kg ⁻¹)	Fe	451.25
·	Mn	290

El tratamiento de fertilización convencional fue equiparable al manejo tradicional del productor convencional de la región, consistente en un aporte de 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 94 g/golpe para el algodón, estas dosis se realizarían como abonado de fondo y se repite a los 15 días después de la siembra. Estas aportaciones se realizan de forma similar en las dos campañas.

Para el tratamiento sin fertilización, no se realizaron aportes fertilizantes, ni enmiendas orgánicas.

Las diferencias cuantitativas entre los aportes fertilizantes para el sistema ecológico y el convencional se deben principalmente a la naturaleza del estiércol de oveja aplicado. Se trata de un material poco compostado, con bajo contenido en carbono orgánico y una alta relación C/N (aproximadamente 27.8), lo que genera una baja disponibilidad del nitrógeno asimilable en el suelo. Teniendo en cuenta que los cultivos son de ciclo corto, y que en la descomposición de la materia orgánica van a intervenir factores no controlables, como los climáticos, hay que garantizar que las plantas van a tener los elementos esenciales para su ciclo, mediante las aportaciones altas del estiércol y las condiciones que garanticen la mineralización de los aportes.

El riego a los tres cultivos se realizó por el sistema de goteo, con aportaciones iniciales que oscilaron entre 1 hora al día, hasta 3 horas al día repartidas, en dos turnos de acuerdo con el desarrollo de los cultivos, empleando goteros con un caudal de 2 L/h. Los goteros estaban distribuidos cada 40 cm en el cultivo del algodón, de manera que la planta se encontraba entre dos goteros. La planta de girasol contaba con un gotero, mientras que el marco de plantación entre planta y planta de ricino fue de 1 m, por lo que para cuadrar el bulbo húmedo por planta se distribuyen 2.5 goteros. El resto del suelo de la parcela se mantiene en una humedad de capacidad de campo.

Durante el cultivo se realizaron observaciones semanales que han permitido evaluar el crecimiento, el desarrollo y la evolución de la biomasa en cada uno de los cultivos evaluados. Los parámetros cuantificados en cada cultivo han sido los inherentes a cada uno y que aportan la información de potencial agronómico y productividad, indicativos de desarrollo, adaptabilidad y respuestas a los tratamientos.

La recolección fue realizada a los 180 días después de la siembra (dds) para las plantas de ricino, a los 110 dds para el caso del girasol y a los 120 dds para el algodón.

En ningún caso fue preciso realizar tratamientos fitosanitarios, llegando al final del ciclo en óptimas condiciones productivas.

3.5.2. Determinaciones para las plantas de ricino

Para el caso del ricino los parámetros determinados en la planta han sido la altura de la misma, la distancia de aparición del primer racimo, el tamaño del racimo y el peso de 300 semillas. La selección de estos parámetros se basa en los estudios de Mazzani *et al.* (2009), realizados para caracterizar la variabilidad de una colección de germoplasma de ricino, sobre la base de caracteres con importancia agronómica del racimo, del fruto y de la semilla de esta planta.

La distancia de aparición del primer racimo se determinó mediante medición desde la base de la planta (a nivel del suelo) hasta el punto donde aparece el nudo que da lugar al primer racimo. Las determinaciones se realizaron a los 90 dds.

La altura de las plantas se determinó mediante medición desde la base de la planta, hasta la punta del racimo más alto. Las mediciones se realizaron el día de la recolección, a los 180 dds.

El tamaño de la infrutescencia o racimo se determinó mediante medición de la longitud del mismo, tomando desde la inserción en el tronco hasta el punto más extremo de la última cápsula del racimo (figura 16). Las mediciones se realizaron a los 180 dds. Se midió una por planta, obteniéndo un total de 100 racimos medidos por cada tratamiento.

Para todas las mediciones se empleó una cinta métrica graduada en centímetros.

El peso de 300 semillas se determinó mediante balanza de precisión (±0.001) (Kern CB 3K0.5N).



Figura 16. Medición de la longitud de la infrutescencia de la planta del ricino.

3.5.3. Determinaciones para las plantas de girasol

Algunos autores evalúan el potencial vegetativo de la planta de girasol, en función de la biomasa aérea y/o el rendimiento de semilla, estimado como el peso de 100 semillas, el número de semillas producido por unidad de superficie

(m²), el número de semillas por capítulo y área del capítulo (Muñoz *et al.*, 2001). En este caso, se ha tomado para evaluar la fracción de biomasa del girasol, la altura de la planta, el diámetro del tallo, el diámetro del capítulo (y en consecuencia la superficie del mismo) y el peso de 1000 semillas.

La altura de la plantas se determinó mediante medición desde la base de la planta, hasta el ápice del capítulo (figura 17). Las mediciones se realizaron en el momento de la recolección, es decir, a los 110 dds.

El diámetro del tallo se determinó mediante medición a la altura aproximada de 2/3 de la longitud total de la planta. Las mediciones se realizaron en el momento de la recolección de los capítulos. Para la medición se empleó un pié de Rey electrónico, con una precisión de ±0.001 (figura 17).

El diámetro del capítulo se determinó mediante medición de la longitud máxima del diámetro del capítulo (figura 17). Las mediciones se realizaron en el momento de recolección de los capítulos. Para la medición se empleó una cinta métrica graduada en centímetros Los resultados se expresan en cm.

Para todas las mediciones se empleó una cinta métrica de 5 m de longitud, graduada en centímetros.

El peso de 1000 semillas se determinó mediante balanza de precisión (±0.001) (Kern CB 3K0.5N).



Figura 17. Medición de altura de planta, diámetro del tallo y diámetro del capítulo en la planta de girasol.

3.5.4. Determinaciones para las plantas de algodón

Al evaluar el rendimiento vegetativo de la planta de algodón, algunos autores determinan la altura final de las plantas. Mientras que para el rendimiento en semilla, los componentes del rendimiento que se evalúan son el número de capullos por planta, el peso del capullo, el porcentaje de fibra y el índice de semilla (peso de 100 semillas) (Gil *et al.*, 2001). En este caso, se ha tomado para evaluar el rendimiento de la semilla de algodón, el peso de las semillas y del linter, mediante el uso de una balanza de precisión (±0.001) (Kern CB 3K0.5N).

3.5.5. Tratamiento de las semillas

Después de la recolección se realizó el tratamiento de la muestra de semillas, consistente en la separación y limpieza de la fracción de semillas susceptibles de obtención de grasa. Para ello, las semillas se pesaron (figura 18) y limpiaron, especialmente las de algodón, donde hay que eliminar el linter.

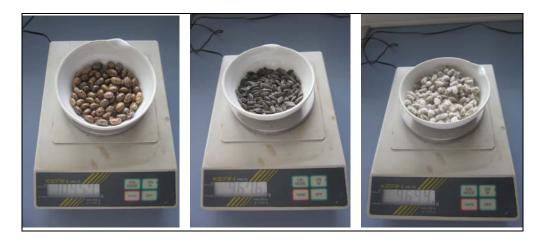


Figura 18. Paso previo en el tratamiento de las semillas de ricino, girasol y algodón (pesaje de semillas).

La limpieza o retirada del linter de las semillas de algodón se realizó mediante tratamiento de las semillas brutas con ácido sulfúrico concentrado. Las semillas se sumergen en el ácido y se agitan hasta desaparición total linter, pegado a la semilla. Una vez limpias del linter, las semillas de algodón se lavan con abundante agua y se secan a temperatura ambiente (figura 19).

3. MATERIAL Y MÉTODOS





Figura 19. Retirada del linter de las semillas de algodón mediante tratamiento químico.

Una vez las semillas de ricino, girasol y algodón están limpias y secas, se procede a obtener una submuestra de semillas para la extracción del aceite.

El último paso en el tratamiento previo de las muestras de semillas es una trituración y homogeneización. Para ello, la submuestra se tritura en un equipo Grindomix GM200 (figura 20) hasta obtener un polvo fino que se empleará en la extracción del aceite.



Figura 20. Equipo Grindomix 200 empleado en la molienda y homogeneización de las muestras de semillas.

3.5.6. Extracción del aceite y transesterificación

La extracción del aceite se realizó con un equipo Soxhlet (figura 21) manual, empleando hexano como extractante o disolvente. Esta técnica permite valorar la composición cuantitativa de la cantidad de aceite presente en las semillas.

El equipo Soxhlet consta de tres partes de vidrio; en la parte inferior se dispone el matraz con el extractante, en contacto con una manta calefactora. Sobre el matraz se dispone el segundo cuerpo, con un cartucho de papel de filtro, que contiene un peso dado de la muestra de semilla triturada y homogeneizada. La parte superior es el refrigerante y en él condensa el disolvente que, por efecto de la gravedad, cae en el cuerpo central embebiendo el material graso. Cuando este cuerpo intermedio está lleno de líquido extractivo, cae de nuevo en el matraz, iniciándose de nuevo el proceso.

Antes de empezar, conviene asegurarse de que el matraz esférico de fondo plano está limpio y seco ya que la presencia de agua disminuye sensiblemente el rendimiento de la extracción. Una vez seco el matraz, se pesa y se le añade el disolvente (300 mL de hexano) junto con 3 o 4 piedras pómez para disminuir la virulencia de la ebullición del disolvente. Por otra parte, se introduce en el cuerpo del extractor la muestra de semilla desecada envuelta en un cartucho poroso de tamaño y forma adecuados, para quedar completamente sumergido en el disolvente en el transcurso de la extracción. Una vez dispuesto el disolvente en el matraz y la muestra en la parte superior, se unen ligeramente las dos partes y se enciende el foco de calor (manta o placa calefactora); se espera a que transcurran 5 lavados o ciclos en el proceso de extracción y se apaga la fuente de calor.



Figura 21. Equipos Soxhlet individual (derecha) y en batería (izquierda) empleados en la extracción de aceite de semillas de ricino, girasol y algodón.

Una vez enfriado el matraz que contiene el aceite de la muestra de semilla, se procede a la purificación del aceite, ya que siempre queda algún resto de disolvente asociado, para ello se utilizó un rotavapor a vacío, a fin de evaporar por completo el resto del disolvente. El proceso está basado en la evaporación y condensación del disolvente, mediante la acción de un matraz giratorio sometido a la temperatura similar a la de evaporación del disolvente. Consta de un matraz, accionado por un motor de giro, que contiene el aceite y el resto de disolvente en el interior, el matraz se sumerge en un baño de agua termostatado. El movimiento giratorio genera una turbulencia en el contenido del matraz, así como una película de disolvente en la superficie interna del mismo, esto garantiza una alta velocidad de evaporación sin que aparezcan zonas de sobrecalentamiento.

Cuando se ha eliminado el resto del disolvente, el matraz se enfría hasta temperatura ambiente y se procede a pesarlo una vez frío. Por diferencia de pesada se calcula la cantidad de aceite extraído. Los resultados del rendimiento se expresan en porcentaje (m/m).

La transesterificación se realizó a escala de laboratorio. Para el caso de los aceites de algodón y girasol se empleó la reacción catalizada en medio básico. En este caso se utilizó 3 g de aceite, que se mezclaron con 0.9 g de KOH con metanol, agitándose los reactivos de forma suave para evitar la formación de una emulsión. Posteriormente se deja reposar durante 24 h, en un embudo de decantación, para facilitar la separación. El biodiesel resultante se traspasa a una probeta de 10 mL para medir el volumen obtenido. Los resultados del rendimiento en biodiesel se expresan en porcentaje (m/v).

Para el caso del ricino la transesterificación se realiza por microdestilación a reflujo en medio básico y extracción del biodiesel mediante hexano. Para ello, se pesaron entre 500 y 800 mg de aceite de ricino y se introducen en un balón de destilación de 50 mL, añadiendo mL de una disolución metanólica de KOH 0.5 *M* (18 g KOH disuelto en 1 L de metanol anhidro) y se pone en ebullición a reflujo durante 3 minutos, pasado este tiempo, se deja enfriar. Una vez frío, se añaden 5 mL de una disolución de NH₄Cl (3 g de NH₄Cl diluidos con 3 mL H₂SO₄ concentrado y aforado a 100 mL con metanol) y se repite la ebullición (reflujo durante 3 minutos). Una vez enfriada

la reacción, se pasa esta mezcla a un embudo de decantación de 100 mL o se acelera la separación introduciendo la mezcla en un tubo de centrífuga, centrifugando durante 5 minutos a 5000 rpm (figura 22). Posteriormente se enjuaga el resultado con agua destilada (hasta el volumen de 50 mL) y se añaden 25 mL de n-hexano dejándolo reaccionar durante 5 minutos, pasado el tiempo se separa la fase acuosa, manteniendo la fase orgánica, sobre la que se realizan 3 lavados consecutivos, sin esperar los 5 minutos. La mezcla orgánica se separa mediante evaporación del n-hexano en el rotavapor, quedando en el balón el biodiesdel de aceite de ricino, que se pesa para obtener el rendimiento (m/v).





Figura 22. Obtención del biodiesel del aceite del ricino.

3.5.7. Determinación y tipificación de los ácidos grasos

La determinación de la composición de ácidos grasos de los aceites de ricino, girasol y algodón, se realiza mediante cromatografía de gases, empleando una columna capilar, a partir de los ésteres metílicos obtenidos mediante la transesterificación, en frío del aceite, con una disolución metanólica de hidróxido potásico.

El equipo de cromatografía gaseosa (figura 23) empleado es un cromatógrafo VARIAN modelo 3400 equipado con inyector automático Combi-Pal y dotado con:

- 1. Inyector split-splittless.
- 2. Detector de ionización a la llama (FID).
- 3. Columna capilar Rtx-2330 (10% cyanopropylphenyl-90% biscianopropil polysiloxane) 60 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y 0.2 µm de espesor de film.
- 4. Estación de proceso de datos (Star work station).

Para la determinación se introduce en un tubo de vidrio de rosca una cantidad aproximada de 0.1 g de aceite, pesada en balanza analítica, a la muestra se añaden 2 mL de n-heptano con una pipeta graduada. Se cierra el tubo y se agita. Posteriormente se añaden 0.2 mL de potasa metanólica 2 N, con una micropipeta. Se vuelve a cerrar herméticamente el tubo y se agita enérgicamente durante 30 segundos. Pasado este tiempo se deja reposar hasta que las dos fases queden bien separadas (la parte superior debe quedar clara). Con ayuda de una pipeta *Pasteur* se toma la fase superior que corresponderá al disolvente n-heptano y a los ésteres metílicos formados, por último se lleva esta fase a un vial de cromatografía y se realiza el análisis mediante la inyección de las muestras en el cromatógrafo.

Mediante una normalización a 100% se obtiene la composición de ácidos grasos de cada aceite, expresados en porcentaje. Los ácidos grasos evaluados han sido: mirístico, palmítico, palmitoleico, heptadecanoico, heptadecenoico, esteárico, oleico, linoleico, aráquico, linolénico, eicosanoico, behenico y lignocérico.



Figura 23. Equipo de cromatografía de gases Varian 3400.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estudio estadístico de los resultados de los parámetros analizados se ha dividido en tres partes:

- Realización de un estudio univariante. Este apartado tiene como objetivo estudiar individualmente cada uno de los parámetros analizados en los aceites para concretar la información que sobre ellos se posee, así como la interacción entre los factores. Para este estudio se han empleado gráficos de dispersión, diagramas boxwhisker, estadísticas univariantes y análisis de varianza. Como sistema de comparación múltiple en estos análisis de varianza se ha empleado el método LSD con un nivel de significación del 5%.
- Realización de un análisis discriminante como método multivariante de análisis. Este apartado tiene como objetivo describir en qué medida las variables estudiadas contribuyen, en conjunto e individualmente, a la separación o diferenciación entre tipos de aceites.
- Realización de un estudio entre variables. Este apartado tiene como objetivo analizar las posibles relaciones entre los parámetros, de mayor interés, estudiados en los aceites. En este apartado se realiza un análisis de regresión múltiple que permita obtener ecuaciones que relacionan la cantidad de biodiesel con las distintas variables analizadas en los aceites, tomando las variables más correlacionadas con el contenido de biodiesel.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS UNIVARIANTES PARA EL CULTIVO Y SEMILLAS DE RICINO

En este apartado se evaluan los resultados univariantes para las variables estudiadas en el caso del ricino en las dos campañas.

Los valores individuales para cada uno de los parámetros estudiados se muestran en el anexo. En total se han realizado 2400 mediciones en el cultivo de ricino. La tabla 8 muestra los valores promedios de los parámetros medidos en el cultivo del ricino, así como los niveles de significación estadística encontrada entre las diferentes variables.

Tabla 8. Valores promedio de los parámetros altura de planta, distancia de la inserción del primer racimo floral, longitud del racimo floral, número de racimos florales y peso de 300 semillas en el cultivo del ricino*.

Tratamiento	Altura (cm) de planta	Inserción (cm) del 1 ^{er} racimo	Tamaño (cm) del racimo	Número de racimos	Peso (g) de 300 semillas			
Año 1								
AE	121.63 b	46.28 b	20.37 bcd	8.58 b	181.92 ab			
AQ	148.76 a	52.46 a	22.36 bc	10.30 a	234.92 a			
SA	104.4 c	40.35 cd	18.25 d	7.66 bc	160.18 ab			
Año 2								
AE	111.86 bc	47.35 b	26.35 ab	7.62 bc	140.65 b			
AQ	113.6 bc	44.65 bc	23.41 bc	6.36 cd	134.33 b			
SA	94.52 c	36.41 d	26.60 a	5.20 d	122.33 b			

^{*}Letras diferentes, entre parámetro, indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Evaluando los resultados anuales con los datos climáticos de la pluviometría, se observa que los valores de altura de planta, inserción del primer racimo, número de racimos y peso de las semillas, son ligeramente superiores en la campaña 2009, coincidente con el año lluvioso, aunque no se corresponde con los valores del tamaño del racimo que han sido superiores en la campaña 2010.

4.1.1. Resultados de altura de planta del ricino

La altura de la planta de ricino es un parámetro que indica vigorosidad en el cultivo y desarrollo vegetativo de la planta, siempre y cuando el resto de los parámetros productivos respondan en la misma tendencia. La respuesta de la altura de la planta va a depender de aspectos agronómicos y nutricionales, siendo el diseño del

cultivo importante para definir esta característica, así como la variedad cultivada y la disponibilidad de nutrientes en el suelo (EMBRAPA, 2006).

Según Lira (2010), las regiones de cultivo que poseen las mejores características de altitud para el cultivo del ricino varían de 300 a 1500 m, teniendo en cuenta las variedades recomendadas para el cultivo. La pluviometría será variable desde los 500 a 1000 mm/año y la temperatura ambiente oscilará de 20 a 30 °C, siendo el óptimo de 23 °C. Respecto a la humedad relativa, para el cultivo de ricino, es preferible que sea inferior al 80% (óptimo alrededor de 65%).

La figura 24 muestra el valor promedio de la altura de la planta de ricino para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

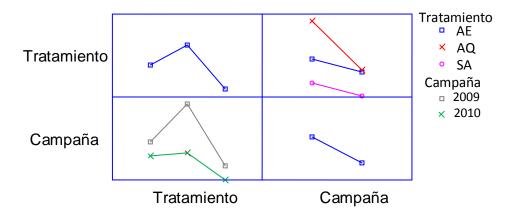


Figura 24. Gráficas de medias globales para la altura de la planta de ricino, en función de la campaña y del tratamiento.

En general se observa que en la campaña 2009 la altura de la planta de ricino ha sido superior al tamaño promedio de la planta en la campaña 2010, independientemente del tratamiento. Además se observa que independientemente de la campaña, la altura es mayor cuando se aportan fertilizantes convencionales de síntesis, seguida de las plantas de fertilización orgánica, mientras que las no fertilizadas alcanza los tamaños más bajos.

La figura 25 muestra los resultados promedio de la altura de la planta de ricino, para cada uno de los tratamientos y durante las campañas de 2009 y 2010.

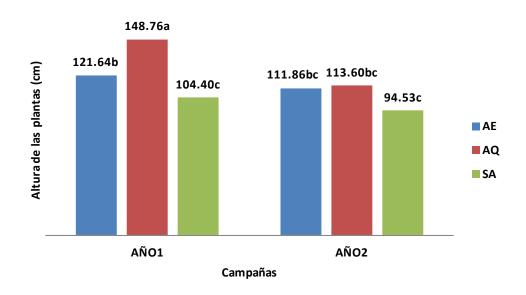


Figura 25. Valores promedio de altura de las plantas (cm) de ricino en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Para el primer año de cultivo, se observa que con el tratamiento de fertilización convencional se obtienen las plantas significativamente de mayor altura. La altura de las plantas de ricino del tratamiento de fertilización orgánico en el primer año, no difiere de la obtenida por las plantas del mismo tratamiento y con las plantas del tratamiento convencional en el año 2 (2010) y con la altura de las plantas del tratamiento testigo, independientemente del año de estudio. Las plantas del tratamiento sin abonar del año 2 son las de menor altura (94.53 cm), con diferencias estadísticamente significativas, con respecto a los tratamientos fertilizados (orgánico y convencional) del año 1.

El tratamiento convencional en el año 1 se ha comportado superior al resto, debido a la respuesta inmediata y positiva de los fertilizantes minerales. En el año 2 y especialmente manteniéndose la densidad del cultivo, se observa que el suelo comienza a mantener inercia de los fertilizantes orgánicos, ya que la altura de planta en el tratamiento de abonos orgánicos ecológicos, es similar a la que se obtiene con el fertilizante químico. Con el tratamiento sin aplicación de fertilizantes (SA), se obtienen las alturas de planta de ricino, significativamente más pequeñas, independientemente de la campaña, por lo que se concluiría, que este

tratamiento no es adecuado, ya que la tendencia de pérdida de altura ha sido de un 9.5%.

La productividad del ricino puede estar influenciada por diversos factores, entre los que destaca la densidad de cultivo, las características del ambiente y del genotipo (Beltrão *et al.*, 2001). La población de plantas por unidad de superficie puede condicionar la altura de plantas en función de la competición entre plantas por el agua, la luz y los nutrientes, de acuerdo con Severino *et al.* (2005) que afirman, que en condiciones de buena disponibilidad de agua y nutrientes, las plantas tienden a crecer demasiado.

Es importante destacar la alta diversidad genética del ricino, lo que ocasiona variabilidad en cuanto al comportamiento morfológico de la planta. Esta particularidad ha permitido clasificar a los diferentes cultivares, en función de la altura alcanzada. Así, existen algunos tipos denominados "altos", ya que son capaces de alcanzar más de 3 m de altura, incluso se ha confirmado que la planta es capaz de alcanzar entre uno y más de 7 m de altura durante su ciclo de vida (Mazzani, 2007; Miranda, 2011).

No obstante, es necesario precisar que el excesivo crecimiento de las plantas provoca dificultades para la cosecha manual, ya que la altura y el espacio ocupado por plantas demasiado grandes y vigorosas dificultan el manejo del cultivo y la recolección de la semilla. Ello se considera una condición común para la mayoría de las plantas de ricino de porte medio a alto (Azevedo y Lima, 2001), y aunque las variedades comerciales alcanzan entre 0.90 y 3.0 m (Flemming y Jongh, 2011), muchos productores prefieren las variedades enanas que crecen a una altura promedio de 1.6 m, con períodos de siembra a cosecha de 120 a 130 días; así como las variedades medianas que crecen desde 2.0 a 2.5 m, con ciclos de cultivo de 150 a 240 días (Machado *et al.*, 2012).

Beltrão y Azevedo (2008) estudiando fuentes de nutrientes fosfatados en interacción con la altura de plantas en dos cultivares distintos del ricino concluyeron que la altura de las plantas aumenta significativamente con el aumento de la fertilización con fosfatos, en los suelos de los Cerrados brasileños. Según los

investigadores la fertilización fosfatada es importante para un buen desarrollo del cultivo, pero las plantas de ricino muy altas son una dificultad para la cosecha.

Oliveira *et al.* (2010) evaluando el efecto de dosis de fosfatos en la altura de plantas de ricino, concluyeron que la altura de plantas creció con el incremento en la dosis de fósforo. En la variedad IAC Al Guarany la altura fue de 222.82 cm sin fertilización y de 277.20 cm con una dosis de 157.23 kg/ha de fosfatos. Para el cultivar BRS Energía se obtuvo una altura de 220.25 cm en el tratamiento sin fertilizar y de 295.49 cm en la dosis de 123.91 kg/ha de fósforo. Esta misma variedad (BRS Energía) en el presente trabajo ha mostrado en general, menor altura promedio, incluso en el caso de ser fertilizado con las dosis y fuentes convencionales.

4.1.2. Resultados de la inserción del primer racimo floral en la planta del ricino

En el ricino se han identificado fases de crecimiento correlacionadas con el orden en que la planta emite las distintas inflorescencias durante su ciclo, por lo que, se distinguen racimos de orden primario, secundario, terciario, entre otros (Kumar *et al.*, 1997).

El ricino tiene crecimiento indeterminado, el tallo principal crece verticalmente sin ramificaciones, hasta la aparición de la primera inflorescencia. El nudo donde aparece el primer racimo es una importante característica agronómica, asociada a la precocidad de la planta (Nazareno *et al.*, 2011).

Para Dos Santos Sousa (2007) la precocidad del cultivo está relacionada con el número de entrenudos, presentando las plantas tardías mayor número de entrenudos. También la productividad del aceite está relacionada con la productividad de las semillas, pudiendo existir una correlación positiva y significativa entre estas dos características, aunque los racimos secundarios son los que más influyen en la productividad total.

La figura 26 muestra el valor promedio de la distancia de inserción del primer racimo para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

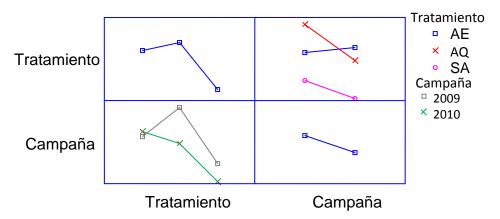


Figura 26. Gráficas de medias globales para la altura de inserción del primer racimo en ricino, en función de la campaña y del tratamiento.

En general se observa que en la campaña 2009 la altura de inserción del primer racimo ha sido superior al tamaño promedio de la altura de inserción del primer racimo en la campaña 2010, independientemente del tratamiento. También se observa claramente que el tratamiento sin fertilizantes (SA) es el que proporciona las distancias más cortas en la inserción del primer racimo. Mientras que el tratamiento con fertilizantes químicos (AQ) tiene buenos resultados en la campaña 2009, pero disminuyen en la 2010. Y las distancias de inserción del primer racimo en las plantas abonadas de forma orgánica, se mantienen prácticamente constantes en las dos campañas y con valores adecuados.

Esta característica de altura de inserción del primer racimo se relaciona con lo hallado para la altura de planta.

La figura 27 muestra los resultados promedios de inserción del primer racimo para cada uno de los tratamientos y durante ambas campañas.

Se observa que, en promedio, a los 52.46 cm se emite el primer racimo en las plantas de ricino abonadas químicamente, ésta fue la mayor media obtenida de todos los tratamientos en las dos campañas estudiadas. Cuando no se realiza abonado a la planta, se observa que la altura media alcanzada de inserción del primer racimo es menor, siendo el dato más manifiesto en la segunda campaña, por el efecto acumulativo (35.41 cm).

En las dos campañas se observa que los tratamientos que han recibido algún tipo de fertilizante (químico o ecológico) han obtenido una mayor altura de inserción del primer racimo. Teniendo en cuenta que en este estudio, se ha utilizado una variedad de porte bajo, las mayores medias obtenidas pueden ser indicativos de precocidad de

la planta. La falta de determinados nutrientes en el tratamiento sin fertilizar ocasiona bajo desarrollo de la planta.

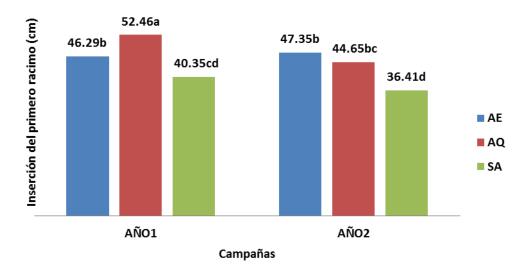


Figura 27. Valores promedio de altura de inserción del primer racimo (cm) en ricino, en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

En este sentido, el tratamiento con fertilizantes químicos proporcionaría la mayor precocidad, aunque no se relaciona con la productividad del cultivo, sino con el tiempo desde la aparición de este racimo hasta la cosecha, al mismo tiempo que permite al productor planificar tratamientos y manejos culturales, basándose en esta característica.

Además, la obtención de cultivares precoces, que tengan la capacidad de adaptarse a un corto período de lluvias es muy importante, principalmente para el nordeste del Brasil, de baja pluviometría o para la zona del Cerrado donde el ricino es sembrado como cultivo secundario, tras la cosecha de la soja (Freire, 2001).

Freitas et al. (2010) trabajando con la misma variedad de ricino (BRS energía) encontraron diferencias significativas para la inserción del primer racimo en función de densidad de cultivo, de manera que a mayor densidad de cultivo, la altura media de inserción del primer racimo fue menor. Investigaciones llevadas a cabo por Freire et al. (2001) evidencian una mejor relación en la altura de inserción del primer racimo floral con cultivares de ricino de porte bajo.

Gaona (2012) estudiando la cantidad de entrenudos hasta la aparición del primer racimo floral, en distintas variedades de ricino (Nila, Nordestina, VERCO3) y distintos hábitats, concluyó que hay diferencias significativas entre variedades de acuerdo con el entorno. Dinis *et al.* (2009) indicaron que la variedad Nordestina presenta su primera floración cuando la misma desarrolló 22 entrenudos resultado superior al obtenido por Gaona (2012).

Zuchi (2010) estudiando la influencia de distintos períodos de siembra en la altura de inserción del primer racimo floral de ricino observó más altura en una segunda época de siembra, que en las plantas de la primera época de siembra. La antelación en la siembra proporcionó una mayor altura de inserción del racimo primario bajo condiciones de regadío (Souza *et al.*, 2007).

En la gran mayoría de los trabajos se concluye que la cantidad de entrenudos, así como la altura de inserción del primer racimo floral varía en función de las condiciones de cultivo, clima, sistemas o densidad de siembra, época y disponibilidad de agua, además de las características genéticas de la planta, como el porte. El aporte de fertilizantes, así como el uso de riego y un cultivar de porte bajo, adaptado a las condiciones de clima y suelo de la región proporcionan una floración primaria en un punto inferior a los 60 cm de tallo, lo que sugiere una buena precocidad, lo que puede favorecer incluso la cosecha mecanizada, pero no garantiza un buen rendimiento del cultivo.

4.1.3. Resultados de la longitud del racimo floral en la planta del ricino

Según diferentes autores (Street y Opik, 1974; D'yakov, 1986; Beltrão *et al.*, 2001), el ricino es una planta de elevada complejidad morfológica y fisiológica, su crecimiento es diferente en cada planta y cultivar, dicotómico y heterogéneo, con racimos de varias edades fisiológicas, desarrollo complejo, metabolismo fotosintético C₃, ineficiente, con tasa fotosintética entre 18 e 27 mg CO₂/dm²/h, elevada tasa de foto-respiración y precisa al menos 2900 grados-día de calor para llegar a su maduración.

El racimo es la infrutescencia del ricino, tiene conformación troncocónica, más o menos esférica, su diámetro varía de 10 cm hasta 80 cm, de acuerdo con su ambiente y principalmente con su cultivar (Tomar Rukam *et al.*, 2014).

La importancia de la longitud del racimo está muy relacionada con las variables chequeadas en los planes de mejora de la planta de ricino (Mazzani y Rodríguez, 2009). Algunos autores señalan que para la selección de cultivares altamente productivas de ricino se debe hacer énfasis en el número de racimos y peso de cápsulas; así comoen la longitud de los racimos y peso de 100 semillas (Sarwar y Boota-Chaudhry, 2008).

Por otra parte, en estudios donde se ha trabajado con la variedad Guarany 2002 y evaluando distintas densidades de siembra se concluyó, que el tamaño de los racimos primarios y secundarios no se vieron influenciados por el efecto de la densidad de plantación, pero con densidades de siembra menores, se produce un mayor crecimiento de los racimos primarios y secundarios.

La figura 28 muestra el valor promedio de la longitud del racimo floral para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

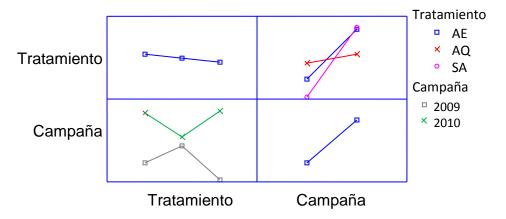


Figura 28. Gráficas de medias globales para la longitud del racimo floral en ricino, en función de la campaña y del tratamiento.

En general se observa que para la campaña 2009 la longitud del racimo floral ha sido inferior a la que se observa en promedio para la campaña 2010, independientemente del tratamiento, es posible que la adecuación de los cultivos a las condiciones de fertilizada de los diferentes tratamientos influya sobre este parámetro. También se observa claramente una importante interacción entre la campaña y el tratamiento fertilizante, ya que la tendencia en el incremento de la longitud del racimo

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

de la campaña 2009 al 2010 es muy manifiesta en los tratamientos con pautas de fertilización orgánica (AE) y sin fertilización (SA), pero para el caso de la fertilización química (AQ) la longitud del racimo floral, en las plantas de ricino, se disminuye en la campaña 2010, con respecto a la campaña 2009, lo que indica la fuerte dependencia de los resultados de los fertilizantes químicos, en función de las campañas agrícolas.

La figura 29 muestra los resultados promedios del tamaño del racimo floral, para cada uno de los tratamientos y durante las campañas de 2009 y 2010.

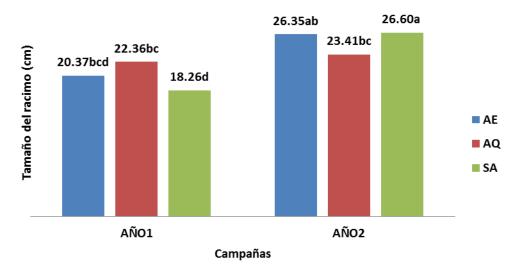


Figura 29. Valores promedio de la longitud del racimo floral (cm) en ricino, en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Se observa que en la campaña 2009 las plantas de ricino del tratamiento sin fertilización (SA) presentaron los tamaños de racimo más pequeños, existiendo diferencias estadísticamente significativas frente a las longitudes alcanzadas con el resto de tratamientos fertilizantes, algo que pone de manifiesto la alta relación entre suelo-planta y sobre todo, el impacto del suelo sobre algunos parámetros productivos, cuando se deja de aportar insumos fertilizantes a un suelo con determinada inercia en los aportes. Un efecto ligeramente similar se puede observar en la longitud del racimo que muestran las plantas fertilizadas con abonos ecológicos, aunque en este caso, las longitudes dan valores intermedios, y no se observan diferencias frente a las longitudes que muestran los racimos de las plantas fertilizadas con insumos químicos, ni frente aquellas sin fertilizar.

Para la campaña del 2010 los resultados ponen de manifiesto que la fertilización química mantiene valores de longitud del racimo muy similares a los de la campaña 2009, mientras que los tratamientos de bajos insumos (orgánicos y sin fertilizar) generan un efecto positivo en la longitud del racimo, proporcionando racimos florales de mayor tamaño, lo que puede tener una incidencia en la mayor producción de semillas de las plantas, y por tanto en un mayor rendimiento.

Mazzani y Rodriguez (2009) al estudiar la caracterización morfológica de diferentes cultivares de ricino, incluyendo algunos de cultivo tradicional, encuentran que la longitud media del racimo está en 36.9 cm, con valores mínimos en 22.14 cm y máximos de 55.9 cm, presentando este parámetro un coeficiente de variación del 26.4%. Aunque la variabilidad es alta, comparando los resultados, se observa que las longitudes promedias del racimo de las plantas de ricino, alcanzadas en la primera campaña para los tratamientos de bajos insumos (orgánico y sin fertilizar) serían deficientes, algo que se corrige en la segunda campaña.

Según Severino *et al.* (2006), las plantas de ricino de porte alto están asociadas con mayores gastos de energía para la producción vegetativa, y que las plantas de mayor porte o altura, también presentan mayor longitud de racimo. En el presente trabajo se observa esta tendencia muy marcada para la primera campaña, pero no es tan evidente en el caso de la campaña 2010.

4.1.4. Resultados del número de racimos florales en la planta del ricino

Según Nóbrega *et al.* (2001), el número de racimos por planta está relacionado con la producción en semillas y se considera bajo cuando es menor de 3; se considera medio cuando la planta presenta un número de racimos entre 3 y 7, mientras que es alto, si la planta presentan un número de racimos superior a 7.

La variabilidad en el número de racimos florales por planta es también un carácter variable en función del cultivar (Nazareno *et al.*, 2011). Estos autores al estudiar cuatro cultivares en tres zonas diferentes de Brasil, encuentran que en todos los casos el número de racimos es bajo, siendo su valor promedio de 3.21 (tres racimos por planta, aproximadamente).

Otros autores (Mazzani y Rodriguez, 2009) no dan tanta importancia al número de racimos por planta sino a la densidad de los frutos en los racimos, así se prefieren los racimos ralos, de baja densidad o poco compactos, ya que en estos casos se evitan daños por insectos perforadores del fruto, así como pudriciones del racimo causadas por hongos como Botrytis (Anjani *et al.*, 2002).

La influencia global entre el tratamiento de fertilización y la campaña estudiada, para el valor promedio del número de racimos por planta de ricino se muestra en figura 30.

Se observa que la campaña tiene un alto efecto sobre el número de racimos por planta, ya que en la campaña 2010, este parámetro disminuye en el total estudiado, observándose además, que este efecto es más acusado en las plantas del tratamiento de fertilización química y en las plantas sin fertilización, siendo más atenuado el descenso para las plantas que se fertilizan con insumos orgánicos.

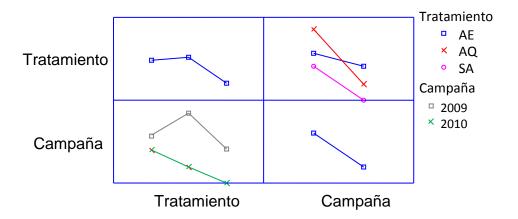


Figura 30. Gráficas de medias globales para el número de racimos por planta de ricino, en función de la campaña y del tratamiento.

La figura 31 muestra los resultados promedios para el número de racimos por planta de ricino, para cada uno de los tratamientos estudiados y durante las campañas de 2009 y 2010. Observándose también las diferencias estadísticas encontradas para este parámetro.

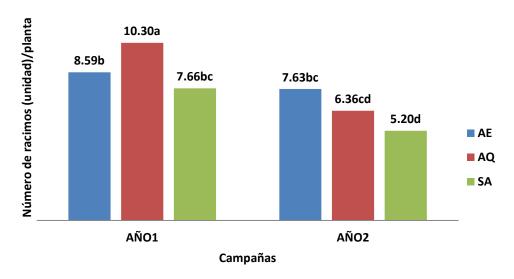


Figura 31. Valores promedio del número de racimos por planta de ricino en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

En general, las plantas de ricino del presente trabajo están clasificadas como medias y altas en relación a la producción de racimos por planta, siendo el valor mínimo encontrado de 5, para el caso de no aportar fertilización a las plantas y en la campaña 2010, mientras que las plantas más productivas en el número de racimos fueron las del tratamiento con fertilización química en la campaña 2009 (aproximadamente 10 racimos por planta).

Las diferencias encontradas difieren significativamente, así el número de racimos por planta obtenidos cuando se aplican fertilizantes de origen químico en la campaña 2009 son significativamente superiores al resto de tratamientos. La disminución en el número de racimos por planta, observada para la campaña 2010, evidencia que se genera un número de racimos significativamente inferior para el caso de las plantas sin fertilizar, mientras que en las plantas fertilizadas con abonos orgánicos el número de racimos, en esta campaña, es alto y no difiere del que muestran las plantas fertilizadas químicamente.

De acuerdo con Azevedo y Beltrão (2007), para obtener una productividad promedio de 1500 kg/ha de cápsulas, la planta debe producir alrededor de cinco racimos de diversos órdenes, puede ser que el racimo principal, represente hasta la mitad de la producción, dependiendo del ambiente y de los niveles poblacionales del

cultivo. Los resultados obtenidos en este ensayo han superado los valores encontrados en la literatura consultada, como consecuencia del adecuado manejo del cultivo en áreas pequeñas, en suelos complejos de fácil control ambiental, de buena adaptabilidad varietal, y de buena disponibilidad de nutrientes, ya que incluso el tratamiento sin fertilizar, supera el valor promedio de 5 racimos.

4.1.5. Resultados del peso de 300 semillas de ricino

Los valores de peso de las semillas de ricino están vinculados a la densidad del cultivo, manejo y fertilidad y al genotipo de la variedad, siendo un indicativo fiable de la productividad del cultivo (Beltrão y Vale, 2007).

La influencia global entre el tratamiento de fertilización y la campaña estudiada, para el valor promedio del peso de 300 semillas de ricino se muestra en figura 32.

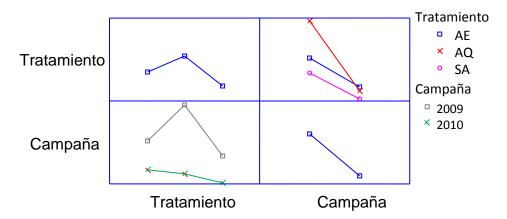


Figura 32. Gráficas de medias globales para el peso de 300 semillas de ricino, en función de la campaña y del tratamiento.

Se observa que el peso de las 300 semillas de ricino sufre una variación significativa en función de la campaña, siendo el peso encontrado, en promedio, inferior en la campaña 2010, además, existe una interacción positiva en función del tratamiento, porque la disminución se observa en los tres tratamientos estudiados, siendo más incidente para el caso de las plantas de ricino fertilizadas con aportes químicos, frente a las no fertilizadas o a las fertilizadas orgánicamente.

La figura 33 muestra los resultados promedios para el peso de 300 semillas en la planta de ricino, para cada uno de los tratamientos estudiados y durante las campañas

de 2009 y 2010. Observándose también las diferencias estadísticas encontradas para este parámetro.

El tratamiento convencional o con fertilizantes químicos en el año 2009 es el que ha demostrado, al igual que en el resto de los parámetros vegetativos del cultivo de ricino, mayor eficacia, ya que genera las semillas con mayor peso. Para esta variable, el tratamiento de fertilización química presenta diferencias significativamente estadísticas, lo que indica que la inercia del suelo es favorable a este tipo de fertilización proporcionando las semillas de mayor peso. En la segunda campaña (año 2) se observa la influencia del ambiente en la productividad de este cultivo, ya señalada por varios autores (Machado *et al.*, 2012; Mazzani *et al.*, 2013), ocasionando que el peso de las semillas disminuye y se iguala en los tres tratamientos fertilizantes, sin observarse diferencias significativas entre ellos, para el peso de las 300 semillas.

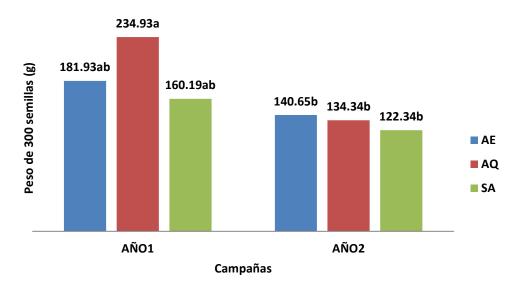


Figura 33. Valores promedio del peso de 300 semillas de ricino en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

El peso promedio de las semillas está relacionado de forma directa con factores genéticos y ambientales, el segundo es determinante para que se exprese el primero. La semilla de ricino presenta una amplia diversidad morfológica, en cuanto a color, forma, tamaño, peso, proporción de tegumento (cáscara) y desarrollo de la carúncula. Puede presentar diferentes colores (blancos, grises, rojizos y castaños), patrones de combinación o un solo color. El peso de 100 semillas puede variar entre 19 hasta 95 g

(Mazzani, 2007). Aunque otros autores indican que el peso de 100 semillas de ricino puede dar lugar a una variación comprendida entre 10 y 100 g dependiendo del cultivar y de las condiciones de producción, y en nueve ecotipos cultivados en condiciones semiáridas del noroeste de Brasil se encuentra que el peso promedio de 100 semillas oscila entre 40 y 66 g (Silva *et al.*, 2004). Estos resultados están en la línea de los encontrados en el presente trabajo, donde el peso promedio de las 100 semillas está entre 41 g para el tratamiento sin fertilizar en la campaña del 2010 y los 78 g por 100 semillas obtenidos con el tratamiento de fertilización química en la campaña 2009.

4.2. RESULTADOS UNIVARIANTES PARA EL CULTIVO Y SEMILLAS DE GIRASOL

En este apartado se van a evaluar los resultados univariantes para el caso del girasol, en ambas campañas.

En total se han realizado 1196 mediciones en el cultivo de girasol. La tabla 9 muestra los valores promedios de los parámetros medidos en el cultivo de girasol, así como los niveles de significación estadística encontrada entre las diferentes variables.

Tabla 9. Valores promedio de los parámetros altura de planta, diámetro del tallo, diámetro del capítulo y peso de 1000 semillas en el cultivo del girasol*.

Tratamiento	Altura (cm) de planta	Diámetro del tallo (cm)	Diámetro del capítulo (cm)	Peso (g) de 1000 semillas
		Año 1		
AE	153.47 b	2.12 b	19.54 b	92.91 d
AQ	164.45 a	3.14 a	22.70 a	112.22 c
SA	142.48 c	2.46 ab	21.58 ab	79.27 e
		Año 2		
AE	142.55 c	1.78 b	18.81 bc	124.60 a
AQ	132.28 d	2.52 ab	19.47 b	118.28 b
SA	120.66 e	1.42 b	16.56 c	80.20 e

^{*}Letras diferentes, entre parámetro, indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Evaluando los resultados anuales con los datos climáticos de la pluviometría, se observa que los valores de altura de planta, diámetro del tallo y diámetro del capítulo, son ligeramente superiores en la campaña 2009, coincidente con el año lluvioso, aunque no se corresponde con los valores del peso de las 1000 semillas de girasol que han sido superiores en la campaña 2010.

Los parámetros descritos se consideran como los más importantes para evaluar el rendimiento del girasol (Miller y Fick, 1997; Dusanic, et al., 2004; Hladni et al., 2006).

4.2.1. Resultados de altura de planta del girasol

El período de crecimiento del girasol, está sobretodo relacionado con el genotipo, con la temperatura de cultivo y con la disponibilidad de agua (Schneiter y Miller, 1981; Leite, 1997). De modo general, el ciclo de cultivo para genotipos precoces puede durar alrededor de 55 días, mientras que para los genotipos tardíos llega a los 60-65. Hasta el inicio de la floración las plantas alcanzan del 90 al 95% de la altura total. La intensidad de absorción del agua y nutrientes se intensifica a medida que el crecimiento avanza (Castiglioni *et al.*, 1997).

La figura 34 muestra el valor promedio de la altura de la planta de girasol para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

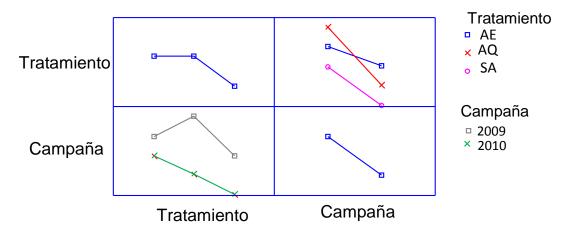


Figura 34. Gráficas de medias globales para la altura de la planta de girasol, en función de la campaña y del tratamiento.

En general se observa que en la campaña 2009 la altura de la planta de girasol ha sido superior a la altura promedio de la planta en la campaña 2010, independientemente del tratamiento. Además se observa que en la primera campaña, la altura de la planta de girasol es mayor cuando se aportan fertilizantes convencionales de síntesis, seguida de las plantas de fertilización orgánica, mientras que las plantas no fertilizadas alcanza los tamaños más bajos. Para la campaña 2010, la altura de planta que alcanza el girasol no fertilizado sigue siendo la menor, mientras que las plantas fertilizadas de forma orgánica son las que mayor tamaño de planta alcanzan.

La figura 35 muestra los resultados promedio de la altura de la planta de girasol para cada uno de los tratamientos y durante las campañas de 2009 y 2010.

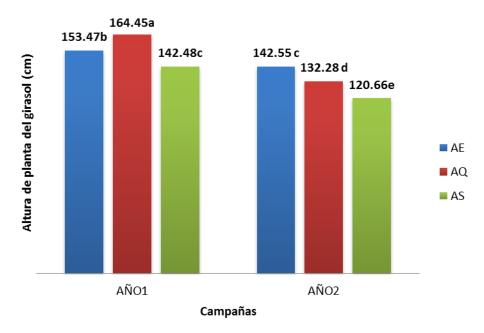


Figura 35. Valores promedio de altura de las plantas (cm) de girasol en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Aunque el valor del pH del suelo puede influir sobre el crecimiento vegetativo del girasol, la disponibilidad de nutrientes en el suelo parece más determinante, ya que se observa que el primer año del ensayo, la altura de la planta del girasol es mayor en el tratamiento de fertilización química o convencional, seguido del tratamiento de fertilización ecológica y de las plantas no fertilizadas, así en el caso de la fertilización convencional, se producen plantas con unos 11 cm de más altura (7.15%) que las abonadas orgánicamente y unos 22 cm (15.42%) por encima de las no fertilizadas. En 2010 y con la inercia alcanzada con el tratamiento ecológico, las plantas de girasol de este modelo alcanzan la mayor altura, con diferencias estadísticamente significativas, en esta campaña, al esto de las alturas de planta alcanzadas por los otros tratamientos fertilizantes. Para la campaña 2010 se concluye que la planta de girasol fertilizada orgánicamente alcanza un 7.76% más que la de fertilización convencional, y un 18.14% más que las plantas de girasol no fertilizadas. Las diferencias encontradas en las alturas de planta son estadísticamente significativas.

En investigaciones anteriores realizadas en las regiones del Nordeste del Brasil, con cultivares destacados como Embrapa 122, HÉLIO 360 y Catissol, la altura media encontrada para la planta de girasol fue de 1.70 m (Lira, 2010), proporciones superiores a las alcanzadas en el presente trabajo. Aunque los trabajos de Ortis *et al.* (2005) realizados para optimizar las condiciones ambientales en veinte variedades de girasol, encuentran alturas de planta promedios de 1.63 m, más próximos a los obtenidos en el presente estudio, y en los trabajos de Sánchez Rodríguez *et al.* (2013), la altura de la planta de girasol en ocho líneas mejoradas introducidas en Argentina, fue inferior, en todos los casos, a los 100 cm. Resultados similares a los obtenidos por Ortegón y Escobedo (1995), donde la altura de la planta de girasol oscilaba entre los 80 y 133 cm, y que se avalan con los de Ivanov y Stoyanova (1980) y con Baez *et al.* (1988) quienes obtuvieron alta heredabilidad para para la altura de la planta, por lo que los factores ambientales influirían en menor medida, según estos autores.

Es posible que las diferencias encontradas puedan ser debidas a los cambios en las condiciones climáticas, por la fuerte influencia de estos factores sobre el cultivo (Kaya *et al.*, 2007), aunque también es destacable la influencia de la fertilización, así Zubillaga *et al.* (2002) concluyen en un estudio donde evalúan el efecto combinado de la fertilización del fósforo y nitrógeno en el cultivo del girasol que los requisitos en nitrógeno no son tan importantes, como la disponibilidad del mismo en combinación con otros elementos del suelo.

Andrade *et al.* (2005) realizan una revisión para entender los mecanismos que determinan el rendimiento en el cultivo del girasol en la zona productora de la pampa argentina, e indica que la captura de la luz por la parte aérea es fundamental en los procesos de formación del grano y del llenado del mismo. Confirmando una fuerte correlación entre el rendimiento de grano y el estado fisiológico del cultivo, siendo vital para evaluar y comprender el efecto de las prácticas de manejo agrícola sobre el rendimiento del cultivo.

Por otra parte, Zheljazkov *et al.* (2008) en un intento de introducir el cultivo del girasol en una zona de Mississippi (EEUU) para la obtención de aceite de uso culinario o para la producción de biodiesel, concluyeron que en general, las tasas de aumento de nitrógeno reducen la concentración de aceite de la semilla, aunque incrementan los

rendimientos en la obtención de semilla, por lo que la optimización en la dosis del nitrógeno y en la fuente del mismo, en combinación con la variedad de semilla de cultivo empleada, deben ser factores estratégicos para alcanzar buenos rendimientos en el cultivo del girasol.

4.2.2. Resultados del diámetro del tallo en la planta de girasol

El comportamiento del diámetro del tallo da idea de la robustez del mismo y puede afectar a los rendimientos finales del cultivo, ya que Sanchez Rodriguez *et al.* (2013) indican correlaciones negativas entre el diámetro del tallo y el número de semillas por capitulo y el peso de las semillas.

El tallo de la planta de girasol puede presentar una gran variabilidad en su diámetro variando de 15-90 mm, variabilidad que viene dada por diversos factores, entre los que se incluye la maduración de la planta (Beltrão y Azevedo, 2008).

La respuesta del suelo a la fertilización convencional demuestra la diferencia entre los tratamientos, al mismo tiempo que confirma la relación entre las características abordadas sobre la influencia de los factores genéticos y ambientales para la expresión de estas características, la disponibilidad de agua y nutrientes, junto al pH adecuado, proporciona buena turgencia del tallo y buen desarrollo de las estructuras de soporte del cultivo. El tallo al principio del desarrollo del cultivo tiene un ritmo de crecimiento muy lento que se va intensificando a partir del segundo o tercer par de hojas, obteniendo su máximo desarrollo al finalizar la floración, que es cuando finaliza su crecimiento.

La figura 36 muestra el valor promedio del diámetro del tallo en la planta de girasol para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

Se observa una tendencia similar en la variación del diámetro del tallo de las plantas de girasol en las dos campañas estudiadas, para los tres tratamientos, siendo el tratamiento de fertilización química el que mayor diámetro presenta, frente a los tratamientos de fertilización orgánica y sin fertilizar que muestran valores similares y más bajos. Además los valores encontrados en la segunda campaña (2010) son más bajos a los registrados en la campaña 2009.

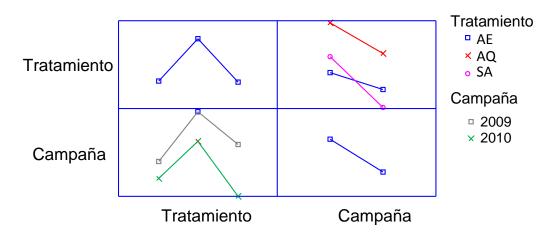


Figura 36. Gráficas de medias globales para el diámetro del tallo en la planta de girasol, en función de la campaña y del tratamiento.

Por otra parte, de las gráficas de medias globales también se puede concluir que la disminución en el diámetro del tallo, en la segunda campaña, es más pronunciada para el tratamiento sin fertilización, mientras que el tratamiento de fertilización orgánica amortigua la disminución del diámetro del tallo, al presentar una menor pendiente.

La figura 37 muestra los resultados promedio del diámetro del tallo de girasol, para cada uno de los tratamientos y durante las campañas de 2009 y 2010.

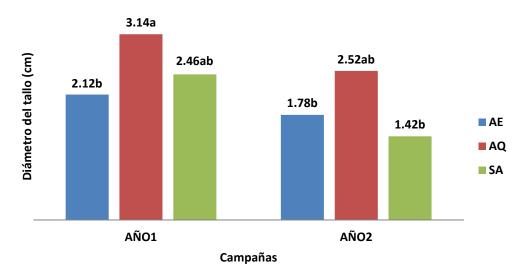


Figura 37. Valores promedio del diámetro del tallo de las plantas (cm) de girasol en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

En el total de los resultados, del diámetro del tallo de la planta de girasol, obtenidos en este estudio, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas (al 95% de confianza), entre el tratamiento fertilizante y la campaña de estudio. Si bien analizando entre pares de resultados, se observa que los valores obtenidos para el tratamiento de fertilización química en la campaña 2009 difieren de los obtenidos para el tratamiento de fertilización orgánica en las dos campañas y del tratamiento sin fertilizar en la campaña 2010.

Los resultados del diámetro del tallo de la planta de girasol, medidos en la maduración de los capítulos, que es cuando el tallo acaba su desarrollo, indican que la respuesta a la fertilización química conduce a un diámetro del tallo que alcanza los 3.14 cm, frente a los 2.12 cm que alcanza el diámetro del tallo de las plantas fertilizadas con productos orgánicos y los 2.46 cm de las plantas no fertilizadas para la campaña de 2009 (lo que significa un 48% más de diámetro en las plantas fertilizadas químicamente frente a las fertilizadas mediante técnicas ecológicas). En la campaña de 2010 no presentan diferencias en el diámetro entre los diferentes tratamientos, si bien con la fertilización química se alcanza casi un 42% más de diámetro del tallo que con la fertilización ecológica. Al mismo tiempo en que el pH del suelo y la alcalinidad del agua no favorecen al cultivo del girasol, aun así se ha conseguido plantas de diámetros de tallo dentro de los patrones para la región.

Sanchez Rodriguez *et al.* (2013) en ensayos con diversas variedades de girasol encontraron que el diámetro del tallo no presenta variaciones en función del genotipo, obteniendo diámetros similares entre las diferentes plantas. Por otra parte, Ortegón y Díaz (1999) trabajando con variedades de girasol introducidas y con diferentes densidades de plantación, en México, obtienen diámetros del tallo que varían desde 1.95 a 2.06 cm, con un rango de variabilidad más baja que la encontrada en el presente estudio, pero las diferencias obtenidas fueron significativas entre cultivares y densidades de población, siendo los híbridos los que producen los tallos más gruesos, y la densidad de cultivo más baja la que produce el mayor diámetro de tallo con diferencia significativa sobre la densidad más alta que mostró el grosor más bajo.

Rodriguez Cardenas (2006) trabajando con girasol ornamental y bajo el efecto de fertilización con sales fúlvicas de hierro, encontraron valores máximos de diámetro de

tallos totales de 3.83 cm, indicando que los aportes en nitrógeno pueden ser la causa de la respuesta al mayor diámetro de la planta.

También Ahmad y Jabeen (2009) en experimentos al aire libre llevados a cabo para evaluar el efecto de los fertilizantes orgánicos y el riego con diferentes concentraciones de sal, controlaron diversos parámetros del crecimiento vegetativo y productivo de girasol, concluyendo que con los fertilizantes orgánicos se mejora el rendimiento vegetativo y productivo de girasol. De ahí que este estudio reveló que la aplicación de los fertilizantes orgánicos probados, podría llevarse a cabo para reemplazar los fertilizantes químicos en agricultura orgánica para el cultivo de girasol.

Aunque el diámetro del tallo en la planta de girasol puede repercutir en una mayor robustez de la misma, el comportamiento de este carácter puede afectar los rendimientos del cultivo de girasol, ya que existen correlaciones negativas entre el diámetro del tallo y el número de semillas del capítulo (Sanchez Rodríguez et al., 2013), posiblemente debido a que la mayor energía empleada en la planta para generar robustez en el tallo, no se deriva a la formación de otras partes vegetativas como la semilla.

Por ello, el mayor diámetro del tallo obtenido en las plantas de girasol en el tratamiento de fertilización química podría ser un valor negativo para el rendimiento en semilla y la posterior obtención de aceite en el proceso de transesterificación.

Aunque por otro lado, otros autores trabajando con girasol silvestre en Argentina, indican que el diámetro del tallo se ha correlacionado de manera directa y significativa con el peso y número de semillas (Poverene *et al.*, 2006), por lo que la selección para el rendimiento podría basarse en estos caracteres.

4.2.3. Resultados del diámetro del capítulo en la planta de girasol

La formación del capítulo culmina durante la floración del girasol. La duración de este período está relacionada, principalmente con el genotipo y oscila en las condiciones climáticas del estudio, entre 10 y 15 días. Temperaturas bajas, climatología lluviosa y húmeda pueden desplazar la floración, mientras que temperaturas altas y ambiente seco aceleran la floración y por supuesto dificultan una buena polinización. Desde el punto de vista de la productividad ésta es la fase más determinante, con la absorción más intensa del

agua y nutrientes (Castiglioni et al., 1997).

La figura 38 muestra el valor promedio del diámetro del capítulo en la planta de girasol para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

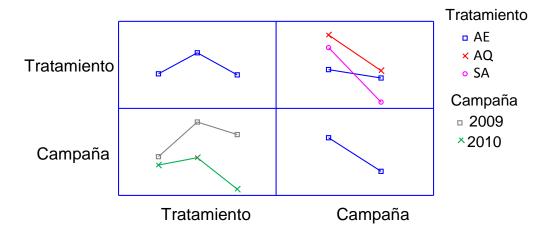


Figura 38. Gráficas de medias globales para el diámetro del capítulo en la planta de girasol, en función de la campaña y del tratamiento.

Se observa una tendencia similar en la variación del diámetro del capítulo de las plantas de girasol en las dos campañas estudiadas, para los tres tratamientos, siendo el tratamiento de fertilización química el que mayor diámetro presenta, frente a los tratamientos de fertilización orgánica, por su parte el diámetro del capítulo para las plantas sin fertilizar en la campaña 2009, se muestra mayor que el de las plantas fertilizadas orgánicamente, mientras que en la campaña 2010, las plantas del tratamiento sin fertilizar dan los capítulos más pequeños de todo el estudio. Además los diámetros del capítulo encontrados en la segunda campaña (2010) son más bajos a los registrados en la campaña 2009.

Por otra parte, de las gráficas de medias globales también se puede concluir que la disminución en el diámetro del capítulo, en la segunda campaña, es más pronunciada para el tratamiento sin fertilización, mientras que el tratamiento de fertilización orgánica amortigua la disminución del diámetro del capítulo.

La figura 39 muestra los resultados promedio del diámetro del capítulo floral en el girasol, para cada uno de los tratamientos y durante las campañas de 2009 y 2010.

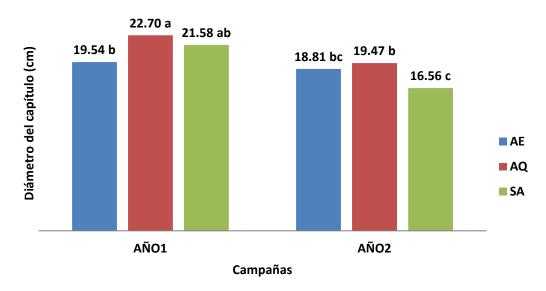


Figura 39. Valores promedio del diámetro del capítulo floral de las plantas (cm) de girasol en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

De acuerdo con Sanchez Rodríguez *et al.* (2013), el diámetro del capítulo es el que mayor efecto directo tiene sobre el rendimiento, ya que se correlacionan con el mayor número de cipselas por planta, mostrando ser un carácter importante para seleccionar la variabilidad de partida en un programa de mejoramiento que busque el incremento del rendimiento.

En el total de los resultados, del diámetro del capítulo de la planta de girasol, obtenidos en este estudio, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas (al 95% de confianza), entre el tratamiento fertilizante, pero sí existen respecto a la campaña, siendo los valores del diámetro de capítulo de la campaña 2009 superiores a los de la campaña 2010. Si bien analizando entre pares de resultados, se observa que los valores obtenidos para el tratamiento de fertilización química en la campaña 2009 difieren significativamente de los obtenidos para el tratamiento de fertilizar en la campaña 2010. Además los capítulos florales obtenidos en las plantas de girasol para la campaña 2010 son las más pequeñas y difieren significativamente del resto de valores obtenidos.

Los resultados obtenidos del diámetro del capítulo floral de la planta de girasol, indican que la respuesta a la fertilización química conduce a un diámetro del capítulo que alcanza los 22.70 cm, en promedio, frente a los 19.54 cm que alcanza el diámetro del capítulo de las plantas fertilizadas con productos orgánicos y los 21.58 cm de las plantas no fertilizadas para la campaña de 2009 (lo que significa un 16% más de diámetro capitular en las plantas fertilizadas químicamente frente a las fertilizadas mediante técnicas ecológicas y un 5% más frente a las no fertilizadas). En la campaña de 2010, los tamaños del capítulo se igualan entre los diferentes tratamientos, sobre todo para los valores obtenidos en los dos tratamientos fertilizados, donde las plantas fertilizadas químicamente presentan sólo un 3.5% más que las fertilizadas orgánicamente.

En la etapa reproductiva del girasol, que transcurre desde la inducción y la iniciación floral hasta la antesis y la fecundación, se produce la formación de la inflorescencia y en el mismo ocurre un gran desarrollo de altura y biomasa del tallo, a la par que la formación del capítulo, estos procesos prácticamente cesan cuando comienza la antesis (Hernández y Orioli, 1992). Esta etapa es de suma importancia para determinar los componentes del rendimiento, ya que en esta etapa, no solo se forma el máximo potencial de almacenaje de carbohidratos y minerales de la planta, sino que se forma también la inflorescencia. Ambos procesos dependen de la disponibilidad, en ese momento, de fotoasimilados y nutrientes minerales. Se puede entonces presentar una competencia entre los dos destinos fundamentales para el cultivo del girasol, la formación de una gran masa vegetativa en activo crecimiento y el desarrollo de un órgano reproductivo, el capítulo (Hernández y Orioli, 1994).

El diámetro del capítulo del girasol es variable en función de múltiples factores, entre los que destacan la variedad, la temperatura, las condiciones edafoclimáticas, de la capacidad de intercepción e intensidad de la radiación, las técnicas de fertilización y la sanidad del cultivo (Leite *et al.*, 2006). Así, el tamaño del capítulo, en función de su diámetro, puede verse muy disminuido por el estado sanitario, y podría explicarse por el momento de aparición de los agentes que afectan a la sanidad y el momento de formación del capítulo.

Frank y Szabo (1989) citan valores promedio de diámetro de capítulo floral dentro de un amplio rango (de 6 a 50 cm). Los diámetros de capítulo, muy superiores a las 17 cm producen menor calidad de los granos y menor producción (CETIOM, 1983), por otro lado, capítulos muy pequeños indican limitaciones en el desarrollo del cultivo, con gran influencia en la producción (Jain *et al.*, 1978). Los valores encontrados en el diámetro del capítulo, en el presente estudio son superiores al rango de 16-17 cm citados por Velazquez y Fomento (2003). Superiores también a los citados por Gomes *et al.* (2003), en trabajos de campo en la zona de São Paulo (Brasil), para evaluar el efecto del estrés hídrico en la altura de planta y el diámetro de los capítulos, a los encontrados por Smiderle *et al.* (2005) en seis cultivares introducidos en Brasil en dos épocas climáticas (seca y lluviosa), y a los citados por Sanchez Rodríguez *et al.* (2013) en cultivares introducidos en Argentina.

Respecto a la influencia de la fertilización en los parámetros productivos del girasol, los resultados publicados son demasiado controvertidos. Por un lado, se conoce que la absorción de algunos nutrientes en el girasol, como por ejemplo nitrógeno y fósforo, se relaciona con a la ganancia de altura y peso seco de los diferentes órganos de la planta (Orioli *et al.*, 1977). Durante la elongación del tallo hay una gran acumulación, la que cesa cuando ocurre la floración. Por lo tanto en los frutos se acumularán los elementos minerales móviles, y cuya fuente principal es la cantidad acumulada durante las etapas previas al llenado (Hocking y Steer, 1983). Es posible que la respuesta a la fertilización no solo esté ligada al cultivar y a las propiedades físico-químicas del suelo (Hernández y Orioli, 1985), sino fuertemente influenciada por determinadas características del desarrollo radical. Así, estos autores indican que el crecimiento en profundidad de las raíces laterales explicaría la respuesta positiva a la fertilización profunda, algo que podría verse reflejado en la fertilización química realizada en el presente trabajo.

4.2.4. Resultados del peso de 1000 semillas de girasol

Lo que vulgarmente se conoce como semilla de girasol (denominada botánicamente cipsela) es un fruto seco, uniseminado, con pericarpio separado de la verdadera semilla o pepita. El nombre de cispsela es más adecuado que el de aquenio dado que en las plantas compuestas los ovarios son bicarpelares e ínferos, mientras

que el aquenio corresponde a un fruto derivado de ovarios unicarpelares y súperos. La semilla es la que contiene la mayor parte de la materia grasa o aceite (Aguirrezábal *et al.*, 2001). La recolección de las semillas se realizó cuando todos los capítulos de la planta de girasol estaban bocabajo, siendo le humedad de la semilla del 11%, aproximadamente.

La aplicación de nitrógeno fertilizante al cultivo de girasol ocasiona que el mayor porcentaje de materia seca se acumule en tallos, seguido de semillas, receptáculos y hojas. Al respecto, Steer y Hocking (1984) encontraron que con fertilización nitrogenada la mayor cantidad de biomasa se dirige al tallo y la menor a la hoja, sin embargo, una mayor proporción se concentró en el receptáculo, que en la semilla, lo cual difirió con los resultados encontrados en otros estudios (Gutiérrez *et al.*, 2000). Esta diferente respuesta del cultivo puede estar relacionada con las diferencias tan contrastantes en los climas de cultivo.

La figura 40 muestra el valor promedio del peso de 1000 semillas de girasol para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

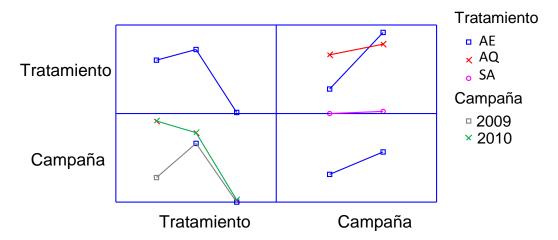


Figura 40. Gráficas de medias globales para el peso de 1000 semillas de girasol, en función de la campaña y del tratamiento.

Se observa que en promedio, el tratamiento de fertilización química es el que mayor peso presenta para las 1000 semillas de girasol, frente al tratamiento de fertilización orgánica, y al tratamiento sin fertilización, que es donde menor peso presentan las semillas. Esta tendencia es la que se sigue en la campaña 2009, pero para la campaña 2010 el tratamiento de fertilización orgánica muestra un incremento

significativo en el peso de las 1000 semillas. Además, el peso de las 1000 semillas son menores, en promedio, para los valores de la campaña 2009, frente a los de 2010.

La tendencia seguida se visualiza en la gráfica de la interacción tratamiento/campaña, donde se observa que la pendiente para el tratamiento de fertilización orgánica en el parámetro del peso de las 1000 semillas es muy pronunciado y con pendiente positiva desde los valores del 2009 al 2010. Mientras que para el caso del peso de las semillas del tratamiento son fertilizar no se produce variación de una campaña a la otra, y en el caso del peso de semillas para el tratamiento de fertilización química la pendiente, aunque positiva, es menos pronunciada.

La figura 41 muestra los resultados promedio del peso de 1000 semillas de girasol, para cada uno de los tratamientos y durante las campañas de 2009 y 2010.

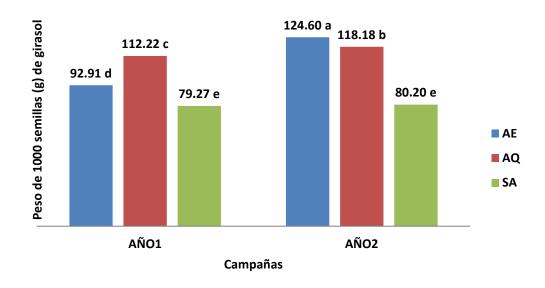


Figura 41. Valores promedio del peso de 1000 semillas (g) de girasol en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

De manera general, existen diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento y a la campaña, para el valor del peso de las 1000 semillas de girasol. Estas diferencias se especifican, ya que el tratamiento de fertilización orgánica en la campaña 2010 es la que significativamente obtiene los mayores pesos de las 1000 semillas, frente a los valores del tratamiento sin fertilizar, que son los que menor

peso de semilla alcanzan. Esta diferencia se observa también para la campaña 2010. Los valores del peso de las semillas en el tratamiento de fertilización química alcanzan valores estadísticamente intermedios, entre ambos tratamientos, para la campaña 2010, mientras que en la primera campaña es el tratamiento más productivo, en relación al peso de semilla.

Cuantitativamente, en la campaña 2009, con el tratamiento de fertilización química se obtiene un 20.78% más de semilla que con el tratamiento de fertilización orgánica, y un 41.57% más que en el tratamiento sin fertilizar. Mientras que en la campaña 2010, el tratamiento con fertilización orgánica proporciona un 5.4% más de peso de semillas de girasol y un 55.3% más frente al tratamiento sin fertilización.

Los resultados del peso de las semillas de girasol se relacionan con el diámetro del capítulo de las plantas en el tratamiento convencional, y aunque estas dos características sean complementarias, muchas veces el cuajado del capítulo está condicionado por factores externos, no correspondiendo su tamaño a la presencia de cipselas.

La duración del período de cuajado de cipselas, es función, principalmente del genotipo. La falta de agua y nutrientes ocasionan problemas en el cuajado y el peso de 1000 cipselas, que repercuten por supuesto, en la productividad (Castiglioni *et al.*, 1997). Por todo ello, la variabilidad en el peso de las 1000 semillas de girasol es muy alta, influyendo las condiciones climáticas, principalmente la luminosidad y la temperatura, las factores genéticos y la fertilización. Glifford *et al.* (1984) señalan que dentro de las bases fotosintéticas para incrementar el rendimiento de la cosecha, se debe contemplar una mayor distribución de materia seca hacia la estructura del rendimiento agronómico (en este caso hacia la semilla).

Los pesos de las 1000 semillas obtenidos en el presente trabajo son superiores a los obtenidos por otros autores. Así en los trabajos de Sanchez Rodriguez *et al.* (2013) los pesos de las 1000 semillas oscilan entre 36 g a 42 g. Moreno (2010) encuentra más variabilidad al trabajar en la mejora de 18 variedades de girasol en Argentina, oscilando el peso entre los 28 g y los 103.6 g.

Lobo *et al.* (2012) estudiando dosis crecientes de N en el cultivo de girasol, encuentran que el peso de 1000 semillas no presenta diferencias significativas cuando se emplean dosis de N de 50, 70, 90, 110 y 130 kg ha⁻¹, para la variedad HELIO-251.

Y los trabajos sobre fertilización realizados en áreas brasileñas sobre la fertilización nitrogenada en girasol ponen de manifiesto que los rendimientos en semilla no se ven afectados, por lo que la aplicación de fuentes menos contaminantes es más adecuada para este cultivo (Lobo y Grassi Filho, 2007).

4.3. RESULTADOS UNIVARIANTES PARA EL CULTIVO Y SEMILLAS DE ALGODÓN

En este apartado se van a evaluar los resultados univariantes de los parámetros estudiados para el caso del algodón en las dos campañas.

En total se han realizado 600 mediciones en el cultivo de algodón. La tabla 10 muestra los valores promedios para el peso de las 100 semillas y el linter medidos para el cultivo del algodón, así como los niveles de significación estadística encontrada entre las diferentes variables.

Tabla 10. Valores promedio del peso de 100 semillas y linter en el cultivo del algodón*.

Tratamiento Peso (g) de 100 semillas con linter						
	Año 1					
AE	10.5 e					
AQ	11.9 d					
SA	9.26 e					
	Año 2					
AE	17.75 c					
AQ	20.08 b					
SA	21.44 a					

^{*}Letras diferentes, entre parámetro, indican diferencias significativas al 95% de confianza.

Evaluando los resultados anuales con los datos climáticos de la pluviometría se observa que los mayores valores para el peso de la semilla se obtiene en la campaña 2010, que es la considerada como seca.

El peso de la semilla de algodón es un indicativo de la productividad en el cultivo. Para cualquier que sea la variedad, la población de plantas por unidad de superficie es uno de los componentes de rendimiento que interfieren significativamente en la productividad (Heitholt, 1993).

La figura 42 muestra el valor promedio del peso de 100 semillas y su linter para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

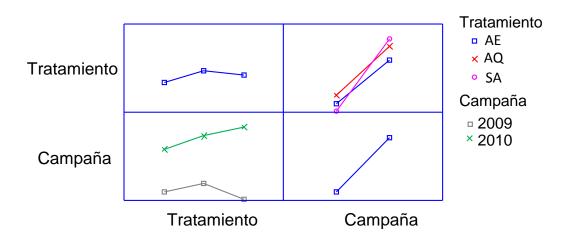


Figura 42. Gráficas de medias globales para el peso de 100 semillas y su linter en algodón, en función de la campaña y del tratamiento.

Se observa que en promedio, el tratamiento de fertilización química es el que mayor peso presenta para las 100 semillas de algodón, frente al tratamiento de fertilización orgánica, y al tratamiento sin fertilización, que es donde menor peso presentan las semillas. Esta tendencia es la que se sigue en la campaña 2009, pero para la campaña 2010 el tratamiento sin fertilización muestra un incremento significativo en el peso de las 100 semillas y su linter. Además, el peso de las 100 semillas son menores, en promedio, para los valores de la campaña 2009, frente a los de 2010, para todos los tratamientos.

La tendencia seguida se visualiza en la gráfica de la interacción tratamiento/campaña, donde se observa que en los tres tratamientos fertilizantes el peso de las 100 semillas se incrementa en la campaña 2010, con un incremento similar, ya que las pendientes son parecidas, aunque en el peso de las semillas para el tratamiento sin fertilizar, la pendiente es sensiblemente mayor.

La figura 43 muestra los resultados promedio del peso de 100 semillas y su linter para cada uno de los tratamientos, durante las campañas de 2009 y 2010.

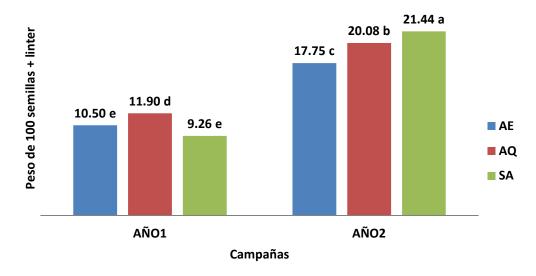


Figura 43. Valores promedio del peso de 100 semillas y linter (g) de algodón en función del tratamiento y de la campaña. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95% de confianza.

De manera general, existen diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento y a la campaña, para el valor del peso de las 100 semillas de algodón. Estas diferencias se especifican, ya que el tratamiento donde no se aplican fuentes fertilizantes, en la campaña 2010 es la que significativamente obtiene los mayores pesos de las 100 semillas, frente a los valores del tratamiento de fertilización orgánica, que son los que menor peso de semilla alcanzan. Los valores del peso de las semillas en el tratamiento de fertilización química alcanzan valores estadísticamente intermedios, entre ambos tratamientos, para la campaña 2010, mientras que en la primera campaña es el tratamiento más productivo, en relación al peso de semilla.

Cuantitativamente, en la campaña 2009, con el tratamiento de fertilización química se obtiene un 13.33% más de semilla que con el tratamiento de fertilización orgánica, y un 28.51% más que en el tratamiento sin fertilizar. Mientras que en la campaña 2010, el tratamiento con fertilización orgánica es el que menor peso de semilla presenta, proporcionando un 20.8% menos de peso de semillas de algodón que el tratamiento sin fertilizar y un 13.13% menos frente al tratamiento fertilizado convencionalmente.

Los factores que influyen en la producción y peso de la semilla son muy variables. Así los factores genéticos, climáticos, productivos etc. inciden en este parámetro. El uso del riego en áreas semi áridas del nordeste del Brasil, donde se ha realizado este estudio, es muy importante para una buena productividad. La fertilidad del suelo es solo uno de los factores de producción, su eficiencia será mejor, tanto cuanto sea la adecuación de los demás factores, en cantidad y calidad. El algodón es una planta que evolucionó sobre suelos ricos en nutrientes, teniendo necesidad de suelos fértiles para producir adecuadamente, y así extraer grandes cantidades de nutrientes del suelo durante su ciclo (Rochester, 2007).

El crecimiento y rendimiento del algodón, al igual que la mayoría de las especies cultivadas, muestra alta dependencia del nitrógeno y del agua durante su ciclo biológico. Palomo Gil *et al.* (1999) enfatizan que la sobrefertilización produce plantas con gran crecimiento vegetativo sin que esto se refleje en el rendimiento, además de que se incrementan las probabilidades de que se pierda el nitrógeno del sistema sueloplanta. La dosis óptima de fertilización está determinada por muchas variables ambientales como el clima, tipo de suelo, cultivar, fertilidad residual, humedad disponible, plagas, etc., (McConnell *et al.*, 1989).

Los resultados encontrados en el presente trabajo, pueden justificarse con la falta de respuesta a la fertilización nitrogenada que se da en el cultivo del algodón, ya que parece que los nuevos genotipos de algodón podrían requerir cantidades de fertilizantes inferiores a las actualmente recomendadas.

Palommo Gil *et al.* (2002) encuentran que el peso de 100 semillas de algodón, en zonas productoras de México, fluctúan entre los 10.6 g a los 11.1 g, encontrando puntualmente valores inferiores, pesos que coinciden con los obtenidos en el presente trabajo, para la campaña 2009, algo que se duplica en la campaña 2010.

4.4. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO EN ACEITE EN FUNCIÓN DEL CULTIVO, CAMPAÑA Y TRATAMIENTO FERTILIZANTE

Una vez estudiados los parámetros vegetativos de los tres cultivos, en este apartado se va a evaluar el rendimiento obtenido en aceite por las semillas de cada tipo de cultivo, en función de los diferentes tratamientos fertilizantes y en las dos campañas.

La tabla 11 muestra el resultado del análisis de la varianza para el contenido promedio en aceite (%) obtenido de las semillas para cada factor estudiado, así como su nivel de significación estadística obtenida (al 95% de confianza), y el de sus interacciones.

Tabla 11. Análisis de la varianza para el contenido en aceite (%) de las semillas.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medio	Coeficiente-F	Valor de P				
EFECTOS PRINCIP	EFECTOS PRINCIPALES								
A: Campaña	186.377	1	185.377	8.18	0.0050				
B: Tratamiento	175.669	2	87.334	3.88	0.0234				
C: Cultivo	8707	2	4353.63	192.11	0.0000				
INTERACCIONES									
AB	70.00	2	35.0021	1.54	0.2176				
AC	164.01	2	82.0059	3.62	0.0298				
ВС	95.51	4	23.8764	1.05	0.3826				
ABC	66.48	4	16.6196	0.73	0.5709				
RESIDUOS	2742.15	121	22.6624						

Se observa que los tres efectos principales son estadísticamente significativos, mientras que de las interacciones, es significativa la que se produce entre la campaña y el cultivo.

En general la campaña menos productiva es la 2009, mientras que las semillas de los cultivos de 2010 producen mayor rendimiento en aceite. La figura 44 muestra los niveles promedio del porcentaje en aceite en función del tratamiento fertilizante y del cultivo.

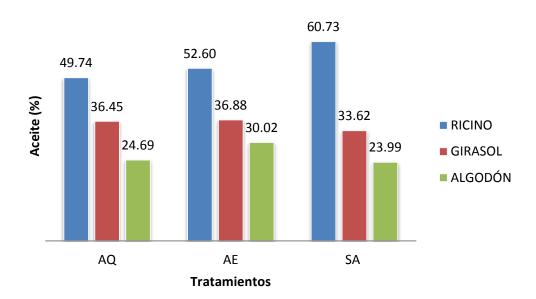


Figura 44. Valores promedio del rendimiento en aceite (%) de las semillas, en función del cultivo y del tratamiento.

En cuanto al rendimiento en aceite de las semillas, se observa que las más productivas son las de ricino y girasol, independientemente del tratamiento fertilizante y de la campaña. El mayor rendimiento en aceite de ricino (60.73%) se obtiene para el tratamiento sin fertilizar, obteniéndose un 15.45% más que las semillas del tratamiento de fertilización orgánica y un 22.1% más que las semillas de ricino fertilizadas convencionalmente. El mayor rendimiento en aceite de girasol (36.88%) se obtiene para el tratamiento de fertilización ecológica, pero sólo difiere en un 1.18% más de los rendimientos en aceite de girasol, que se obtiene con el tratamiento de fertilización química o convencional, y un 9.7% más del rendimiento en aceite de las semillas de girasol del tratamiento sin fertilizar. En cuanto al aceite de algodón, también se observa que el mayor rendimiento se obtiene de las semillas procedentes del tratamiento de fertilización ecológica, obteniéndose un 21.59% más de aceite que de las semillas procedentes de plantas de algodón fertilizadas convencionalmente y un 25.14% más que de las semillas procedentes del tratamiento sin fertilizar.

Los trabajos de Conceição *et al.* (2007) y los de Scholz y da Silva (2008) indican que los rendimientos en aceite de las semillas de ricino oscilan entre el 47 y el 49%, valores inferiores a los obtenidos en este trabajo. Los trabajos de Demirbas (2008c) y Georgogianni *et al.* (2008) citan que los rendimientos en aceite de las semillas de girasol son en promedio, del 40%, ligeramente superiores a los

encontrados en este trabajo para todos los casos. Por su parte Demirbas (2008c) indica que los rendimientos en aceite de algodón de sus semillas son del 20%, ligeramente inferior al obtenido, en este trabajo, para los tratamientos de fertilización química y de no fertilización; y un 66.6% inferior, en comparación con los valores obtenidos para las semillas de algodón procedentes de las plantas de fertilización orgánica. Las diferencias con respecto a los datos bibliográficos pueden ser debidas a los distintos materiales genéticos, o incluso a las condiciones de cultivo y de fertilización.

La figura 45 muestra el valor promedio del rendimiento en aceite de las semillas de ricino, para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

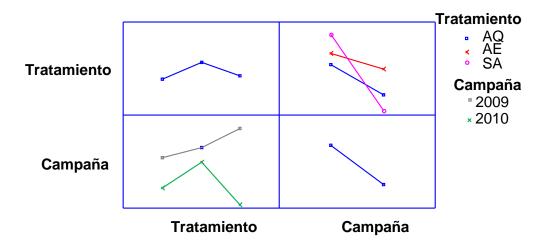


Figura 45. Valores promedio del rendimiento en aceite (%) de ricino en función del tratamiento y de la campaña.

Se observa que la campaña 2009 genera los rendimientos en aceite de ricino más altos, aunque existen diferentes tendencias de rendimiento de aceite en función del tratamiento, así mientras que en la campaña 2009, con el tratamiento sin fertilizar se obtienen los mayores rendimientos, en la campaña 2010, para este mismo tratamiento, los rendimientos en aceite disminuyen significativamente, resultado que se visualiza con claridad en la mayor pendiente que presentan los valores de este tratamiento de la campaña 2009 a la 2010.

Hay que destacar el buen comportamiento en el rendimiento en aceite del ricino, bajo condiciones más rigurosas, ya que se alcanzan porcentajes en aceite adecuados cuando las plantas no se fertilizan y cuando se fertilizan de forma orgánica.

Machado *et al.* (2012) en trabajos llevados a cabo para introducir variedades de ricino en Cuba y comparando su comportamiento con el de plantas autóctonas, determinaron que los rendimientos en aceite de las semillas fueron variables, oscilando entre 25.7% hasta 51.2%, siendo los rendimientos extremos los obtenidos por los cultivares introducidos, mientras que los cultivares autóctonos presentaron rendimientos en aceite intermedios.

La figura 46 muestra el valor promedio del rendimiento en aceite de las semillas de girasol, para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

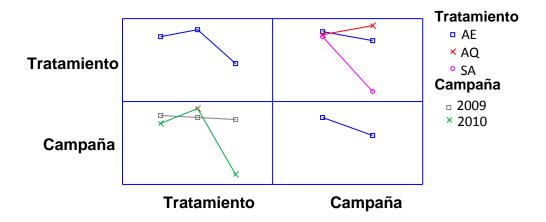


Figura 46. Valores promedio del rendimiento en aceite (%) de girasol en función del tratamiento y de la campaña.

Se observa que en promedio, la campaña 2009 genera los rendimientos en aceite de girasol más altos, aunque existen diferentes tendencias en el rendimiento de aceite en función del tratamiento. Los tratamientos de fertilización, tanto ecológica como química, generan prácticamente los mismos rendimientos en aceite, en las dos campañas, y el tratamiento sin fertilización muestra una disminución muy pronunciada del rendimiento en aceite de girasol durante la campaña 2010.

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, se observa que para un mismo cultivar, puede variar el rendimiento de aceite de 42 a 36%, disminuyendo con el atraso de la época de plantación, estos aspectos pueden influir en las diferencias encontradas en el presente trabajo.

La figura 47 muestra el valor promedio del rendimiento en aceite de las semillas de algodón, para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

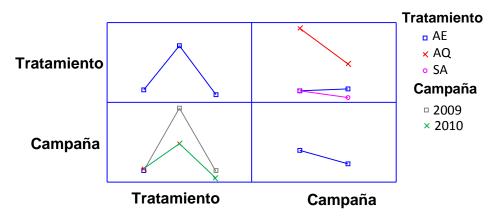


Figura 47. Valores promedio del rendimiento en aceite (%) de algodón en función del tratamiento y de la campaña.

Se observa que en promedio, la campaña 2009 genera los rendimientos en aceite de algodón más altos. Se observa un comportamiento muy homogéneo de los tratamientos en las dos campañas, de forma que los mayores rendimientos en aceite de las semillas se alcanzan para el tratamiento con fertilización química o convencional, diferenciándose los contenidos de los otros dos tratamientos, donde los contenidos en aceites son más bajos y similares entre ellos y entre las dos campañas estudiadas. Aunque también se aprecia que los contenidos en aceite de algodón en el tratamiento de fertilización química sufre un descenso significativo en la segunda campaña, respecto a la de 2009, mientras que los rendimientos de este aceite para las semillas procedentes de los otros dos tratamientos son muy estables en el tiempo.

En estudios llevados a cabo con el cultivar de algodón BRS-Safira (Moretto, 1998) se comprobó que el rendimiento graso que presentaron sus semillas fue de 23.5%, estando por encima del valor promedio estimado para estas semillas, y por debajo de

los valores de este ensayo, independientemente de la campaña y del tratamiento fertilizante.

Las reseñas en cuanto a la repercusión de la fertilización o al tipo de fertilización (ecológica y convencional), con respecto al rendimiento en aceite de las semillas, es limitada, y en cualquier caso no contundentes. Así, en un estudio de cultivo de girasol en agricultura convencional y bajo dos niveles de fertilización nitrogenada (0 y 46 kg N ha⁻¹), indica que los rendimientos en aceite de las semillas fueron de 40.63% para el tratamiento sin fertilización química y 39.40% para el tratamiento fertilizado, siendo las diferencias estadísticamente significativas (Velazquez y Formento, 2003). En este mismo sentido Nanjundappa *et al.* (2001), trabajando también con girasol, encuentran diferencias ventajosas en los parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo en la aplicación de fuentes fertilizantes orgánicas, en concreto estiércol, pero indican que el contenido de aceite en las semillas no reacciona a la aplicación de sustancias orgánicas ni inorgánicas fertilizantes.

También De Lima *et al.* (2014) indican que el efecto fertilizante y las condiciones de riego pueden afectar en las condiciones del cultivo del ricino, pero no indican repercusiones sobre el rendimiento en aceite. López Martínez *et al.* (2014) han trabajado en la optimización de la dosis de estiércol bovino solarizado, así como la en la densidad de siembra, en la producción de algodón, durante el desarrollo fenológico del cultivo, encontrando optimizaciones en los parámetros de fertilización orgánica en relación a la producción, pero no se relaciona con el rendimiento en aceite.

El proceso de lipogénesis y acumulación del aceite en la semilla se inicia con los productos de la fotosíntesis, en concreto con la sacarosa que es transportada al citoplasma de las semillas. Por varios procesos enzimáticos y por condensaciones múltiples, se forma el ácido palmítico. A éste se le adiciona un residuo de acetil, para dar ácido esteárico, el cual es desaturado aeróbicamente para dar ácido oleico, que es transportado al retículo endoplasmático; ahí tiene varias modificaciones para producir otros ácidos grasos, como el linoleico y el linolénico. Los ácidos grasos así formados son luego condensados con el glicerol para formar los triglicéridos, los cuales son almacenados en los oleosomas. Por ello, los factores bioquímicos y de fotosíntesis pueden tener más implicación en la acumulación de aceite, que los de fertilización.

4.5. RESULTADOS DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN FUNCIÓN DEL CULTIVO, CAMPAÑA Y TRATAMIENTO FERTILIZANTE

Este apartado tiene como objetivo evaluar los contenidos y las interacciones de los principales ácidos grasos presentes en los aceites de ricino, girasol y algodón. Los ácidos grasos cuantificados en los aceites han sido, mirístico, palmítico, palmitoleico, heptadecanoico, heptadecenoico, esteárico, oleico, linoleico, aráquico, linolénico, eicosanoico, behénico, erucico y lignocérico. De todos los ácidos grasos, los que se presentan de forma mayoritaria son el ácido oleico, el linoleico, linolénico, palmítico y esteárico, estos dos últimos varían en función del tipo de aceite. Y los que se encuentran en concentración minoritaria son mirístico, palmitoleico, eicosanoico, aráquico y heptadecanoico. Del resto las concentraciones son tremendamente bajas ±0.01% o no se detectan.

La tabla 12 muestra los valores promedios obtenidos del contenido individual en los ácidos grasos mayoritarios, en los tres aceites (ricino, girasol y algodón), para los tres tratamientos fertilizantes y en las dos campañas de estudio.

Tabla 12. Composición (%) de los ácidos grasos mayoritarios en los aceites de ricino, girasol y algodón, en los tres tratamientos fertilizantes y las dos campañas.

Campaña	Cultivo	Tratamiento	Oléico (C18:1)	Linoleico (C18:2)	Linolénico (C18:3)	Palmítico (C16:0)	Esteárico (C18.0)
		AE	31.10%	37.89%	3.42%	8.77%	8.45%
	Ricino	AQ	30.71%	39.02%	3.56%	8.10%	7.62%
	Memo	SA	30.83%	38.80%	3.07%	7.81%	7.44%
		AE	51.96%	38.46%	0.031%	4.97%	2.83%
2009	Girasol	AQ	53.87%	36.44%	0.035%	5.01%	2.85%
		SA	54.84%	35.38%	0.040%	5.04%	2.81%
		AE	18.13%	51.85%	0.12%	24.78%	2.48%
	Algodón	AQ	17.24%	54.12%	0.12%	23.49%	2.47%
	-	SA	17.65%	52.23%	0.12%	24.93%	2.38%
		AE	33.32%	40.65%	4.19%	8.78%	8.56%
	Ricino	AQ	33.54%	40.72%	3.84%	8.53%	8.35%
		SA	32.37%	41.13%	3.44%	9.28%	8.78%
		AE	53.93%	36.00%	0.034%	5.15%	3.08%
2010	Girasol	AQ	53.58%	35.76%	0.06%	5.50%	3.28%
		SA	54.16%	35.94%	0.05%	5.30%	2.81%
		AE	17.12%	53.26%	0.13%	24.24%	2.47%
	Algodón	AQ	17.35%	53.41%	0.13%	24.03%	2.40%
		SA	18.12%	53.46%	0.15%	23.68%	2.38%

El conocimiento de la composición en ácidos grasos de los aceites es esencial para evaluar la capacidad del mismo en la producción de biodiesel.

El perfil lipídico o composición en ácidos grasos, podría interpretarse como la huella de identificación de los aceites, ya que de forma mayoritaria los aceites de ricino se corresponden con un valor aproximado de un 30-33% de ácido oleico, 37-41% de linoleico, 3.5-4% de linolénico, 8-9% de palmítico, 7.4-8.8% de esteárico. Los aceites de girasol presentan aproximadamente entre un 51 y un 54% de ácido oleico, entre un 35 y 38% de linoleico, valores muy bajos de linolénico (0.04% aproximadamente), entre un 5 y un 9% de palmítico y alrededor de un 3% de esteárico. En el aceite de algodón entre el 17-18% es de ácido graso oleico, del 52 al 54% de linoleico, del 0.12% al 0.15 de linolénico, del 23 al 24% de palmítico y el 2.4% de esteárico.

Según Conceição et al. (2007), el aceite de ricino posee características químicas atípicas comparado con la mayoría de los aceites vegetales, por la presencia del ácido ricinoleico, que es un ácido graso hidroxilado, poco frecuente, como constituyente principal, en los aceites vegetales y que le confiere mayor viscosidad al aceite. Este ácido graso, posee 18 carbonos y presenta la particularidad de ser uno de los pocos ácidos grasos naturales, cuya estructura química posee tres grupos funcionales altamente reactivos, el grupo carbonilo del carbono uno, el doble enlace en el noveno átomo de carbono y el grupo hidroxilo en carbono doce. En la literatura (Karleskind, 1996) se reporta un porcentaje aproximado en la composición en ácidos grasos del aceite de ricino del 1% de ácido palmítico, 1% de ácido esteárico, 3% de ácido oleico, 3-4% de ácido linoleico y un 89-90% de ácido ricinoleico (C18:1(OH)). Esta composición difiere significativamente de la obtenida en el presente trabajo, debido a las condiciones del programa cromatográfico empleado. Por otro lado los estudios de Lang et al. (2001) indican que la fracción lipídica mayoritaria del aceite de ricino es un 67.2% de ácido oleico, un 18.9% de ácido linoleico, un 7.4% de ácido linolénico, un 4.2% de ácido palmítico y un 2.2% de ácido esteárico. Teniendo en cuenta la variabilidad de resultados, la fracción de ácidos grasos obtenida en el presente estudio es considerada válida, para la comparación con el resto de aceites estudiados.

La composición en ácidos grasos del aceite de girasol también es variable en función principalmente de las características de cultivo y del material genético (Díaz Gómez et al., 2009). Lang et al. (2001) y Ramos et al. (2008) aportan concentraciones de ácido oleico para el aceite de girasol del 20 al 25%, del 6.5% en ácido palmítico, del

3 al 5% en ácido esteárico y del 68% en ácido oleico. La composición obtenida en el presente trabajo difiere de la obtenida por estos autores, pero se asemeja a la presentada por Díaz Gómez *et al.* (2009), posiblemente debido al material vegetal empleado.

Para el caso de la composición lipídica del aceite de algodón, los datos bibliográficos (Goering *et al.*, 1982; Demirbas, 2003) no difieren significativamente de los encontrados en el presente trabajo, así, se cita que el contenido en oleico oscila entre el 13%, un 28-29% para el ácido palmítico, para el esteárico un 1% aproximadamente, entre el 57 y el 57.4% para el contenido en ácido graso linoleico y del resto se indican concentraciones despreciables.

La tabla 13 muestra el resultado del análisis de la varianza para el contenido promedio en ácido oleico (%) obtenido de los aceites de las semillas para cada factor estudiado, así como su nivel de significación estadística obtenida (al 95% de confianza), y el de sus interacciones.

Tabla 13. Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso oleico (%) de los aceites.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medio	Coeficiente-F	Valor de P
EFECTOS PRINCIP	PALES				
A: Campaña	35.399	1	35.399	9.19	0.0030
B: Tratamiento	178.344	2	89.172	23.14	0.0000
C: Cultivo	14619.1	2	7309.55	1897.14	0.0000
INTERACCIONES					
AB	161.986	2	80.9929	21.02	0.0000
AC	475.962	2	237.981	61.77	0.0000
ВС	649.658	4	162.415	42.15	0.0000
ABC	748.135	4	187.034	48.54	0.0000
RESIDUOS	458.5	119	3.853		

Se observa que todos los efectos principales y sus interacciones son estadísticamente significativos (al 95% de confianza). Para las campañas de 2009 y 2010 el ácido oleico fue superior para los aceites extraídos del cultivo del 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.

La tabla 14 muestra el resultado del análisis de la varianza para el contenido promedio en ácido linoleico (%) obtenido de los aceites de las semillas para cada factor estudiado, así como su nivel de significación estadística obtenida (al 95% de confianza), y el de sus interacciones.

Tabla 14. Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso linoleico (%) de los aceites.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medio	Coeficiente-F	Valor de P
EFECTOS PRINCIP	ALES				
A: Campaña	26.689	1	26.689	5.21	0.0242
B: Tratamiento	20.9334	2	10.467	2.05	0.1330
C: Cultivo	2316.31	2	1168.16	227.07	0.0000
INTERACCIONES					
AB	4.392	2	2.196	0.43	0.6611
AC	15.933	2	7.669	1.50	0.2266
ВС	43.131	4	10.783	2.11	0.0833
ABC	76.964	4	19.241	3.77	0.0063
RESIDUOS	606.951	119	5.100		

Se observa que el tratamiento no es estadísticamente significativo (al 95% de confianza), respecto al contenido en ácido linoleico, pero si lo es la campaña y el cultivo. Tampoco existen diferencias estadísticas en cuanto a las interacciones entre los factores principales. En la campaña 2010, en promedio, se obtienen mayores concentraciones del ácido linoleico, independientemente del tratamiento fertilizante. El ácido linoleico ha presentado mayor concentración en el aceite procedente del algodón, con diferencias estadísticas respecto a las concentraciones del resto de los aceites procedentes de ricino o del girasol. Además, el aceite de girasol es el que menor concentración presenta de este ácido graso, con diferencias estadísticas frente al resto.

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. El cultivar BRS SAFIRA, de fibra roja tiene una composición lipídica de sus aceites, distinta a la de los cultivares herbáceas de fibra blanca, especialmente, los ácidos grasos palmítico (C16:0), que es alrededor del doble del normal en las cultivares de algodón de fibra blanca. Aun de acuerdo con Moretto (1998), el ácido graso linoleico (C18:2), predomina en las semillas del algodón herbáceo normal, de fibra

blanca, con un promedio del 54.54% sobre el total. Mientras que en el cultivar BRS Safira, el promedio de este ácido graso es significativamente más bajo (33.88%).

La tabla 15 muestra el resultado del análisis de la varianza para el contenido promedio en ácido linolénico (%) obtenido de los aceites de las semillas para cada factor estudiado, así como su nivel de significación estadística obtenida (al 95% de confianza), y el de sus interacciones.

Tabla 15. Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso linolénico (%) de los aceites.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medio	Coeficiente-F	Valor de P
EFECTOS PRINCIP	ALES				
A: Campaña	5.923	1	5.923	49.07	0.0000
B: Tratamiento	7.6310	2	3.815	31.61	0.0000
C: Cultivo	251.26	2	125.631	1040.78	0.0000
INTERACCIONES					
AB	5.43	2	2.715	22.49	0.0000
AC	6.269	2	3.815	25.97	0.0000
ВС	21.028	4	5.257	43.55	0.0000
ABC	25.343	4	6.336	52.49	0.0000
RESIDUOS	14.364	119	0.121		

Se observa que los tres efectos principales son estadísticamente significativos (al 95% de confianza) en cuanto al contenido en ácido linolénico, también existen diferencias entre las interacciones de los tres efectos principales.

En la segunda campaña se encuentran los aceites con mayor contenido en linolénico. Siendo el aceite de ricino el que presentó la mayor cantidad de ácido linolénico en las dos campañas y en los tres tratamientos fertilizantes, aunque para el cultivo de girasol, el ácido graso linolénico, destaca significativamente cuando el sistema de producción es mediante las técnicas de fertilización ecológicas. Los aceites de algodón son los que menor concentración presenta de este ácido graso, con diferencias estadísticas respecto al resto, sin encontrar diferencias entre los diferentes tratamientos.

La tabla 16 muestra el resultado del análisis de la varianza para el contenido promedio en ácido palmítico (%) obtenido de los aceites de las semillas para cada factor estudiado, así como su nivel de significación estadística obtenida (al 95% de confianza), y el de sus interacciones.

Tabla 16. Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso palmítico (%) de los aceites.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medio	Coeficiente-F	Valor de P
EFECTOS PRINCIP	ALES				
A: Campaña	4.224	1	4.224	9.87	0.0021
B: Tratamiento	0.743	2	0.371	0.87	0.4224
C: Cultivo	3149.66	2	1574.83	3681.74	0.0000
INTERACCIONES					
AB	8.34	2	4.168	9.75	0.0001
AC	8.028	2	4.014	9.38	0.0002
BC	27.242	4	6.811	15.92	0.0000
ABC	20.328	4	5.082	11.88	0.0000
RESIDUOS	50.901	119	0.428		

Se observa que existen diferencias estadísticamente significativas (al 95% de confianza) en el contenido en ácido palmítico, en función de la campaña y del tipo de cultivo, pero no existen diferencias atendiendo al tipo de tratamiento fertilizante. Aunque el efecto de la interacción entre los tres efectos principales, difiere estadísticamente en todos los casos evaluados.

En la segunda campaña se encuentran los aceites con mayor contenido en ácido graso palmítico, sobre todo por los altos niveles que alcanzan los aceites del tratamiento de fertilización química. Además, el ácido graso palmítico se presenta en una proporción estadísticamente superior en el aceite procedente de las semillas de algodón, independientemente del tratamiento fertilizante, seguido del aceite procedente de semillas de girasol, y por último de los aceites procedentes de semillas de ricino, en todos los casos, las diferencias encontradas son significativas (al 95% de confianza).

La tabla 17 muestra el resultado del análisis de la varianza para el contenido promedio en ácido esteárico (%) obtenido de los aceites de las semillas para cada factor estudiado, así como su nivel de significación estadística obtenida (al 95% de confianza), y el de sus interacciones.

Se observa que el contenido en ácido graso esteárico es estadísticamente significativo, independientemente de la campaña, tratamiento fertilizante y cultivo, al 95% de confianza, también existen diferencias entre las interacciones de los tres efectos principales.

Tabla 17. Análisis de la varianza del contenido en el ácido graso esteárico (%) de los aceites.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medio	Coeficiente-F	Valor de P
EFECTOS PRINCIP	ALES				
A: Campaña	12.252	1	12.252	46.04	0.0000
B: Tratamiento	9.385	2	4.692	17.63	0.0000
C: Cultivo	609.57	2	304.785	1146.40	0.0000
INTERACCIONES					
AB	11.812	2	5.906	22.20	0.0000
AC	14.249	2	7.124	26.78	0.0000
BC	55.961	4	13.99	52.58	0.0000
ABC	46.086	4	11.521	43.30	0.0000
RESIDUOS	31.665	119	0.266		

En la segunda campaña se encuentran los aceites con mayor contenido en ácido graso esteárico, sobre todo por los altos niveles que alcanzan, de este ácido graso, los aceites del tratamiento de fertilización química y los aceites del tratamiento sin fertilizar, en la campaña 2010. Además, el ácido graso esteárico se presenta en una proporción estadísticamente superior en el aceite procedente de las semillas de ricino, seguido del aceite procedente de semillas de girasol (principalmente para el caso del tratamiento de fertilización orgánica), y por último de los aceites procedentes de semillas de algodón, independientemente del tratamiento fertilizante. En todos los casos, las diferencias encontradas son significativas (al 95% de confianza).

La tabla 18 muestra los valores promedios obtenidos del contenido individual en los ácidos grasos minoritarios, en los tres aceites (ricino, girasol y algodón), para los tres tratamientos fertilizantes y en las dos campañas de estudio.

Los ácidos grasos minoritarios, de forma individual, no llegan a alcanzar el 1% del total de ácidos grasos, excepto para algunos casos del ácido graso eicosanoico para el caso del ricino.

Algunos aspectos destacables de estos ácidos grasos es que el mirístico se presenta en concentraciones, estadísticamente superiores, en los aceites procedentes de los tratamientos de fertilización orgánica y sin fertilizar, destacando para los aceites de algodón, sin presentar diferencias en cuanto a la campaña.

Tabla 18. Composición (%) de los ácidos grasos minoritarios en los aceites de ricino, girasol y algodón, en los tres tratamientos fertilizantes y las dos campañas.

Campaña	Cultivo	Tratamiento	Mirístico (C14:0)	Palmitoleico (C16:1)	Eicosanoico (20:0)	Heptadecanoico (C17:0)
		AE	0.08%	0.125%	2.820%	0.159%
	Ricino	AQ	0.05%	0.115%	0.571%	0.101%
		SA	0.09%	0.148%	0.009%	0.174%
		AE	0.05%	0.144%	0.176%	0.043%
2009	Girasol	AQ	0.05%	0.159%	0.181%	0.050%
		SA	0.05%	0.150%	0.081%	0.044%
		AE	0.81%	0.640%	0.06%	0.08%
	Algodón	AQ	0.71%	0.610%	0.07%	0.08%
		SA	0.78%	0.650%	0.07%	0.08%
		AE	0.05%	0.123%	2.974%	0.177%
	Ricino	AQ	0.04%	0.134%	3.014%	0.187%
		SA	0.05%	0.145%	3.187%	0.191%
		AE	0.05%	0.167%	0.171%	0.049%
2010	Girasol	AQ	0.04%	0.137%	0.174%	0.05%
		SA	0.05%	0.187%	0.177%	0.05%
		AE	0.84%	0.628%	0.062%	0.083%
	Algodón	AQ	0.78%	0.651%	0.067%	0.077%
		SA	0.80%	0.637%	0.063%	0.947%

Además el ácido eicosanoico presenta mayores concentraciones en la campaña 2010, y los tratamientos de fertilización orgánica y de fertilización química difieren significativamente de los contenidos que presentan los aceites del tratamiento sin fertilizar. Destacando los aceites de ricino como los que más síntesis realizan de este ácido graso.

En general las concentraciones de estos ácidos grasos, aunque en pequeñas proporciones pueden intervenir en la diferenciación del aceite y por tanto en sus propiedades.

Los resultados muestran que los cultivos utilizados tienen características propias a cada uno de ellos en relación a los ácidos encontrados en los aceites. Los perfiles de los ácidos grasos de los aceites favorece el desarrollo de la estabilidad oxidativa, debido a cantidad de ácidos grasos insaturados, principalmente los ácidos oleico (C18:1), linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3) (Ferrari y Souza, 2009).

4.6. RESULTADOS DEL RENDIMIENTO EN BIODIESEL EN FUNCIÓN DEL CULTIVO, CAMPAÑA Y TRATAMIENTO FERTILIZANTE

Una vez estudiados los rendimientos en aceite y la composición en ácidos grasos de los mismos, en este apartado se va a evaluar el rendimiento en la obtención de biodiesel por los aceites de cada tipo de cultivo, en función de los diferentes tratamientos fertilizantes y en las dos campañas.

La tabla 19 muestra el resultado del análisis de la varianza para el contenido promedio en biodiesel (%) obtenido de los aceites de las semillas para cada factor estudiado, así como su nivel de significación estadística obtenida (al 95% de confianza), y el de sus interacciones.

Tabla 19. Análisis de la varianza del rendimiento en biodiesel (%) de los aceites.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medio	Coeficiente-F	Valor de P
EFECTOS PRINCIP	ALES				
A: Campaña	9.500	1	9.500	0.02	0.8756
B: Tratamiento	226.301	2	113.15	0.29	0.7463
C: Cultivo	1526.94	2	763.47	1.98	0.1447
INTERACCIONES					
AB	41.52	2	20.7627	0.05	0.9476
AC	1991.73	2	995.863	2.59	0.0819
ВС	355.04	4	88.7603	0.23	0.9205
ABC	1296.35	4	324.088	0.84	0.5032
RESIDUOS	29658.4	77	385.174		

Se observa que ningún efecto principal es estadísticamente significativo y tampoco las interacciones resultantes presentan diferencias estadísticas entre los efectos. Por lo tanto no se destaca ningún tipo de aceite, ningún tratamiento fertilizante y ninguna campaña, como significativos a la hora de la transesterificación de los aceites y producción de biodiesel. La figura 48 muestra los niveles promedio del rendimiento en la obtención de biodiesel en función del tratamiento fertilizante y del cultivo.

Aunque las diferencias globales obtenidas no sean significativas, hay que destacar los rendimientos individuales en cada caso. Así, 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.

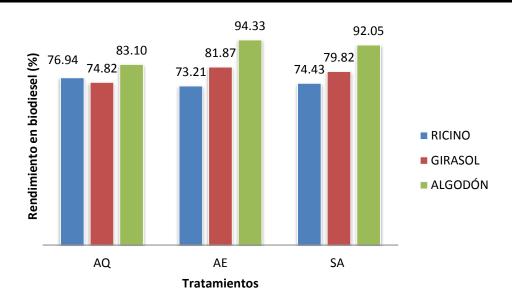


Figura 48. Valores promedio del rendimiento en biodiesel (%) de los aceites, en función del cultivo y del tratamiento.

Los rendimientos en la transesterificación de los aceites de algodón de fertilización orgánica son un 2.48% superiores a los que se obtienen con la transesterificación del aceite de algodón obtenido de las semillas de plantas sin fertilizar, y un 13.5% superior al que se obtienen con el aceite de algodón obtenido de semillas de plantas fertilizadas convencionalmente. Para el caso del aceite de girasol el rendimiento en biodiesel que se obtienen de las semillas de plantas de fertilización ecológica es un 2.6% superior al rendimiento en biodiesel de los aceites de semillas de girasol procedentes de un tratamiento sin fertilizar, y un 9.42% superior al rendimiento en biodiesel obtenido de los aceites procedentes de semillas de plantas fertilizadas químicamente. Para el caso del aceite de ricino, el rendimiento a biodiesel más alto se alcanza con el tratamiento de fertilización química, obteniéndose un 5% más que en el caso de los aceites procedentes de fertilización orgánica, y un 3.4% más que los correspondientes aceites obtenidos de las plantas sin fertilizar.

La figura 49 muestra el valor promedio del rendimiento en biodiesel de los aceites de ricino, para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

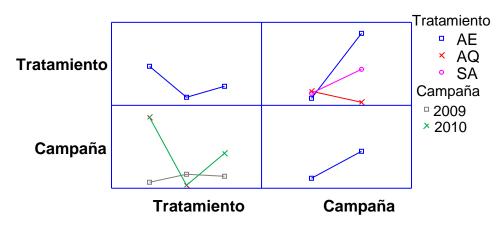


Figura 49. Valores promedio del rendimiento en biodiesel (%) de ricino en función del tratamiento y de la campaña.

Se observa que para el ricino, el rendimiento en biodiesel es superior en la campaña 2010, sobre todo por los rendimientos que se obtienen de los tratamientos de fertilización orgánica y sin fertilizar. Esta tendencia se manifiesta en la evaluación comparativa para los tres tratamientos donde se observa los incrementos en el rendimiento en la obtención de biodiesel para estos dos tratamientos en la campaña 2010, mientras que para el tratamiento de fertilización química se muestra un detrimento en los contenidos de biodiesel de la campaña 2009 a la 2010.

La figura 50 muestra el valor promedio del rendimiento en biodiesel de los aceites de girasol, para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

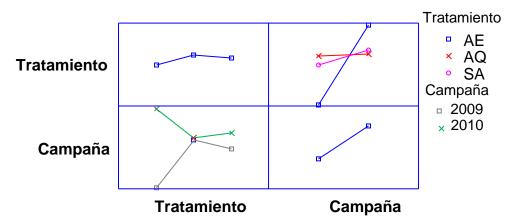


Figura 50. Valores promedio del rendimiento en biodiesel (%) de girasol en función del tratamiento y de la campaña.

Se observa que en la campaña 2010 se obtienen mayores rendimientos en biodiesel procedente de aceites de girasol, sobre todo por el incremento significativo que se produce en los rendimientos de los aceites procedentes de plantas fertilizadas orgánicamente. Los rendimientos en biodiesel de los aceites de girasol procedentes de los tratamientos de fertilización química y sin fertilizar, prácticamente mantienen estables sus rendimientos de la campaña 2009 a la 2010.

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).

La figura 51 muestra el valor promedio del rendimiento en biodiesel de los aceites de algodón, para las diferentes combinaciones entre la campaña de cultivo y el tratamiento.

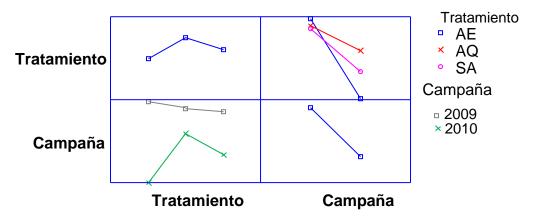


Figura 51. Valores promedio del rendimiento en biodiesel (%) de algodón en función del tratamiento y de la campaña.

Se observa que en la campaña 2009 se obtienen mayores rendimientos en biodiesel procedente de aceites de algodón, para los tres tratamientos fertilizantes estudiados. En la campaña 2010 el tratamiento de fertilización química es el que mayor rendimiento en biodiesel genera y el tratamiento de fertilización orgánica es el que disminuye con mayor incidencia el rendimiento en la obtención de biodiesel de los aceites de algodón.

4.7. RELACIONES ENTRE VARIABLES

Este apartado tiene como objetivo presentar las relaciones entre los parámetros vegetativos entre sí, los rendimientos en aceite de las semillas, el rendimiento en biodiesel y las concentraciones de ácidos grasos (palmítico, esteárico, oleico y linoleico) de los aceites y que han obtenido mayor grado de correlación, teniendo en cuenta como interfieren algunos parámetros productivos sobre el rendimiento en biodiesel. Para ello se ha planteado el estudio entre pares de parámetros que son independientes entre sí.

En un primer estudio se ha analizado la relación entre la variable común a todos los cultivos, que es el peso de una cantidad fija de semilla, variable a cada especie o cultivo, con los parámetros de los aceites. En un segundo estudio se ha analizado las relaciones entre pares, para cada tipo de cultivo.

4.7.1. Relaciones entre variables en función del tratamiento

En función del tratamiento de fertilización orgánica (AE) se observa que existe una relación estadísticamente significativa entre el peso de la semilla, independientemente del cultivo, y el rendimiento en biodiesel, de manera que a medida que el peso de la semilla es mayor, el rendimiento en biodiesel disminuye. Esta relación es estadísticamente significativa, al 95% de confianza, presenta una correlación débil, ya que el coeficiente es bajo (R²=-0.20971), y el modelo obtenido sólo permite explicar el 4.4% de la variabilidad del contenido en biodiesel (figura 52).

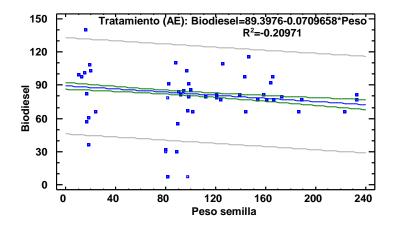


Figura 52. Modelo de regresión lineal ajustado entre el rendimiento en biodiesel y el peso de la semilla, para el tratamiento de fertilización orgánica.

Para el tratamiento de fertilización química (AQ) se obtiene un modelo, estadísticamente significativo al 95% de confianza, en el que existe también una relación negativa entre el peso de la semilla y el rendimiento en la obtención de biodiesel (figura 53). Para el tratamiento de fertilización química, la relación es más fuerte que la obtenida para el caso de la fertilización orgánica, ya que presenta una mayor correlación (R²=-0.42504), y con el modelo obtenido se permite explicar el 18.07% de la variabilidad del contenido en biodiesel. La pendiente del modelo matemático obtenido es más pronunciada, lo que significa que la pérdida en el rendimiento de biodiesel por unidad de peso de semilla es mayor en este tratamiento.

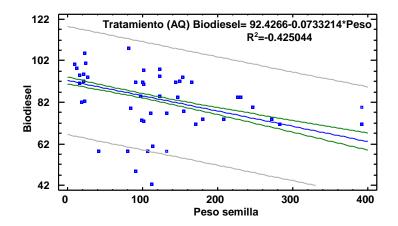


Figura 53. Modelo de regresión lineal ajustado entre el rendimiento en biodiesel y el peso de la semilla, para el tratamiento de fertilización convencional.

Para el tratamiento de sin abonado (SA) se obtiene un modelo de regresión, estadísticamente significativo al 95% de confianza, en el que existe también una relación negativa entre el peso de la semilla y el rendimiento en la obtención de biodiesel (figura 54). Para el tratamiento donde las plantas no se fertilizan, la relación es más fuerte que la obtenida para el caso de la fertilización orgánica, y menor que la obtenida para el caso de la fertilización convencional, ya que presenta una correlación (R²=-0.3638), y con el modelo obtenido se permite explicar el 13.23% de la variabilidad del contenido en biodiesel.

Además de la relación entre el rendimiento de biodiesel, en función del peso de la semilla, el rendimiento de biodiesel evaluado atendiendo al tratamiento fertilizante se ha relacionado estadísticamente, al 95% de confianza, con la fracción del ácido graso oleico y la fracción del ácido graso linoleico (tabla 20).

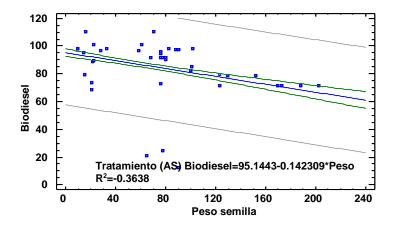


Figura 54. Modelo de regresión lineal ajustado entre el rendimiento en biodiesel y el peso de la semilla, para el tratamiento sin abonado.

Tabla 20. Modelos de regresión lineal significativos con el contenido del rendimiento de biodiesel, coeficientes de regresión y nivel de explicación.

Parámetro 1	Fratamiento	Modelo	Coeficiente de regresión	Nivel de explicación (%)
	ΑE	Biodiesel=93.77-0.313*Oleico	-0.21014	4.42%
Oleico	AQ	Biodiesel=97.4-0.397*Oleico	-0.35521	12.62%
	SA	Biodiesel=94.64-0.245*Oleico	-0.20477	4.19%
	ΑE	Biodiesel=51.78+0.721*Linoleico	0.23307	5.43%
Linoleico	AQ	Biodiesel=41.55+0.977*Linoleico	0.50338	25.34%
	SA	Biodiesel=59.95+0.599*Linoleico	0.24639	6.07%

Se observa que para las relaciones con el ácido oleico y con los tres tratamientos ensayados, existe una relación negativa, de forma que a medida que aumenta la concentración en ácido graso oleico, disminuye la del rendimiento en biodiesel. La mayor relación se obtiene para el tratamiento de fertilización química, donde el modelo puede explicar el 12.62% de la variabilidad del rendimiento en biodiesel.

Las relaciones con el ácido linoleico y con los tres tratamientos ensayados, presentan una relación positiva, de forma que a medida que aumenta la concentración en ácido graso linoleico, aumenta el rendimiento en biodiesel, de forma bilateral y sin tener en cuenta el resto de interacciones con los otros ácidos grasos. La mayor relación se obtiene para el tratamiento de fertilización química, donde el modelo puede explicar el 25.34% de la variabilidad del rendimiento en biodiesel.

4.7.2. Relaciones entre variables para el cultivo de ricino

La tabla 21 muestra las relaciones más importantes encontradas entre los pares de parámetros estudiados en relación con la altura de la planta y el tamaño del racimo, para el cultivo del ricino, que han presentado relaciones estadísticamente significativas al 95% de confianza. Para el caso de los ácidos grasos, se han considerado para el estudio los cuatro mayoritarios, oleico, linoleico, esteárico y palmítico.

Tabla 21. Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de altura de planta y tamaño del racimo en el cultivo de ricino, coeficientes de regresión y nivel de explicación.

Parámetro	Parámetro	Modelo	Coeficiente de regresión	Nivel de explicación (%)
	Inserción del 1 ^{er} racimo	Alt planta=48.21+1.52*Ins.1ºRac	0.62738	39.36%
	Peso de 300 semillas	Alt planta=81.7+0.21*peso semilla	0.44578	19.87%
	Número de racimos	Alt planta=91.89+3.16*Nº racimos	0.43225	18.68%
Altura de la		Alt planta=60.21+1.09*aceite	0.23804	5.67%
planta	Contenido en oleico	Alt planta=232.95-3.66*oleico	-0.17836	3.18%
	Contenido en linoleico	Alt planta=206.8-2.3*linoleico	-0.16284	2.65%
	Contenido en esteárico	Alt planta=190.82-9.132*esteárico	-0.25694	6.6%
	Contenido en palmítico	Alt planta=181.411-7.67*palmítico	-0.21462	4.61%
	Número de racimos	T. racimo=24.32-0.188*Nº racimos	-0.10007	1.01%
	Peso de 300 semillas	T. racimo=24.66-0.011*Peso semilla	-0.08972	0.8%
	Rendimiento en aceite	T. racimo=33.95-0.213*aceite	-0.17756	3.15%
Tamaño del racimo	Rendimiento en biodiesel	T. racimo=12.28+0.135*biodiesel	0.13325	1.77%
	Contenido en oleico	T. racimo=-16,28+1.229*oleico	0.22829	5.21%
	Contenido en linoleico	T. racimo=-8.25+0.79*linoleico	0.21354	4.56%
	Contenido en esteárico	T. racimo=13.41+1.178*estearico	0.12634	1.6%
	Contenido en palmítico	T. racimo=10.14+1.512*palmítico	0.16123	2.6%

La altura de la planta de ricino se encuentra relacionada positivamente con la distancia de inserción del primer racimo, con el peso de las 300 semillas, con el número de racimos y con el rendimiento en aceite obtenido y se relaciona negativamente con el contenido en los cuatro ácidos grasos evaluados. De destacar la alta relación entre la altura de planta y la presencia de la inserción del primer racimo, lo que pone en evidencia la importancia del crecimiento vegetativo para ambos parámetros, y las vinculaciones con el equilibrio en los aportes fertilizantes y agua de riego (De Lima *et al.*, 2014). Por otra parte, se pone de manifiesto que la energía que la planta invierte en el generar biomasa y crecimiento vegetativo, incluye positivamente en el rendimiento en aceite, pero con repercusiones negativas en la formación de ácidos grasos en el aceite, sobre todo importante por la disminución en la síntesis del ácido linoleico.

En relación al tamaño del racimo destacar que cuando éste es mayor, la repercusión es negativa en cuanto al número de racimos que genera la planta, el peso de las semillas y el rendimiento en aceite. Si bien las relaciones son bajas y el nivel de explicación del modelo también, son destacables a tener en cuenta para las cuestiones de rendimiento del cultivo. Por lo que tamaños de racimo más pequeños, pueden ser interesantes en el incremento del rendimiento del aceite. Aunque por otro lado, se observa que el tamaño del racimo influye positivamente en el rendimiento en la obtención del biodiesel y en la síntesis de los ácidos grasos. Por lo que lo más adecuado es encontrar un tamaño equilibrado para optimizar ambas cuestiones.

La tabla 22 muestra las relaciones más importantes encontradas entre los pares de parámetros estudiados en relación a la distancia de inserción del primer racimo y el número de racimos, para el cultivo del ricino, que han presentado relaciones estadísticamente significativas al 95% de confianza. Para el caso de los ácidos grasos, se han considerado para el estudio los cuatro mayoritarios, oleico, linoleico, esteárico y palmítico.

Se observa que todas las relaciones tienen poca fuerza, la única que destaca es la existente entre el número de racimos y el peso de la semilla, de forma que a mayor número de racimos, se produce también un mayor peso de las 300 semillas de ricino.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 22. Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de inserción del primer racimo y número de racimos en el cultivo de ricino, coeficientes de regresión y nivel de explicación.

Parámetro	Parámetro	Modelo	Coeficiente de regresión	Nivel de explicación (%)
Inserción del primer racimo	Peso de 300 semillas	Ins.1ºRac=39.87+0.0289*peso semilla	0.14852	2.21%
	Rendimiento en aceite	Ins.1ºRac=26.66+0.35*aceite	0.18391	3.38%
	Contenido en esteárico	Ins.1ºRac=63.77-2.34*esteárico	-0.15866	2.52%
	Contenido en palmítico	Ins.1ºRac=65.81-2.49*palmítico	-0.16744	2.80%
Número de racimo	Peso de 300 semillas	№ racimos=3.17+0.027*Peso semilla	0.42351	17.94%
	Rendimiento en aceite	Nº racimos=0.54+0.14*aceite	0.21708	4.71%
	Contenido en oleico	№ racimos=27.62-0.62*oleico	-0.21536	4.64%
	Contenido en esteárico	№ racimos=16.204-1.04*estearico	-0.20721	4.29%
	Contenido en palmítico	№ racimos=16.195-0.995*palmítico	-0.19765	3.91%

La tabla 23 muestra las relaciones más importantes encontradas entre el rendimiento en el aceite y la transesterificación y obtención del biodiesel procedente del ricino, con los cuatro ácidos grasos mayoritarios; oleico, linoleico, esteárico y palmítico que han presentado relaciones estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 23. Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de rendimiento en aceite, biodiesel y los ácidos grasos mayoritarios en el cultivo de ricino, coeficientes de regresión y nivel de explicación.

Parámetro Parámetro Mod		Modelo	Coeficiente de regresión e	Nivel de xplicación (%)
	Contenido en oleico	Aceite=106.07-1.722*oleico	-0.38455	14.79%
Rendimiento en aceite	Contenido en linoleico	Aceite=87.373-0.92*linoleico	-0.29881	8.93%
	Contenido en esteárico	Aceite=80.612-3.615*esteárico	-0.46588	21.70%
	Contenido en palmítico	Aceite=83.48-3.81*palmítico	-0.48769	23.78%
Rendimiento	Contenido en oleico	Biodiesel=54.81+0.621*oleico	0.13394	1.79%
en biodiesel	Contenido en linoleico	Biodiesel=51.3+0.593*linoleico	0.18052	3.26%

De los resultados obtenidos se concluye que la mayor concentración en ácidos grasos mayoritarios influye en un menor rendimiento en aceite de ricino. Aunque por otra parte, la mayor fracción de oleico y linoleico repercute en un mayor rendimiento en la obtención de biodiesel, algo que corrobora los resultados obtenidos para el estudio en función de los tratamientos fertilizantes, independientemente del tipo de cultivo.

4.7.3. Relaciones entre variables para el cultivo de girasol

La tabla 24 muestra las relaciones más importantes encontradas entre los pares de parámetros estudiados en relación con la altura de la planta, para el cultivo del girasol, que han presentado relaciones estadísticamente significativas al 95% de confianza. Para el caso de los ácidos grasos, se han considerado para el estudio los cuatro mayoritarios, oleico, linoleico, esteárico y palmítico.

Tabla 24. Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de altura de planta en el cultivo de girasol, coeficientes de regresión y nivel de explicación.

Parámetro	Parámetro	Modelo	Coeficiente de regresión	Nivel de explicación (%)
Altura de la planta	Diámetro de tallo	Alt planta=102.16+19.45*Ø tallo	0.63842	40.76%
	Diámetro de capítulo	Alt planta=85.17+2.95*Ø capítulo	0.54134	29.30%
	Peso de 1000 semillas	Alt planta=131.14+0.11*peso semilla	0.12842	1.65%
	Rendimiento en aceite	Alt planta=123.21+0.535*aceite	0.12254	1.50%
	Rendimiento en biodiesel	Alt planta=151.47-0.113*biodiesel	-0.12009	1.44%
	Contenido en oleico	Alt planta=123.35+0.379*oleico	0.12243	1.50%
	Contenido en esteárico	Alt planta=149.90-1.994*esteárico	-0.16411	2.70%
	Contenido en palmítico	Alt planta=162.287-3.524*palmítico	-0.19068	3.64%

Se observa que la altura de la planta de girasol se relaciona positivamente con el diámetro del tallo, el diámetro del capítulo, el peso de las 1000 semillas, el rendimiento del aceite y el contenido en ácido graso oleico en el aceite. Estos resultados se contradicen con los obtenidos por Sanchez Rodríguez et al. (2013) y coinciden con los de Poverene et al. (2006), incidiendo que la altura de planta se relacionan positivamente con el tamaño del capítulo sobre todo en cultivos

de girasol con aportes nitrogenados muy altos. Y la altura de la planta se relaciona también con el resto de parámetros vegetativos, en la obtención de aceite. Aunque por otro lado repercuta negativamente en el rendimiento en la síntesis de biodiesel del aceite de girasol.

La tabla 25 muestra las relaciones más importantes encontradas entre los pares de parámetros estudiados en relación con el diámetro del tallo, el diámetro del capítulo y el peso de las 1000 semillas, para el cultivo del girasol, que han presentado relaciones estadísticamente significativas al 95% de confianza. Para el caso de los ácidos grasos, se han considerado para el estudio los cuatro mayoritarios, oleico, linoleico, esteárico y palmítico.

Tabla 25. Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros del diámetro del tallo, diámetro de capítulo y el peso de las semillas en el cultivo de girasol, coeficientes de regresión y nivel de explicación.

Parámetro	Parámetro	Modelo	Coeficiente de regresión	Nivel de explicación (%)
	Diámetro capítulo	Ø Tallo=0.042+0.104*Ø capítulo	0.58353	34.05%
	Rendimiento en aceite	Ø Tallo=1.463+0.0168*aceite	0.1172	1.37%
	Rendimiento en biodiesel	Ø Tallo=2.305-0.00299*biodiesel	-0.09663	0.93%
tallo	Contenido en oleico	Ø Tallo=0.434+0.03244*oleico	0.32119	10.34%
	Contenido en linoleico	Ø Tallo=3.47-0.037*linoleico	-0.16557	2.74%
	Contenido en esteárico	Ø Tallo=63.77-2.34*esteárico	-0.32983	10.88%
	Contenido en palmítico	Ø Tallo=3.31-0.22*palmítico	-0.36479	13.31%
Diámetro de	Peso de 1000 semillas	Ø Capítulo=17.322+0.02*Peso semilla	0.12760	1.63%
capítulo	Rendimiento en aceite	Ø Capítulo=16.44+0.082*aceite	0.10203	1.04%
Peso de 1000 semillas	Rendimiento en biodiesel	Peso semillas=82.28+0.233*biodiesel	0.21179	4.48%

Se observa la relación más fuerte se establece entre el diámetro del tallo y el del capítulo, existiendo una relación positiva entre ambos parámetros. También se observa que el tallo influye positivamente en el rendimiento en aceite y el contenido

en ácido graso oleico del aceite de girasol. Destacar también que el diámetro tiene una influencia negativa en la síntesis de ácidos grasos saturados, palmítico y esteárico, y del ácido graso linoleico, del aceite de girasol.

La tabla 26 muestra las relaciones más importantes encontradas entre el rendimiento en el aceite y la transesterificación y obtención del biodiesel procedente del girasol, con los cuatro ácidos grasos mayoritarios; oleico, linoleico, esteárico y palmítico que han presentado relaciones estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Tabla 26. Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de rendimiento en aceite, biodiesel y los ácidos grasos mayoritarios en el cultivo de girasol, coeficientes de regresión y nivel de explicación.

	<u> </u>	<u> </u>	•	
Parámetro	Parámetro	Modelo	Coeficiente de regresión e	Nivel de xplicación (%)
	Contenido en oleico	Aceite=43.556-0.154*oleico	-0.22905	5.25%
Rendimiento	Contenido en linoleico	Aceite=27.72+0.215*linoleico	0.14334	2.05%
en aceite	Contenido en esteárico	Aceite=33.605+0.5775*esteárico	0.21876	4.78%
	Contenido en palmítico	Aceite=30.45+0.943*palmítico	0.23493	5.52%
Rendimiento en biodiesel	Contenido en linoleico	Biodiesel=143.99-1.69*linoleico	-0.22844	5.22%

De los resultados obtenidos se concluye que las relaciones existentes entre los diferentes ácidos grasos mayoritarios son muy débiles. Y para la mayor obtención en aceite influyen positivamente los niveles de linoleico, esteárico y palmítico. Mientras que para el rendimiento en la obtención en biodiesel influye negativamente el contenido en ácido graso linoleico del aceite de girasol, aspecto que difiere del resto de resultados obtenidos, para el caso del global de los tratamientos y para el aceite de ricino.

4.7.4. Relaciones entre variables para el cultivo de algodón

La tabla 27 muestra las relaciones más importantes encontradas entre el peso de las 100 semillas y el rendimiento en el aceite procedente del algodón, con los cuatro ácidos grasos mayoritarios; oleico, linoleico, esteárico y palmítico que han presentado relaciones estadísticamente significativas al 95% de confianza. No se han encontrado

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ninguna relación estadísticamente significativa entre el rendimiento en biodiesel y el contenido en los diferentes ácidos grasos mayoritarios, para el aceite de algodón.

Tabla 27. Modelos de regresión lineal significativos con los parámetros de peso de 100 semillas, rendimiento en aceite y los ácidos grasos mayoritarios en el cultivo de algodón, coeficientes de regresión y nivel de explicación.

Parámetro	Parámetro	Modelo	Coeficiente de regresión	Nivel de explicación (%)
	Rendimiento en aceite	Peso semillas=21.15-0.229*aceite	-0.14884	2.22%
	Rendimiento en biodiesel	Peso semillas=25.15-0.106*biodiesel	-0.26175	6.85%
Peso de 100	Contenido en oleico	Peso semillas=36.61-1.2193*oleico	-0.10358	1.07%
semillas	Contenido en linoleico	Peso semillas=-103.26+2.23*linoleico	0.37371	13.97%
	Contenido en esteárico	Peso semillas=72.2-23.468*esteárico	-0.24715	6.11%
	Contenido en palmítico	Peso semillas=69.08-2.23*palmítico	-0.30189	9.11%
	Rendimiento en oleico	Aceite=19.25-0.063*oleico	-0.2314	5.35%
Rendimiento en aceite	Contenido en linoleico	Aceite=49.865+0.122*linoleico	0.2233	4.99%
	Contenido en esteárico	Aceite=2.27+0.006*esteárico	0.1468	2.15%
	Contenido en palmítico	Aceite=25.972-0.068*palmítico	0.1063	1.13%

De los resultados obtenidos se concluye que sólo existe una relación positiva, entre el peso de las 100 semillas y el rendimiento en ácido graso linoleico. El resto de las relaciones para el peso de las semillas de algodón se relacionan negativamente es decir que a medida que aumenta el peso de las semillas, disminuye el rendimiento en aceite y el rendimiento en biodiesel, así como la fracción de los ácidos grasos, oleico, esteárico y palmítico.

Por otra parte el rendimiento en aceite de algodón se ve ligeramente incrementado con la fracción en ácido graso linoleico, esteárico y palmítico.

4.8. OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO EN BIODIESEL

Existen pocos estudios sobre la influencia de la composición en triglicéridos y la calidad del biodiesel (Ramos *et al.*, 2009), pero es conocido que la composición y el contenido de ésteres de ácidos grasos influyen directamente en las propiedades del biodiesel, y en consecuencia la calidad y su eficiencia como combustible (Knothe, 2005). Los ésteres formados durante la reacción de transesterificación con el alcohol, tienen el mismo perfil de ácidos grasos de aceite vegetal de origen (Knothe, 2007; Sharma *et al.*, 2008), ya que el proceso de transesterificación no afecta a la composición de ácidos grasos.

Teniendo en cuenta que el rendimiento en la obtención de biodiesel a partir de los diferentes aceites no ha mostrado diferencias estadísticamente significativas, la gran dificultad en localizar y optimizar una materia prima adecuada para la producción de biodiesel se encuentra por un lado, en la respuesta productiva del cultivo que genera la materia prima, así como en el conocimiento de las necesidades y recursos necesarios, para que el cultivo genere producciones adecuadas de semillas. Y por otro lado, conocer el perfil lipídico del aceite, ya que la composición en ácidos grasos influye en dos propiedades importantes de la calidad del biodiesel, como son la estabilidad oxidativa, que para el caso del biodiesel depende de la fracción en ácidos grasos insaturados y las propiedades de los aceites a las temperaturas, donde influye negativamente la composición en ácidos grasos saturados, por su influencia en el aumento de los puntos de obstrucción, la fluidez del biodiesel, etc. (Moreira Santos, 2012). Por todo ello, en este apartado se va a realizar un estudio de componentes principales, en función del perfil lipídico de los aceites, que permita encontrar un óptimo en la producción de biodiesel, optimizando la proporción y concentración ideal de ácidos grasos, para lo cual en primer lugar se clasificarán los aceites obtenidos en cada caso.

4.8.1. Tipificación de los aceites en función de la fracción de biodiesel

La composición de los ácidos grasos presentes en los aceites de ricino, girasol y algodón es una propiedad intrínseca a cada especie. Debido a la influencia que pueden tener en la capacidad para la esterificación, es primordial establecer una

caracterización de los aceites obtenidos en este trabajo en función de su composición en ácidos grasos, así como el contenido en aceite obtenido. Para llevar a cabo este estudio se realizará un análisis discriminante, este análisis permite clasificar o tipificar a distintas observaciones en grupos alternativos. Esta clasificación se efectúa a partir de los valores de un conjunto de variables medidas sobre los individuos a los que se pretende clasificar. Cada individuo puede pertenecer a un solo grupo.

Las variables que se utilizan para realizar la clasificación de los individuos, se llaman variables clasificadoras (también variables predictoras, criterio o explicativas). La variable que contiene el grupo en el que se ha clasificado cada individuo se llama variable dependiente.

El objetivo principal del análisis discriminante es calcular las combinaciones lineales de las variables clasificadoras que maximicen la diferencia entre grupos. Las funciones obtenidas mediante estas combinaciones lineales son las funciones discriminantes (también llamados factores o ejes).

El análisis discriminante se aplica con fines explicativos y predictivos. En su uso explicativo se intenta determinar la contribución de cada variable clasificadora en la clasificación correcta de cada individuo. En una aplicación predictiva, se trata de determinar el grupo al que pertenece un individuo para el que se conocen los valores que toman las variables clasificadoras. De los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes se deduce cuales han sido las variables que con más peso han contribuido a la separación entre grupos.

En el presente trabajo se han estudiado como variables clasificadoras, la cantidad de aceite extraído de cada semilla, los contenidos en ácido oleico, palmítico, linoleico, linolénico. Se han realizado dos análisis discriminantes, en el primero se pretende clasificar los aceites obtenidos en función de cada cultivo ensayado. El segundo tiene como objetivo el poder clasificar los aceites atendiendo a la cantidad de biodiesel obtenido.

En la clasificación de los aceites por el tipo de cultivo, se obtienen una serie de funciones discriminantes que pueden ayudar a predecir el tipo de aceite en función del cultivo o especie (girasol, ricino y algodón) basado en los valores de otras variables

cuantitativas. Se han utilizado 91 casos para desarrollar un modelo que permita diferenciar entre los tres niveles de cultivo. Se introdujeron nueve variables pronosticadas (el contenido en aceite extraído, el contenido en biodiesel sintetizado, el contenido en ácidos grasos, eicosanoico, esteárico, linoleico, linolénico, oleico, palmítico y palmitoleico. Se han obtenido dos funciones discriminantes, estadísticamente significativas al 95% de nivel de confianza, a partir de las dos funciones canónicas discriminantes (tabla 28), ambas con un alto nivel de correlación, con la primera función se explica el 99.26% de la variabilidad.

Tabla 28. Autovalores de las funciones discriminantes en la clasificación de los aceites en función de la especie.

	Autovalor	% de	Correlación	Lambda	Chi-	Grados	Nivel de
		varianza	canónica	de wilks	cuadrado	Libertad	significación
Función 1	328.28	99.26	0.9985	8.8·10-4	590.79	18	0.000
Función 2	2.443	0.74	0.8423	0.2904	103.85	8	0.000

En la tabla 29 se muestran los coeficientes estandarizados de las dos funciones discriminantes canónicas. Se observa que el parámetro que más influye en la clasificación es el contenido en ácido esteárico y palmítico.

Tabla 29. Coeficientes estandarizados en la clasificación de los aceites en función de la especie.

Variable explicativa	Función 1	Función 2
Aceite	-0.027140	-0.478774
Biodiesel	0.169812	0.149899
Eicosanoico	-0.27979	-0.057997
Esteárico	-2.29629	0.118459
Linoleico	0.26158	0.663893
Linolénico	0.206616	0.261469
Oleico	-0.267651	1.53439
Palmítico	2.16394	0.159368
Palmitoleico	0.0161765	-0.0102446

La tabla 30 muestra los resultados de la clasificación de los aceites en función de la especie o tipo de cultivo. Se observa que de los aceites de ricino, se han clasificado correctamente todos menos uno que se ha confundido con aceites de girasol, lo que indica que el estudio puede clasificar correctamente un 94.12% de los aceites de ricino. De los aceites de girasol, cinco se confunden como aceite de ricino, en total se clasifican bien un 90% de los aceites de girasol. De los aceites de algodón, el 100% los clasifica correctamente (figura 55).

Cultivo		Grupo de pertenencia pronosticada			
		Ricino	Girasol	Algodón	
	Ricino	16/17	1/17	0	
Recuento	Girasol	5/50	45/50	0	
	Algodón	0	0	24/24	
	Ricino	94.12	5.88	0	
%	Girasol	10	90	0	
	Algodón	0	0	100	
[×		× .	Cultivo Ricino Girasol Algodón	

Tabla 30. Resultados de la clasificación de los aceites en función de la especie

Figura 55. Gráfica de funciones discriminantes para la clasificación de aceites en función del tipo de cultivo.

26

36

16

Función 1

-14

De manera que atendiendo a los niveles de biodiesel sintetizados y los valores de aceite extraídos de las correspondientes semillas, los aceites de ricino se caracterizan por generar entre un 60% y un 80% de biodiesel, cuando los niveles de grasa oscilan entre el 40 y el 65%. Los aceites de girasol varían entre el 10 y el 90% de síntesis de biodiesel, aunque la fracción más alta de aceites se sitúa en niveles del 80 al 90%, mientras que la cantidad de aceite extraído de las semillas de girasol está entre el 25 y el 45%. Por último, los aceites de algodón son también variables en cuanto a la síntesis de biodiesel, oscilando entre valores del 40 al 90%, con extracciones de grasa que oscilan entre el 20 y 30%, aproximadamente (figura 56).

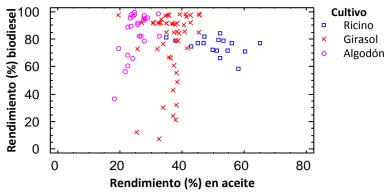


Figura 56. Clasificación de las muestras de aceites en función del tipo de cultivo, atendiendo a los niveles de biodiesel sintetizado y aceite extraído.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la clasificación de los aceites por el rendimiento de biodiesel obtenido se obtienen una serie de funciones discriminantes (tabla 31) que pueden ayudar a predecir la cantidad de biodiesel que se pueda sintetizar basado en los valores de las variables cuantitativas. Se utilizaron 93 casos para desarrollar el modelo. Se han obtenido 5 funciones discriminantes, estadísticamente significativas al 95% de nivel de confianza.

Tabla 31. Autovalores de las funciones discriminantes en la clasificación de los aceites en función de la cantidad de biodiesel.

	Autovalor	% de	Correlación	Lambda de	Chi-	Grados	Nivel de
		varianza	canónica	wilks	cuadrado	Libertad	significación
Función 1	$2.687 \cdot 10^{20}$	100	1.00	7.28·10 ⁻²⁹	2850.73	450	0.000
Función 2	921.52	0.00	0.99946	1.96·10 ⁻⁸	780.96	356	0.000
Función 3	64.576	0.00	0.99235	1.80·10 ⁻⁵	480.57	264	0.000
Función 4	30.825	0.00	0.98416	0.00118	296.51	174	0.000
Función 5	25.54	0.00	0.98098	0.03768	144.26	86	0.000

4.23·10⁷*cantidad primera función discriminante sería: de La aceite+ $6.28 \cdot 10^{7*}$ oleico+ $6.696 \cdot 10^{6*}$ palmítico+ $2.8906 \cdot 10^{7*}$ linolénico+ $5.61 \cdot 10^{7*}$ linoleico. De manera que se puede clasificar los niveles de biodiesel obtenidos, en tres grupos (figura 57), los que presentan una síntesis del 10 al 20% de biodiesel, que se caracterizan por niveles medios (20-40%) de aceite extraído y altos valores de ácido graso oleico (del 50 al 56%), otro grupo de aceites que son capaces de obtener valores medios de biodiesel (del 20 al 40%), que se caracterizan por niveles medios (20-40%) de aceite extraído y bajos valores de ácido graso oleico (del 16 al 18%) y un tercer grupo de aceites que se caracteriza por sintetizar valores altos de biodiesel (superiores al 40%), que se caracterizan por niveles altos (30-65%) de aceite extraído y valores medios de ácido graso oleico (del 32 al 34%).

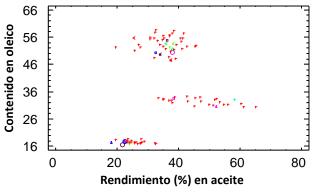


Figura 57. Diagrama de dispersión en la clasificación de biodiesel en función del contenido en ácido oleico (%) y el contenido en aceite extraído (%).

4.8.2. Análisis de componentes principales

Para complementar el estudio de la clasificación de los aceites, habrá que tener en cuenta otros parámetros que influyen sobre la rentabilidad en la obtención de biodiesel, para ello se efectúa un análisis factorial. El análisis factorial es una técnica multivariante que utiliza un procedimiento que permite descomponer una matriz de correlaciones en unos pocos factores que son combinación lineal de los parámetros analizados en los diferentes aceites y que explican las correlaciones entre dichos parámetros. Es decir, el análisis factorial se utiliza para el examen y la interpretación de las correlaciones halladas entre un grupo de parámetros con el objetivo de descubrir los posibles factores comunes a todos ellos. Los parámetros que tienen la máxima correlación entre sí y que son además suficientemente independientes de otros, se agrupan en factores. Cada factor está constituido por una combinación lineal de un subconjunto de los parámetros originales y es independiente de los otros factores.

Para la búsqueda de esta distribución se estudian las posibles correlaciones entre el contenido en biodiesel sintetizado (%), la fracción de aceite extraído (%), y las fracciones (%) de los ácidos grasos, esteárico, linoleico, linolénico, oleico, palmítico y palmitoleico.

Los resultados indican que se han obtenido dos factores principales, con los cuales se consigue explicar el 81.83% de la variabilidad de los resultados originales. Se concluye que en las condiciones del trabajo, se identifican tres grupos de aceites, un grupo con altos valores de la componente 2 y bajos de la componente 1, los parámetros que más influyen son el contenido en el aceite extraído y los niveles en ácidos grasos esteárico y linolénico, un segundo grupo caracterizado por los pesos en ácidos grasos linoleico, palmítico y palmitoleico y por último un tercer grupo donde tiene gran influencia el contenido en ácido oleico (figura 58).

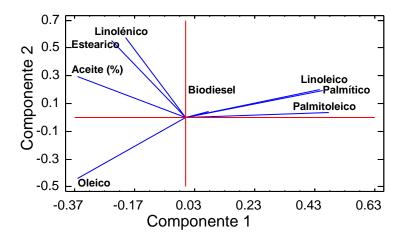


Figura 58. Gráfico de dispersión de los pesos de los componentes principales.

4.8.3. Regresión múltiple de parámetros

Por último se pretende estudiar a través de un estudio de regresión múltiple, los parámetros relacionados con la composición del aceite, que más influyen en la obtención de altos contenidos en biodiesel.

No ha sido posible encontrar una única ecuación para el conjunto de los tres tipos de aceites en función de la especie, por lo que se ha optado por un análisis individual para cada cultivo.

Los resultados para el caso del ricino, se ajustan a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre el contenido en biodiesel sintetizado y siete variables. La ecuación del modelo ajustado es:

Rendimiento en la obtención de biodiesel del aceite de ricino=9.79091 +

3.02744*oleico+1.04842*linolénico-0.898231*linoleico-0.546795*esteárico

+1.00136*eicosanoico-27.8353*behénico+0.109816*aceite.

Existe una relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 74.05% de la variabilidad de la cantidad de biodiesel sintetizado.

Los resultados para el caso del girasol, se ajustan a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre el contenido en biodiesel sintetizado y cinco variables. La ecuación del modelo ajustado es:

Rendimiento en la obtención de biodiesel del aceite de girasol=94.2492-5.77*esteárico-0.95*linoleico-32.81*behénico+189.58*aráquico+372.99*mirístico.

Existe una relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 90%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 20.26% de la variabilidad de la cantidad de biodiesel sintetizado en los aceites de girasol.

Los resultados para el caso del algodón, se ajustan a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre el contenido en biodiesel sintetizado y ocho variables. La ecuación del modelo ajustado es:

Rendimiento en la obtención de biodiesel del aceite de algodón =

792.109-10.81*linoleico-563.37*eicosanoico-212.469*behénico-45.85*esteárico +527.197*linolénico-1.13*oleico+3.04*aceite-107.89*mirístico.

Existe una relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 58.61% de la variabilidad de la cantidad de biodiesel sintetizado en los aceites de algodón.

Atendiendo a los resultados, los mejores rendimientos en biodiesel y por tanto las mejores propiedades de los mismos, se alcanzan con aceites que presenten mezclas de diferentes perfiles de ácidos grasos. Incluso Moreira Santos (2012) recomienda la mezcla de aceites para la mejor transformación de transesterificación y por tanto del rendimiento de biodiesel.

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas del presente trabajo son:

- 1. El biodiesel se obtiene principalmente de materias primas procedentes de semillas de alto contenido graso. La producción de estas materias primas, de origen vegetal, a gran escala compite con el uso de los suelos para la producción de alimentos y es por ello que los cultivos de ricino, girasol y algodón, bajo técnicas fertilizantes de bajo impacto (ecológicos o sin fertilizar), producidas en la zona del nordeste de Brasil, pueden ser empleados para la producción de biocombustibles que satisfagan las demandas energéticas, dando uso óptimo al uso del suelo, intentando a la vez reducir el impacto que pueda tener la producción sobre el medioambiente, la biodiversidad y biomasa de las tierras de cultivo.
- 2. El cultivo de ricino muestra una gran rusticidad, siendo resistente a las condiciones de déficit hídrico. Aún en las condiciones más extremas, esta planta debería ser fertilizada, preferentemente con abonos orgánicos, para alcanzar adecuados parámetros vegetativos, como altura de la planta, y tamaño y número de racimos florales, que influyen en el rendimiento de aceite y e la síntesis de biodiesel.
- 3. Las plantas de girasol han obtenido adecuados parámetros vegetativos, incluso en las condiciones de no aplicar fertilizantes. Por tanto, la aplicación de los fertilizantes orgánicos podría reemplazar los fertilizantes químicos para es e cul ivo, en la producción de aceite para la producción de biodiesel. Los mayores tamaños en el diámetro del tallo en la planta de girasol, proporciona mayor robustez a la planta y se ha relacionado positivamente con el diámetro del capítulo y el número de semillas del capítulo.
- 4. En el cultivo de algodón, para la obtención de semilla, es una buena alternativa productiva la aplicación de fertilizante orgánico, por tener buena respuesta frente a las dosis conservadoras de fertilización.

- 5. La campaña de cultivo ha sido significativa en la mayoría de los parámetros vegetativos para los cultivos de ricino, girasol y algodón, siendo la menos productiva, la segunda campaña. Los detrimentos en los parámetros vegetativos, en la segunda campaña, es más pronunciada para el tratamiento sin fertilización, mientras que el tratamiento de fertilización orgánica amortigua la disminución, en los contenidos de la segunda campaña.
- 6. Las semillas de ricino son las que presentan el mayor rendimiento en aceite, incluso bajo las condiciones más rigurosas, ya que se alcanzan porcentajes en aceite adecuados cuando las plantas no se fertilizan y cuando se fertilizan de forma orgánica, lo que demuestra la gran rusticidad de esta es ecie.
- 7. El menor rendimiento en aceite se presenta para el cultivo de algodón. La fertilización orgánica es efectiva en la obtención de aceite en los casos del cultivo de algodón y girasol, proporcionando sus semillas niveles de aceites elevados.
- 8. La búsqueda de energías renovables que disminuya la dependencia del petróleo en el momento actual y para el futuro es un objetivo estratégico. La transesterificación de los aceites de ricino, girasol y algodón se ha optimizado en cada caso, para obtener los correspondientes ésteres metílicos, generando el biodiesel o biocombustible, menos contaminante, tanto en su proceso como en su uso. Las semillas procedentes del cultivo ecológico, generan aceites que favorecen la transesterificación a biodiesel, algo más manifiesto en el caso de los aceites de algodón, con un 94.33% de aceite transesterificado.
- 9. El ricino, incluso obteniendo un alto rendimiento en aceite de sus semillas, presenta algunas desventajas en la transesterificación, posiblemente debido a la mayor viscosidad del aceite.
- 10. El aceite de algodón, independientemente de la procedencia en cuanto al tratamiento fertilizante, es el más adecuado para la obtención de los ésteres metílicos, convirtiéndose en el aceite más apropiado para la síntesis de biodiesel.

- 11. De los ácidos grasos encontrados en los aceites de ricino, girasol y algodón, el linoleico, oleico, palmítico y esteárico, en conjunto, representan más del 90% del total. Destacando el linolénico entre los ácidos grasos secundarios, con algo de significación para el cultivo del ricino, independientemente del sistema de fertilización y para el girasol, únicamente cuando se fertiliza en condiciones de agricultura ecológica.
- 12. La comprensión de cómo los ácidos grasos y los componentes menores afectan las propiedades de biodiesel constituyen un potencial para la generación de biocombustibles de alta calidad. Se pueden obtener altos contenidos de biodiesel procedente de las semillas de ricino cuando los contenidos en aceites sean elevados, pero también los aceites dispongan una fracción de alto contenido en oleico, linolénico y eicosanoico, y bajos niveles de linoleico, esteárico y behénico.
- 13. Se pueden obtener altos contenidos de biodiesel procedente de las semillas de girasol cuando los aceites dispongan una fracción de alto contenido en mirístico y aráquico, y bajos niveles de linoleico, esteárico y behénico, no siendo significativo la cantidad de aceite obtenida de la semilla.
- 14. Se pueden obtener altos contenidos de biodiesel procedente de las semillas de algodón cuando los contenidos en aceites sean elevados y dispongan altos niveles de linolénico y bajos en oleico, linoleico, eicosanoico, esteárico, mirístico y behénico.
- 15. Para los tres tratamientos fertilizantes ensayados, a medida que aumenta la concentración en ácido graso oleico, disminuye la del rendimiento en biodiesel. Los mejores rendimientos en biodiesel y por tanto las mejores propiedades de los mismos, se alcanzan con aceites que presenten mezclas de diferentes perfiles de ácidos grasos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aca-Aca, M.G.; Campos González, E.; Sánchez Daza, O. 2009. Estimación de propiedades termodinámicas de los compuestos involucrados en la producción de biodiesel. Superficies y vacío, 22(3): 15-19.

Agarwal, D.; Agarwal, A.K. 2007. *Performance and emissions characteristics of Jatropha oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine.*Applied Thermal Engineering, 27: 2314-2323.

Agarwal, A.K.; Das, L.M. 2001. *Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines.* Journal of engineering for gas turbines and power, 123(2): 440-447.

Aguirrezábal, L.A.N.; Orioli, G.A.; Hernández, L.F.; Pereyra, V.R.; Mirave, J.P. 2001. *Girasol. Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento*. Balcarce (AR). ISBN: 950-9853 71-2. 111 pp.

Ahmad, R.; Jabeen, N. 2009. Demonstration of growth improvement in sunflower (Helianthus annuus L.) by the use of organic fertilizers under saline conditions. Pak. J. Bot, 41(3): 1373-1384.

Ajanovic, A. 2011. Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices?. Energy, 36(4): 2070-2076.

Al-Zuhair, S.; Ling, F.W.; Jun, L.S. 2007. *Proposed kinetic mechanism of the production of biodiesel from palm oil using lipase*. Process Biochemistry, 42(6): 951-960.

Álvarez Suárez, M.E.; Granado Mongil, D. 2007. *Cultivos energéticos: biodiésel*. Ambiociencias–Revista de divulgación científica, 0: 15-25.

Andrade, F.H.; Sadras, V.O.; Vega, C.R.C.; Echarte, L. 2005. Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean: their application to crop management, modeling and breeding. Journal of Crop Improvement, 14(1-2): 51-101.

Anjani, K.; Vardhana-Reddy P.A.; Manikyam, S. 2002. *Collecting castor (Ricinus communis L.) landraces from Tamil Nadu, India*. Plant Genetic Resources Newsletter 132: 60-62.

ANP. Agencia Nacional del Petróleo Gás Natural y Biocombustibles. 2010. *Petróleo: preço médio no mercado spot, 2000-2009*. Brasília. Consulta 2010. Disponible en: http://www.anp.gov.br.

Azam, M.M.; Waris, A.; Nahar, N.M. 2005. *Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India*. Biomass and Bioenergy, 29: 293-302.

Azevedo, D.D.; Lima, E.; Batista, F.A.S.; Lima, E. 1997. *Recomendações técnicas para o cultivo da mamona (Ricinus communis L.) no Brasil*. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA.

Azevedo, D.M.P.; Lima, E.F. 2001. *O agronegócio da mamona no Brasil*. EMBRAPA. Informação Tecnologia: Brasília-DF. Brasília. 350 pp.

Azevedo, D.M.P. de; Beltrão, N.E. de M. 2007. *O agronegócio da mamona no Brasil*. EMBRAPA Informação Tecnológica. 2. ed. EMBRAPA Algodão, Campina Grande, PB (Brazil). 506 pp.

Baez, M.I.; Ludueña, P.; Sanguinetii, A. 1988. Correlaciones fenotípicas, genotípicas y ambientales entre caracteres de girasol y podredumbre del tallo (Macrophomina phaseoli (Maub.) Ashby). 12th Int. Sunflower Conf. Novi Sad, Yugoslavia, 11: 519-524.

Bajpai, D.; Tyagi, V.K. 2006. *Biodiesel: source, production, composition, properties and its benefits*. Journal of Oleo Science, 55(10): 487-502.

Bala, B.K. 2005. *Studies on biodiesels from transformation of vegetable oils for diesel engines*. Energy Edu. Sci. Technol., 15: 1-43.

Balat, M. 2011. *Potential alternatives to edible oils for biodiesel production—A review of current work*. Energy Conversion and Management, 52(2): 1479-1492.

Beltrão, N.E.de M.; Silva, L.C.; Vasconcelos, O.L.; Azevedo, D.M.P. de; Vieira, D.J. 2001. *Fitologia*. In: Azevedo, D.M.P.de; Lima, E.F.(Ed). *O agronegócio da mamona no Brasil*. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica: 37-61.

Beltrão, N.E.de M; Vale, L.S. 2007. *Planta oleaginosas e suas características*. Revista Biodiesel, Nov: 34-35.

Beltrão, N.E. de M.; Azevedo, D.M.P. de. 2008. *O agronegócio do algodão no Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 1309 pp.

Beurskens, L.; Hekkenberg, M. 2010. Renewable Energy Projections as Published in the National Renewable Energy Action Plans of the European Member States. ECN, Petten, The Netherlands.

Boocock, D.G.B.; Konar, S.K.; Mao, V.; Sidi, H. 1996. Fast one-phase oil-rich processes for the preparation of vegetable oil methyl esters. Biomass Bioenergy, 11: 43-50.

Braun, J. von; Pachauri, R.K. 2006. *The Promises and Challenges of Biofuels for the Poor in Developing Countries*. International Food Policy Research Institute. Uday Mohan (Editor). Washington. USA, 16 pp.

Bindraban, P.S.; Bulte, E.H.; Conijn, S.G. 2009. *Can large-scale biofuels production be sustainable by 2020?*. Agricultural Systems, 101(3): 197-199.

Callejas, E.S.; Quezada, V.G. 2009. Los biocombustibles. El Cotidiano, 157: 75-82.

Carraretto, C.; Macor, A.; Mirandola, A.; Stoppato, A.; Tonon, S. 2004. *Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations*. Energy, 29(12): 2195-2211.

Carrere, R. 2006. *Los Biocombustibles*. Boletín N°. 112. Movimiento Mundial por los bosques Tropicales WRM. Uruguay. Disponible en: http://www.wrm.org.uy/boletin/112/boletin112.pdf.

Castiglioni, V.B.R.; Balla, A.; de Castro, C.; Silveira, J.M. 1997. Fases de Desenvolvimento da Planta de Girassol. Londrina, Brazil: EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 58 pp.

Colby, J.L.; Dauenhauer, P.J., Schmidt, L.D. 2008. *Millisecond autothermal steam reforming of cellulose for synthetic biofuels by reactive flash volatilization*. Green Chemistry, 10(7): 773-783.

Conceição, M.M.; Candeia, R.A.; Silva, F.C.; Bezerra, A.F.; Fernandes, V.J.; Souza, A.G. 2007. *Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(5): 964-975.

Costa, B.J.; Oliveira, S.M.M. 2006. *Dossiê Técnico: Produção de Biodiesel.* Processo Produtivo do Biodiesel. Paraná–PR, 1: 5-7.

Coteron, A.; Vicente, G.; Martinez, M.; Aracil, J. 1997. *Biodiesel production from vegetable oils. Influence of catalyst and operating conditions.* Recent Res. Devel. In oil chemicals, 1: 109-140.

Crestana, S. 2005. *Matérias-primas para produção do biodiesel: priorizando alternativas*. Palestra Embrapa, São Paulo.

Cherubini, F.; Jungmeier, G.; Wellisch, M.; Willke, T.; Skiadas, I.; Van Ree, R.; de Jong, E. 2009. *Toward a common classification approach for biorefinery systems*. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 3(5): 534-546.

Cho, H.J.; Kim, J.K.; Ahmed, F.; Yeo, Y.K. 2013. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of a biodiesel production from palm fatty acid distillate (PFAD). Applied Energy, 111: 479-488.

De Juana, J.; De Francisco, A.; Santos, F.; Herrero, M.; Crespo, A. 2003. *Energías Renovables para el desarrollo*. Thomson Editores. Paraninfo S.A. España. 311 pp.

De Lima, G.S.; Nobre, R.G.; Gheyi, H.R.; dos Anjos Soares, L.A.; da Silva, A.O. 2014. *Physiology, growth and yield of castor bean under salt stress and nitrogen doses in phenophases*. IDESIA, 32(3): 91-99.

Demirbas, A. 2002. *Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol.* Energy Convers Manage, 43: 2349-2356.

Demirbas, A. 2003. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey. Energy Convers Manage, 44: 2093–109.

Demirbas, A. 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. Progress in energy and combustion science, 31: 466-487.

Demirbas, A. 2007a. *Progress and recent trends in biofuels*. Progress in energy and combustion science, 33(1): 1-18.

Demirbas, A. 2007b. *Importance of biodiesel as transportation fuel.* Energy Policy, 35(9): 4661-4670.

Demirbas, A. 2008a. *Biomethanol production from organic waste materials*. Energy Sources, Part A, 30(6): 565-572.

Demirbas, A. 2008b. Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. Fuel, 87(8): 1743-1748.

Demirbas, A. 2008c. Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines, 1 ed. London. Springer. ISBN-13: 9781846289941. 208 pp.

Demirbas, A. 2009. *Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification*. Energy Conversion and Management, 50(4): 923-927.

Demirbas, A. 2011. *Competitive liquid biofuels from biomass.* Applied Energy, 88(1): 17-28.

Díaz Gómez, M.F.; Ledea Lozano, O.E.; Gómez Regüeiferio, M.; Garcés Mancheño, R.; Alaiz Barragán, M.S.; Martínez Force, E. 2009. Estudio comparativo de la ozonización de aceites de girasol modificados genéticamente y sin modificar. Quím. Nova, 32 (9): 2467-2472.

Dinis, T.M.; Távora,B.L.; Neto, F.J.A. 2009. *Manipulação do crescimento da Mamoneira através da poda em diferentes densidades populacionais*. Rev. Ciênc. Agron., 40 (4): 570-577.

Dorado, M.P.; Ballesteros, E.; Arnal, J.M.; Gomez, J.; Lopez, F.J. 2003. *Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil.* Fuel, 82(11): 1311-1315.

Dornburg, V.; Van Vuuren, D.; Van De Ven, G.; Langeveld, H.; Meeusen, M.; Banse, M.; Van Oorschot, M.; Ros, J.; Jan Van Den Born, G.; Aiking, H.; Londo, M.; Mozaffarian, H.; Verweij, P.; Lysen, E.; Faaij, A. 2010. *Bioenergy revisited: Key factors in global potentials of bioenergy*. Energy and Environmental Science, 3 (3): 258-267.

Dusanic, N.; Miklic, V.; Joksimovic, J.; Atlagic, J.; Crnobarac, J. 2004. *Path coefficient analysis of some yield components of sunflower*. In: Proc. of 16th International Sunflower Conf. (Ed: G.J. Seiler). Fargo, ND, US., 531-537.

Dos Santos Souza, A.; Fernandes Távora, FJ.A.; Pitombeira, J.B.; Lima Bezerra, F.M. 2007. Epocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. Il-crescimento e produtividade. Revista ciência agronômica, 38(4): 422-429.

Dufey, A. 2006. *Biofuels production, trade and sustainable development: emerging issues*. Sustainable Markets Discussion Paper Number 2. Ed.: IIED. ISBN: 978-1-84369-643-8.57 pp.

Duke, J.A. 1983. *Handbook of energy crops*. Information Systems Division, National Agricultural Library (United States of America) NAL/USDA. 10301 Baltimore Avenue Beltsville, Md. 20705. Disponible en http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/dukeindex.html

Dunn, R.O. 1999. *Thermal analysis of alternative diesel fuels from vegetable oils.*Journal American Oil Chemical Society, 13 (2): 109-115.

Dunn, R.O.; Knothe, G. 2001. *Alternative diesel fuels from vegetable oils and animal fats.* Journal of Oleo Science, 50(5): 415-426.

D'yakov, A.B. 1986. *Properties of photosynthesis.* In: MOSHKIN, V.A. (Ed.). Castor. New Delhi: Amerind, 65-67.

ECO2SITE. 2004. *Biodiesel en el mundo. Argentina, Centro Nacional de Producción más Limpia*. Disponible en: http://www.eco2site.com/informes/biodiesel-m.asp

European Standard. 2002. Automotive fuels-Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines-Requirements and test methods. prEN 14214. October 2002. ICS 75.160.20.

FAO. 2009. Climate change and bioenergy challenges for food and agriculture High Level Expert Forum-How to Feed the World in 2050. Office of the Director, Agricultural Development Economics Division. Disponible en: www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues-papers/HLEF2050 Climate.pdf

Fargione, J.; Hill, J.; Tilman, D.; Polasky, S.; Hawthorne, P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. Science, 319: 1235-1238.

Fernández, J. 2009. *Energías Renovables para todos. Biomasa*. Colección Haya Comunicación. Iberdrola. 20 pp.

Ferrari, R.A.; Souza, W. L. 2009. *Avaliação da estabilidade oxidativa de biodiesel de óleo de girassol com antioxidantes*. Quím. Nova, São Paulo, 32. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100

Ferrari, R.A; Oliveira, V.S.; Scabio, A. 2005. Biodiesel de soja-taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físicoquímica e consumo em gerador de energia. Química Nova, 28.

Flemming, N.; de Jongh, J. 2011. *Castor (Ricinus communis). Potential of castor for biofuel production*. FACT Project No. 146/WW/001. FACT Fundation. Disponible en: http://www.factfoundation.com/media_en/factsheet_castor.

Foglia, T.A.; Jones, K.C.; Phillips, J.G. 2005. *Determination of biodiesel and triacylglycerols in diesel fuel by LC.* Chromatographia, 62(3-4): 115-119.

Fortman, J.L.; Chhabra, S.; Mukhopadhyay, A.; Chou, H.; Lee, T.S.; Steen, E.; Keasling, J.D. 2008. *Biofuel alternatives to ethanol: pumping the microbial well.* Trends in biotechnology, 26(7): 375-381.

Frank, J.; Szabo, L. 1989. *A napraforgo Helianthus annuus, L.* Budapest: Akadémiai Kiadó, 178 pp.

Freedman, B.E.H.P.; Pryde, E.H.; Mounts, T.L. 1984. *Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils*. Journal of the American Oil Chemists Society, 61(10): 1638-1643.

Freedman, B.; Butterfield, R.O.; Pryde, E.H. 1986. *Transesterification kinetics of soybean oil*. Journal of the American Oil Chemists Society, 63(10): 1375-1380.

Freire, R.M.M. 2001. *Ricinoquímica. In: Azevedo, D.M.P.; Lima, E.F. (Ed.). O agronegócio da mamona no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 295-335.

Freitas, S.M.; Fredo, C.E. 2005. *Fontes energéticas e protocolo de Kyoto: a posição do Brasil*. Informações Econômicas, 35(5): 77-82.

Freitas, J.G.; Da Silva, J.C.A.; Mota, J.R.; Da Silva, G.A. 2010. Comportamento da cultivar de mamona BRS energia cultivada sob duas densidades de plantio em irecê. IV Congresso Brasileiro de Mamona & I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais. Campina grande: Embrapa Algodão: 1213-1217.

Fukuda,H.; Kondo, A.; Noda, H. 2001. *Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils*. Journal of Bioscience and Bioengineering, 92 (5): 405-416.

Fulton, L.; Howes, T.; Hardy, J. 2004. *Biofuels for Transport: An International Perspective*. International Energy Agency. Paris.

Gaona, O de J.C. 2012. Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuerilla (Ricinus communis L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Doctor en Ciencias agropecuárias. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia.

Georgogianni, K.G.; Kontominas, M.G.; Pomonis, P.J.; Avlonitis, D.; Gergis, V. 2008. *Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel*. Fuel Processing Technology, 89(5): 503-509.

Giannelos, P.N.; Zannikos, F.; Stournas, S.; Lois, E.; Anastopoulos, G. 2002. *Tobacco seed oil as an alternative diesel fuel: physical and chemical properties*. Ind. Crop Prod., 16: 1–9.

Gil, A.P.; Mascorro, A.G.; Avila, S.G. 2001. Efecto de los riegos de auxilio y densidad de población en el rendimiento y calidad de la fibra del algodón. Terra, 19: 265-271.

Glifford, R.M.; Thorne, J.H.; Hitz, W.D.; Giaquinta, R.T. 1984. *Crop productivity and photoassimilate partitioning*. Science, 225: 801-808.

Goering, C.E.; Schwab, A.W.; Daugherty, M.J.; Pryde, E.H.; Heakin, A.J. 1982. Fuel properties of eleven oils. Transactions of the ASAE [American Society of Agricultural Engineers, 25 (6): 1472–1483.

Goering, C.E.; Fry, B. 1984. Engine durability screening test of a diesel oil/soy oil/alcohol microemulsion fuel. Journal of American Oil Chemical Society, 61: 1627-1631.

Gomes, E.M.; Ungaro, M.R.G.; Vieira, D.B. 2003. *Influência da suplementação hídrica na altura de planta, diâmetro de capítulo, peso de sementes e produção de grãos*. In: Reunião Nacional de Girassol, 15. Resumos. Ribeirão Preto, SP. CD-Rom. 4 pp.

Graille, J.; Lozano, P.; Pioch, D.; Geneste, P. 1986. Essais pilotes d'alcoolyses d'huiles végétales avec des catalyseurs naturels pour la production de carburants diesels. Oléagineux, 41(10): 457-464.

Gutiérrez, V.M.O.; Estrada, J.A.E.; García, P.S.; Chávez, L.T.; Lagunas, A.A.M.; Román, E.C. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra, 18(4): 314-323.

Hahn-Hägerdal, B.; Galbe, M.; Gorwa-Grauslund, M.F.; Liden, G.; Zacchi, G. 2006. *Bioethanol—the fuel of tomorrow from the residues of today*. Trends in biotechnology, 24(12): 549-556.

Harrington, K.J. 1986. Chemical and physical properties of vegetable oil esters and their effect on diesel fuel performance. Biomass, 9: 1-17.

Harrington, K.J.; D'Arcy-Evans, C. 1985. *Transesterification in situ of sunflower seed oil*. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 24: 314-318.

Heaton, E.; Voigt, T.; Long, S.P. 2004. A quantitative review comparing the yields of two candidate C_4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. Biomass and Bioenergy, 27(1): 21-30.

Heiser, C.B. Jr. 1951. *The Sunflower among the North American Indians*. Proceedings of the American Philosophical Society, 95 (4): 432-448.

Heitholt, J.J.; Pettigrew, W.T.; Meredith, W.R. 1993. Growth, boll opening rate, and fiber properties of narrow-row cotton. Agronomy Journal, 85(3): 590-594.

Hernández, L.F.; Orioli, G.A. 1985. *Edaphic variations in irrigated soils and its influence on growth and yield of sunflower*. Actas de la XI Conf. Internac. de Girasol. Argentina, 227-233.

Hernández, L.F.; Orioli, G.A. 1992. Incidencia del número de frutos cosechables en la determinación del potencial de rendimiento del cultivo de girasol. Proceder Agrotecnológico, 4: 56-63.

Hernández, L.F.; Orioli, G.A. 1994. *El ideotipo del girasol (Helianthus annuus L.)*. Agriscientia, 11: 87-98.

Hilbert, J.A. 2006. *Panorama actual del biodiesel. Argentina*. Centro de Investigación de Agroindustria e Instituto de Ingenieria Rural INTA. Disponible en: http://www.proteccionline.com/contenidos-pp/pp6/pp-01.htm

Hill, J.; Nelson, E.; Tilman, D.; Polasky, S.; Tiffany, D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(30): 11206-11210.

Hladni, N.; Skoric, D.; Balalic, M.K.; Sakac, Z.; Jovanovic, D. 2006. *Combining ability for oil content and its correlation with other yield components in sunflower (H. annuus L.)*. Helia, 29: 111-120.

Hocking, P.J.; Steer, B.T. 1983. *Uptake and partitioning of selected mineral elements in sunflower (Helianthus annuus L) during growth.* Field Crops Res., 6: 93-107.

Ivanov, P.; Stoyanova, Y. 1980. *Studies on the genotypic and phenotypic variability and some correlations in sunflower (Helianthus annuus* L.). IX Conf. Int. del girasol. Malaga, España, 1: 336-342.

Jain, K.K.; Vaish, D.P.; Gupta, H.K.; Mathur, S.S. 1978. Studies on hollow seednes in sunflower. In: International Sunflower Conference, 8, Minneapolis, USA. International Sunflower Association. 138-147.

Kalam, M.A.; Musjuki, H.H. 2002. *Biodiesel from palm oil—an analysis of its properties and potential*. Biomassa & Energy, 23(6): 471-479.

Kalam, M.A.; Husnawan, M.; Masjuki, H.H. 2003. *Exhaust emission and combustion evaluation of coconut oil-powered indirect injection diesel engine*. Renewable Energy, 28: 2405-2415.

Karleskind, A. 1996. *Oils and fats manual: a comprehensive treatise: properties, production, applications*. Ed. Lavoisier Publishing. Paris. Volumes 1 & 2: 807-1572.

Kaya, Y.; Evci, G.; Durak, S.; Pekcan, V.; Gücer, T. 2007. *Determining the relationships* between yield and yield attributes in sunflower. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 31(4), 237-244.

Kim, H.J.; Kang, B.S.; Kim, M.J.; Park, Y.M., Kim, D.K.; Lee, J.S.; Lee, K.Y. 2004. Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst. Catalysis today, 93: 315-320.

Kim, S.; Dale, B.E. 2005. *Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel*. Biomass and Bioenergy, 29(6): 426-439.

Knothe, G. 2005. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. Fuel Processing Technology, 86: 1059-1070.

Knothe, G. 2007. *Some aspects of biodiesel oxidative stability*. Fuel Processing Technology, 88(7): 669-677.

Knothe, G. 2008. "Designer" Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties. Energy & Fuels, 22(2): 1358-1364.

Koβmehl, S.O.; Heinrich, H. 1998. Assessment of the use of biofuels in passenger vehicles. In: El bassam, N., Behl,R. K., Prochnow, B. (eds.), Sustainable Agricultural for Food, Energy and Industry. James & James. London, 1: 867-875.

Kucek, K.T. 2004. *Otimização da transesterificação etílica do óleo de soja em meio alcalino*. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de mestre em química orgânica. Universidade Federal do Paraná UFPR.Curitiba-PR. 123 pp.

Kumar, P.V., Ramakrishna, Y.S., Rao, B.R., Victor, U.S., Srivastava, N.N., Rao, A.S. 1997. Influence of moisture, thermal and photoperiodic regimes on the productivity of castor beans (Ricinus communis L.). Agricultural and Forest Meteorology, 88(1): 279-289.

Kusdiana, D.; Saka, S. 2001. *Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol.* Fuel, 80(5): 693-698.

Lamas, W.D.Q.; Giacaglia, G.E.O. 2013. *The Brazilian energy matrix: Evolution analysis and its impact on farming.* Energy Policy, 63: 321-327.

Lamers, P.; Junginger, M.; Hamelinck, C.; Faaij, A. 2012. Developments in international solid biofuel trade—an analysis of volumes, policies, and market factors. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 16: 3176—3199.

Lang, X.; Dalai, A.K.; Bakhshi, N.N.; Reaney, M.J.; Hertz, P.B. 2001. *Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils*. Bioresource technology, 80(1): 53-62.

Larson, E.D. 2006. A review of life-cycle analysis studies on liquid biofuel systems for the transport sector. Energy for Sustainable Development, 10(2): 109-126.

Leite, R.M.V.B.C. 1997. Doenças do Girassol. Londrina, Brazil: EMBRAPA-CNPSo.

Leite, R.M.V.B.C.; Amorim, L.; Bergamin Filho, A. 2006. *Relationships of disease and leaf area variables with yield in the Alternaria helianthi*—sunflower pathosystem. Plant pathology, 55(1): 73-81.

Leung, D.Y.; Wu, X.; Leung, M.K.H. 2010. *A review on biodiesel production using catalyzed transesterification*. Applied Energy, 87(4): 1083-1095.

Lira, M.A. 2010. *Oleaginosas como fonte de matéria prima para a produção de biodiesel*. Emparn. Natal-RN. 71 pp.

Lobo, T.F.; Grassi Filho, H. 2007. *Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol.*Journal of Soil Science and Plant Nutricion, Valdivia, 7 (3): 16-25.

Lobo, T.F.; Grassi Filho, H.; Coelho, H.A. 2012. *Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do girassol.* Científica, 40(1): 59-68.

López Sako, M.J. 2008. *La energía eólica: régimen jurídico-económico y régimen de autorización de sus instalaciones de producción*. Departamento de Derecho Administrativo. Tesis doctoral. Universidad de Granada. ISBN: 978-84-338-4914-4. 587 pp.

López Martínez, J.D.; Salazar Sosa, E.; Trejo-Escareño, H.I.; García Hernández, J.L.; Navarro Morones, M.; Vázquez-Vázquez, C. 2014. *Producción de algodón con altas densidades de siembra usando fertilización orgánica*. Phyton, 83(2): 237-242.

Lovatelli, C. 2005. Agroenergia Uma opção estratégica para o Brasil: Motivações para o uso de bicombustíveis. Revista Política Agrícola. Año XIV, 4.

Ma, F.; Hanna, M. 1999. *Biodiesel production: a review*. Bioresource Technology, 70: 1-15.

Ma, F.; Clements, L.D.; Hanna, M.A. 1998. *Biodiesel fuel from animal fat. Ancillary studies on transesterification of beef tallow*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 37(9): 3768-3771.

Machado, R.; Suárez, J.; Alfonso, M. 2012. Caracterización morfológica y agroproductiva de procedencias de Ricinus communis L. para la producción de aceite. Pastos y Forrajes, 35(4): 381-392.

Mandolesi de Araújo, C.D.; de Andrade, C.C.; de Souza e Silva, E.; Dupas, F.A. 2013. Biodiesel production from used cooking oil: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27: 445-452.

Marchetti, J.M.; Miguel, V.U.; Errazu, A.F. 2007. *Possible methods for biodiesel production*. Renewable and sustainable energy reviews, 11(6): 1300-1311.

Martínez Ávila, O.M.; Sánchez Castellanos, F.J.; Suárez Palacios, O.Y. 2007. Producción de ésteres etílicos a partir de aceite de palma RBD. Revista Ingeniería e Investigación, 27(2): 34-43.

Mazzani, B. 1983. *Euforbiáceas oleaginosas: Tártago. In: Mazzani, B. Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas*. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Caracas. Venezuela: 277-360.

Mazzani, E. 2007. *El tártago: la planta, su importancia y usos*. CENIAP Hoy. No. 14. Disponible en: http:

//www.cadenahortofrutic ola.org/admin/bibli/576tartago_importancia_usos.pdf.

Mazzani, E.; Rodríguez, E. 2009. Estudio de la variabilidad presente en germoplasma de tártago (Ricinus communis L.) en cuanto a racimos, frutos y semillas. Revista UDO Agrícola 9 (4): 764-769.

Mazzani, E.; Rodríguez, E.; Marín, C.; Gutiérrez, D.; Zamora, F. 2013. Ensayos regionales de evaluación de variedades de tártago (Ricinus communis L.) en cinco ambientes de siembra en Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola, 13(1): 32-38.

Mc Connell J.S.; Frizzell, B.S.; Maples, R.L.; Wilkerson, M.L.; Mitchell, G.A. 1989. Relationships of irrigation methods and nitrogen fertilization rates in cotton production. Arkansas Agricultural Experimental Station Rep. 310.

McLaughlin, S.B.; Walsh, M.E. 1998. Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. Biomass and Bioenergy, 14(4): 317-324.

McKinlay, J.B.; Harwood, C.S. 2010. *Photobiological production of hydrogen gas as a biofuel*. Current opinion in biotechnology, 21(3): 244-251.

Meher, L.C.; Vidya Sagar, D.; Naik, S.N. 2006. *Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review*. Renewable and sustainable energy reviews, 10(3): 248-268.

Melillo, J.M.; Reilly, J.M.; Kicklighter, D.W. Gurgel, A.C.; Cronin, T.W.; Paltsev, S.; Schlosser, C.A. 2009. *Indirect emissions from biofuels: how important?*. Science, 326: 1397-1399.

Méndez, M.C. 2006. *Feasibility Study of a Biodiesel Production Plant from Oilseed*. Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow. 118 pp.

Miller, J.F.; Fick, G.N. 1997. Sunflower Genetics. In: Sunflower Technology and Production. (Ed: A.A. Schneiter), Agronomy Monograms, 35. ASA. CSSA and SSSA. Madison, WI, USA., 441-495.

Ministerio da Agricultura, Pecuaria e Abastecimiento. 2006. *Directrices de Política de Agroenergía 2006-2011*. Disponible en: http://www.biodiesel.gov.br

Miranda, E. 2011. Evaluación del comportamiento de 19 accesiones de higuerilla (Ricinus communis L.). Disponible en: http://www.monografias.com/trabajos88/higuerilla-ricinus-connmunis/higuerilla-ricinus-connmunis.shtml.

Mittelbach, M.; Tritthart, P.; Junek, H. 1985. *Diesel fuel derived from vegetable oils II: emission tests using rape oil methyl ester*. Energy in Agriculture, 4: 207-215.

Mittelbach, M.; Tritthart, P. 1988. *Diesel fuel derived from vegetable oils, III. Emission tests using methyl esters of used frying oil.* Journal of the American Oil Chemists' Society, 65(7): 1185-1187.

Mittelbach, M.; Tratnigg, B. 1990. *Kinetics of alkaline catalyzed methanolysis of sunflower oil*. Fat Sci Technol, 92(4):145-148.

Mondal, P.; Basu, M.; Balasubramanian, N. 2008. Direct use of Vegetable Oil and Animal Fat as Alternative Fuel in Internal Combustion Engine. Biofuels, Biorpoducts and Biorefining, 2: 155-174.

Moreira Santos, E. 2012. *Principales características de las materias primas utilizadas en la producción de biodiesel: la influencia del contenido y la concentración de los ácidos grasos*. Ingenium, 13(25): 53-61.

Moreno, M.V. 2010. Diversidad genética en girasol cultivado: análisis de una colección de germoplasma local para su aplicación en programas de mejoramiento. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 237 pp.

Moretto, E. 1998. *Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos.* Varela. ISBN 9788585519414. 150 pp.

Muñoz, R.V.; Estrada, J.A.E.; García, P.S.; Ayala, C.R.; Adame, E.C. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. Terra, 19(1): 75-81.

Nabi, M.N.; Akhter, M.S.; Zaglul Shahadat, M.M. 2006. *Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel-biodiesel blends*. Bioresource Technology, 97(3): 372-378.

Nag, A.; Bhattacharya, S.; De, K.B. 1995. *New utilization of vegetable oils*. Journal of American Oil Chemical Society, 72: 1591-1593.

Nanjundappa, G.; Shivaraj, B.; Janarjuna, S.; Sridhara, S. 2001. Effect of organic and inorganic sources of nutrients applied alone or in combination on growth and yield of sunflower (Helianthus annuus L.). Helia, 24(34): 115-120.

Nass, L.L.; Pereira, P.A.A.; Ellis, D. 2007. *Biofuels in Brazil: an overview*. Crop Science, 47(6): 2228-2237.

Nazareno, A.C.; Afférri, F.S.; Peluzio, J.M.; Cancellier, L.L.; Leão, F.F.; Naoe, L.K. 2011. Avaliação de cultivares de mamona em três ambientes, no estado do Tocantins, safra 2007/2008. Bioscience Journal, 27(2): 297-304.

Neto, M.C. 2007. *Vantagens e desvantagens no uso do biodiesel*. Disponible en: http://brasilbio.blogspot.com/2007/02/vantagens-e-desvantagens-no-uso-do.html.

Neto da Silva, F.; Salgado Prata, A.; Rocha Teixeira, J. 2003. *Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl ester utilisation in Diesel bus engines.* Energy conversion and management, 44(18): 2857-2878.

Nguyen, T.T.; Tenhunen, J. 2013. *Review of integrated ecological-economic analyses* for bioenergy plants under climate change at local scale. International Journal of Climate Change Strategies and Management, 5 (3): 324-343.

Nóbrega, M.B. de M.; Andrade, F.P.; Santos, J.W.; Leite, E.J. 2001. *Germoplasma* In: Azevedo, D.M.P.; Lima, E.F. (ed.). O agronegócio da mamona no Brasil. Brasília: EMBRAPA. Cap.11, 257-280.

Noiroj, K.; Intarapong, P.; Luengnaruemitchai, A.; Jai-In, S. 2009. A comparative study of KOH/Al_2O_3 and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil. Renewable Energy, 34(4): 1145-1150.

Noureddini, H.; Zhu, D. 1997. *Kinetics of transesterification of soybean oil*. Journal of the American Oil Chemists Society, 74(11): 1457-63.

Obernberger, I.; Brunner, T.; Bärnthaler, G. 2006. *Chemical properties of solid biofuels-significance and impact*. Biomass and Bioenergy, 30(11): 973-982.

Oliveira, F.C.C.; Soarez, P.A.Z.; Santos, W.L.P. dos. 2008. *Biodiesel: Possibilidades e Desafios*. Química nova na escola, 28. Maio.

Oliveira, A.E.S.D.; Sá, J.R.D.; Medeiros, J.F.D.; Nogueira, N.W.; Silva, K.J.P.D. 2010. Interação da adubação organo-mineral no estado nutricional das plantas de melão em Mossoró—RN-Brasil. Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável, 5(3): 53-58.

Orioli, G.A.; Pereyra, V.R.; Beltrano, J.; Cardinali, F. 1977. *Acumulación de materia seca, nitrógeno, fósforo y uso de energía en un cultivo de girasol*. IADO. Actas de la III Reunión Nacional de Girasol. Buenos Aires. 137-41.

Ortegón, A.; Escobedo, A. 1995. *Variabilidad genética, fenotípica y correlaciones entre Componentes de rendimiento de líneas de girasol (Helianthus annuus*). Agronomía Mesoamericana, 6: 151-156.

Ortegón, A.; Díaz, A. 1999. *Respuesta de cultivares de girasol a la densidad de población en dos ambientes*. Agronomía Mesoamericana, 10(2): 17-21.

Ortis, L.; Nestares, G.; Frutos, E.; Machado, N. 2005. *Combining ability analysis for agronomic traits in sunflower (Helianthus annuus* L.). Helia, 28(43): 125-134.

Pacheco, F. 2004. *Biodiesel: será o combustível do futuro?*. Conjuntura e Planejamento. SEI, 22: 26-31.

Padula, A.D.; Santos, M.S.; Ferreira, L.; Borenstein, D. 2012. *The emergence of the biodiesel industry in Brazil: Current figures and future prospects*. Energy policy, 44: 395-405.

Paiva de, G.J.; Terada, Y.; Toledo de, V.D.A.A. 2003. *Seed production and germination of sunflower (Helianthus annuus L.) in three pollination systems.* Acta Sci. Anim. Sci., 25: 223-227.

Palomo Gil, A.; Godoy Avila, S.; Chávez González, J.F. 1999. *Reductions in nitrogen fertilizers use with new cotton cultivars: Yield, yield components and fiber quality.* Agrociencia, 33: 451-455.

Palomo Gil, A.; Gaytán Mascorro, A.; Chavarría Ramos, M.G. 2002. Respuesta de una variedad precoz de algodón al número de riegos y dosis de nitrógeno. Rev. Fitotec. Mex., 25 (1): 43-47.

Peres, J.R.R.; Freitas Jr, E. de; Gazzoni, D.L. 2005. *Biocombustíveis Uma oportunidade* para o agronegócio brasileiro. Revista de política agrícola, 1: 31-41.

Peres, J.R.R.; Beltrao, N.E.M. 2006. *O futuro da Indústria: Biodiesel. Oleaginosas para biodiesel: situação atual e potencial.* Brasília-DF, 14: 67-82.

Peterson, C.L.; Auld, D.L.; Korus, R.A. 1983. *Winter rape oil fuel for diesel engines: Recovery and utilization*. Journal of American Oil Chemical Society, 60: 1579-1587.

Peterson, C.L.; Hustrulid, T. 1998. *Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels*. Biomass and Bioenergy, 14(2): 91-101.

Peterson, C.L.; Wagner, G.L.; Auld, D.L. 1983. *Vegetable oil substitutes for diesel fuel.*Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 26(2): 322-327.

Peterson, G.R.; Scarrah, W.P. 1984. *Rapeseed oil transesterification by heterogeneous catalysis*. Journal of the American Oil Chemists Society, 61(10): 1593-1597.

Peterson, C.L.; Hustrulid, T. 1998. *Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels*. Biomass and Bioenergy, 14(2): 91-101.

Pinto, A.C.; Guarieiro, L.L.; Rezende, M.J.; Ribeiro, N.M.; Torres, E.A., Lopes, W.A.; Andrade, J.B.D. 2005. *Biodiesel: an overview*. Journal of the Brazilian Chemical Society, 16(6B): 1313-1330.

Piyaporn, K.; Jeyashoke, N.; Kanit, K. 1996. *Survey of seed oils for use as diesel fuel.*Journal of American Oil Chemical Society, 73: 471-474.

PNPB. Programa Nacional de Produçao e Uso de Biodiesel. 2004. Disponible en: www.biodiesel.gov.br/programa.html

Pousa, G.P.A.G.; Santos, A.L.F.; Soarez, P.A.Z. 2007. *Histórico e Política do Biodiesel no Brasil*. Disponible en:

http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/desenvolvimento/14.pdf

Poverene, M.; Cantamutto, M.A.; Carrera, A.; Ureta, S.; Alvarez, D.; Alonso Roldán, V.; Presotto, A.; Gutiérrez, A.; Luis, S.; Hernández, A. 2006. Wild sunflowers research in Argentina. Helia, 29(44): 65-76.

Pryde, E.H. 1983. *Vegetables oils as diesel fuels*. Journal of American Oil Chemical Society, 60 (8): 1557-1559.

Ragauskas, A.J.; Williams, C.K.; Davison, B.H.; Britovsek, G.; Cairney, J.; Eckert, C.A.; Frederick, W.J.; Hallett, J.P.; Leak, D.J.; Liotta, C.L.; Mielenz, J.R.; Murphy, R.; Templer, R.; Tschaplinski, T. 2006. *The path forward for biofuels and biomaterials*. Science, 311: 484-489.

Ramos, L.P.; Domingos, A.K.; Kucek, K.T.; Wilhelm, H.M. 2003. *Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil*. Biotecnologia: Ciência e Desenvolvimento, 31: 28-37.

Ramos, M.J.; Casas, A.; Rodríguez, L.; Romero, R.; Pérez, Á. 2008. *Transesterification of sunflower oil over zeolites using different metal loading: a case of leaching and agglomeration studies*. Applied Catalysis A: General, 346(1): 79-85.

Ramos, M.J.; Fernández, C.M.; Casas, A.; Rodríguez, L.; Pérez, Á. 2009. *Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties*. Bioresource Technology, 100(1): 261-268.

Raigón, M.D. 2000. *Biodiesel. Alternativa energética para motores diesel con disminución de la contaminación ambiental.* Actualidad Tecnológica, 434: 471-474.

Rathmann, R.; Benedetti, O.; Plá, J.A.; Padula, A.D. 2005. *Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira?*. In: II Seminário de Gestão de Negócios. Curitiba, UNIFAE. Disponible en: www.biodiesel.gov.br/docs/ArtigobiodieselGINCOB-UFRGS.pdf

Rathmann, R.; Szklo, A.; Schaeffer, R. 2012. Targets and results of the Brazilian Biodiesel Incentive Program—Has it reached the Promised Land?. Applied Energy, 97: 91-100.

Ren21. 2011. *Renewables–Global Status Report*. Renewable Policy Network for the 21st Century, Paris, France.

RIO+20. 2012. *The future we want*. United Nations Conference on Sustainable Development. A/CONF.216/L.1. Agenda item 10. Rio de Janeiro, Brazil. 20-22 June, 53 pp.

Rochester, I.J. 2007. *Nutrient uptake and export from an Australian cotton field.* Nutrient Cycling in Agroecosystems, 77: 213-223.

Rodríguez, L.A.; Valencia, J.J. 2012. Impact of traffic equipment during sugarcane (Saccharum officinarum) harvest. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16(10): 1128-1136.

Rodriguez Cardenas, V.A. 2006. Uso de un Fulvato de Hierro en Algunas Variables de Calidad de Girasol Ornamental, Bajo Condiciones de "Cielo Abierto". Tesis presentada como requisito parcial para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad autónoma agraria "Antonio Narro". México. 48 pp.

Russi, D. 2007. *Biocarburantes: una estrategia poco aconsejable. Revista Biocarburantes*. Magazine. Mayo. 5 pp.

Saka, S.; Kusdiana, D. 2001. *Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol.* Fuel, 80: 225-231.

SAGPyA-IICA. 2005. Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y Brasil.

Disponible en: http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/biodiesel/biocombustibles1.pdf

Sánchez-Macías, J.I. 2006. *Desarrollo agroindustrial de biocombustibles en Castilla y León*. Ed. Consejo Económico y Social de Castilla y León. Valladolid (España). ISBN: 84-95308-30-4. 194 pp.

Sanchez Rodríguez, Y.; Fundora Mayor, Z.; Soto Alemán, L. 2013. Evaluación de líneas introducidas de girasol (Helianthus annuus L.). Agrisost, 17(3): 16-24.

Santos, H.G. dos; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C. dos; Oliveira, V.A. de Oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumbreras, J.F.; Cunha, T.J.F. (Ed.). 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 306 pp.

Sarwar, G.; M. Boota-Chaudhry. 2008. Evaluation of castor (Ricinus communis L.) induced mutants for possible selection in the improvement of seed yield. Span. J. Agric. Res. 6 (4): 629-634.

Sharma, Y.; Singh, B.; Upadhyay, S. 2008. *Advancements in development and characterization of biodiesel: A review.* Fuel, 87(12): 2355-2373.

Schneiter, A.A.; Miller, J.F. 1981. *Description of sunflower growth stages*. Crop Science, 21: 901–903.

Scholz, V.; da Silva, J.N. 2008. *Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel.* Biomass and Bioenergy, 32(2): 95-100.

Schubert, C. 2006. *Can Biofuels Finally Take Center Stage?*. Nature Biotechnology, 24: 777–784.

Schuchardt, U.; Sercheli, R.; Vargas, R.M. 1998. *Transesterification of vegetable oils: a review*. Journal of the Brazilian Chemical Society, 9(3): 199-210.

Schueler, V.; Weddige, U.; Beringer, T.; Gamba, L.; Lamers, P. 2013. Global biomass potentials under sustainability restrictions defined by the European Renewable Energy Directive 2009/28/EC. GCB Bioenergy.

Searchinger, T.D. 2010. *Biofuels and the need for additional carbon*. Environmental Research Letters, 5(2), 24-27.

Searchinger, T.; Heimlich, R.; Houghton, R.A.; Dong, F.; Elobeid, A.; Fabiosa, J.; Tokgoz, S.; Hayes, D.; Yu, T.H. 2008. *Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change*. Science, 319: 1238-1240.

Severino L.S.; Milani, M.; Moraes, C.R. de A.; Gondim, T.M. de S.; Cardoso, G.D. 2006. Avaliação da produtividade e teor de óleo de dez genótipos de mamoneira cultivados em altitude inferior a 300 metros. Revista Ciência Agronômica 37 (2): 188-194.

Severino, L. S.; Vale, L.S.; Cardoso, G.D.; Beltrão, N.E. de M.; Santos, J.W. 2005. *Dos Método para determinação da área foliar da mamoneira*. Campina Grande: Embrapa—CNPA. Boletim de Pesquisa e desenvolvimento, 55. 20 pp.

Shay, E.G. 1993. *Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities*. Biomass and Bioenerg, 4: 227-242.

Sher, E. 1998. *Handbook of air pollution from internal combustion engines*. Pollutant formation and control. Academic Press. San Diego. 665 pp.

Silva, P.D.; Mundstock, C. 1988. *Época de semeadura*. Girassol: indicações para o cultivo no Rio Grande do Sul, 3: 13-18.

Silva, A.F.; Anjos, J.B.; Drumond, M.A.; Milane, M.; Nóbrega, M.B.M.; Suassuna, T.D. M.F. 2004. *Avaliação preliminar de cultivares de mamona em condições semi-áridas do Nordeste do Brasil*. Congresso Brasileiro de Mamona-Energia e Sustentabilidade. Vol. 1. Campina Grande: Embrapa Algodão. 4 pp.

Sims, R.E.; Hastings, A.; Schlamadinger, B.; Taylor, G.; Smith, P. 2006. *Energy crops:* current status and future prospects. Global Change Biology, 12(11): 2054-2076.

Smiderle, O.J.; Mourão Jr, M.; Gianluppi, D. 2005. Avaliação de cultivares de girassol em savana de Roraima. Acta Amazônica, 35(03): 331-336.

Soares, J.J.; Lara, F.M.; Silva, C.D.; Almeida, R.D.; Wanderley, D.S. 1999. *Influência da posição do fruto na planta sobre a produção do algodoeiro*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 34(5): 755-759.

Sorda, G.; Banse, M.; Kemfert, C. 2010. *An overview of biofuel policies across the world.* Energy Policy, 38(11): 6977-6988.

Souza de, F.S.; Oosterhuis, D.M.; Rosolem, C.A.; Gonias, E.D.; Bibi, A.C. 2006. *Effect Of Temperature On Cotton Growth Response To Mepiquat Chloride*. AAES Research Series, 543: 51-57.

Souza, A.N.; Távora, F.J.A.F.; Pitombeira,J.B.; Bezerra, F.M.L. 2007. Épocas de plantio e manejo de irrigação para a mamoneira. II-Crescimento e produtividade. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, 38: 4.

Srinivasan, S. 2009. *The food vs. fuel debate: A nuanced view of incentive structures.* Renewable Energy, 34(4): 950-954.

Steer, B.T.; Hocking, P.J. 1984. Nitrogen nutrition of sunflower (Helianthus annuus L.): Acquisition and partitioning of dry matter and nitrogen by vegetative organs and their relationships to seed yield. Field Crops Res., 9: 237-251.

Stournas, S.; Lois, E.; Serdari, A. 1995. *Effects of fatty acid derivatives on the ignition quality and cold flow of diesel Fuel*. Journal of American Oil Chemical Society, 72: 436-437.

Stratta, J. 2000. *Biocombustibles: Los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel.* Departamento de Capacitación y Desarrollo del Mercado de la bolsa de Comercio de Rosario, Argentina. Disponible en:

www.bcr.com.ar/pagcentrales/publicaciones/images/pdf/biocombustibles.pdf

Street, H.E.; Opik, H. 1974. *Fisiologia das angiospermas: crescimento e desenvolvimento*. São Paulo: Polígono, 332 pp.

Suarez, R.A.; Erazzú, L.E.; Mondino, M.H.; Poisson, J. 2001. Efecto del stress luminico en diferentes estadios de desarrollo sobre el rendimiento del cultivar de algodón Guazuncho 2 INTA. Congresso Brasileiro de Algodão. Campo Grande, MS. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, v. 2: 472-474.

Suppes, G.J.; Dasari, M.A.; Doskocil, E.J.; Mankidy, P.J.; Goff, M.J. 2004. *Transesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts*. Applied Catalysis A: General, 257(2): 213-223.

Tashtoush, G.; Al-Widyan, M.I.; Al-Shyoukh, A.O. 2003. *Combustion performance and emissions of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-cooled furnace*. Applied thermal engineering, 23(3): 285-293.

Tashtoush, G.M.; Al-Widyan, M.I.; Al-Jarrah, M.M. 2004. *Experimental study on evaluation and optimization of conversion of waste animal fat into biodiesel*. Energy Conversion and Management, 45(17): 2697-2711.

Tomar Rukam, S.; Parakhia, M.V.; Kavani, R.H.; Dobariya, K.L.; Thakkar, J.R.; Rathod, V.M.; Dhingani R.M.; Golakiya, B.A. 2014. *Characterization of castor (Ricinus communis L.) genotypes using different markers*. Research Journal of Biotechnology, 9(2): 6-9.

TSKAN: Tecnología Solar Canaria. 2010. Fuentes de energía y sus efectos sobre el Medio Ambiente. Disponible en: http://tskan.com/fuentes-de-energia-y-sus-efectos/

Uhlenbrook, S. 2007. Biofuel and water cycle dynamics: what are the related challenges for hydrological processes research?. Hydrological Processes, 21(26): 3647-3650.

University of California. 1972. *Committee of consultants. Guideline for Interpretation of Water Quality for Agriculture.* Davis. 13 pp.

USDA. United States Department of Agriculture. 2011. *The Oil seeds Group. World markets and trade 2001-2011.* Washington. Disponible en: http://www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2011/May/oilseeds.pdf

Vagonyte, E. 2011. *Agro-bioenergía para inversores y agricultores*. The bioenergy international, 13: 48-49.

Velazquez, P.D.; Formento, N. 2003. Efecto de la infección natural de Phoma oleracea var. helianthi-tuberosi Sacc. sobre algunos caracteres agronómicos y el rendimiento de aceite de cuatro genotipos de girasol (Helianthus annuus L.) con dos niveles de fertilización nitrogenada. Agriscientia, 20: 29-34.

Vicente, G.; Coteron, A.; Martinez, M.; Aracil, J. 1998. *Esteres metilicos como combustibles. Materias primas y propiedades*. Tecnoambiente, 85: 9-12.

Wei, Z.; Xu, C.; Li, B. 2009. Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production. Bioresource technology, 100(11): 2883-2885.

Wendel, J.F.; Brubaker, C.L.; Percival, A.E. 1992. *Genetic diversity in Gossypium hirsutum and the origin of upland cotton*. American Journal of Botany, 79(11): 1291-1310.

Yee, K.F.; Tan, K.T.; Abdullah, A.Z.; Lee, K.T. 2009. *Life cycle assessment of palm biodiesel: revealing facts and benefits for sustainability*. Applied Energy, 86: 189-196.

Zhang, Y.; Dube, M.A.; McLean, D.D.; Kates, M. 2003. *Biodiesel production from waste cooking oil:* 1. Process design and technological assessment. Bioresource Technol., 89: 1-16.

Zheljazkov, V.D.; Vick, B.A.; Ebelhar, M.W.; Buehring, N.; Baldwin, B.S.; Astatkie, T.; Miller, J.F. 2008. Yield, oil content, and composition of sunflower grown at multiple locations in Mississippi. Agronomy journal, 100(3): 635-642.

Zubillaga, M.M.; Aristi, J.P.; Lavado, R.S. 2002. *Effect of phosphorus and nitrogen fertilization on sunflower (Helianthus annus L.) nitrogen uptake and yield.* Journal of Agronomy and Crop Science, 188(4): 267-274.

Zuchi, J.; Bevilaqua, G.A.P.; Zanuncio, J.C.; Peske, S.T.; Dos Anjos e Silva, S.D.; Sediyama, C.S. 2010. Characteristics of castor bean cultivars according to the environmental crop and sowing season in Rio Grande do Sul State, Brazil. In: Ciência Rural, Santa Maria, 40 (3): 501-506.

Direcciones web:

www.cati.sp.gov.br/Cati/ produtos/SementesMudas/cultivares/GIRASSOL-

<u>CATISSOLO1.pdf</u>: Página oficial de La Coordinadora de asistencia Técnica Integral del Gobierno del Estado de São Paulo.

<u>www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/cultivares.html</u>: Página oficial de La Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

http://peak-oil.org/. Página oficial de Association for the Study of Peak oil USA.

http://189.124.135.176/: Página web de registros meteorológicos de EMPARN.

7. ANEXOS

La figura 59 muestra los registros de lluvia durante el año 2009, en la zona de Pedro Avelino, donde se realizaron los experimentos, observándose dos picos, uno de ellos entre los meses de febrero/marzo y otro hacia finales de abril. La figura 60 muestra los mismos datos para el año 2010, observándose que se trata de un año con menos incidencia de lluvias, con dos picos de frecuencia, uno a finales del mes de enero y otro a finales del mes de abril.

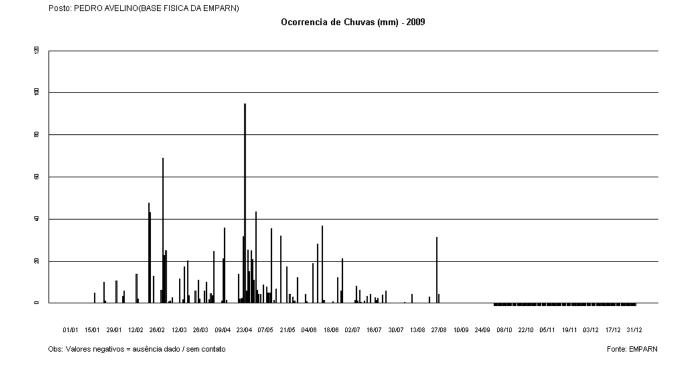


Figura 59. Registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2009.

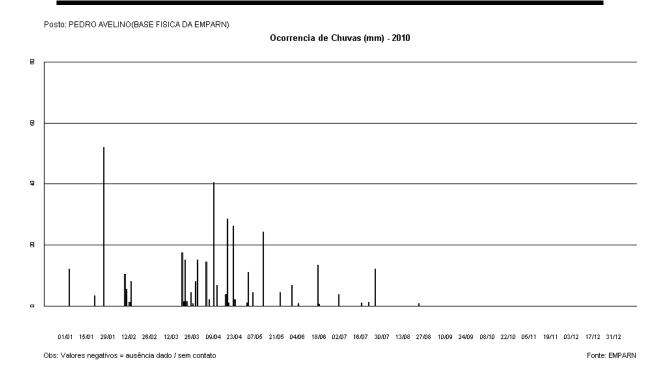


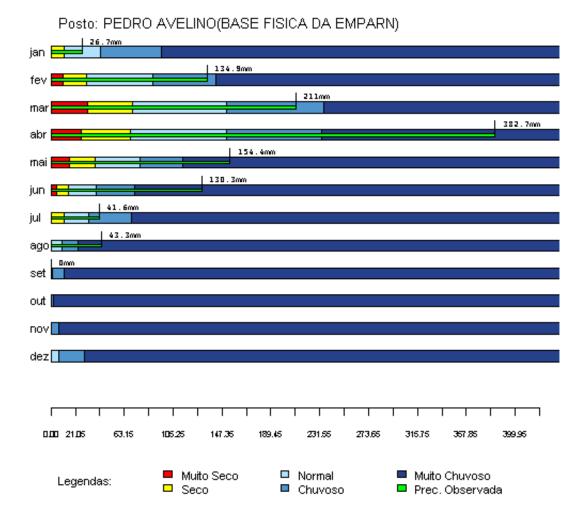
Figura 60. Registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2010.

El análisis mensual de la pluviometría registrada, en la zona de estudio, se muestra en la figura 61 para el año 2009 y en la figura 62 para el año 2010. Para el año 2009 se observa que los meses de marzo y abril son muy lluviosos, comenzando el período de lluvias en el mes de enero. Incluso, en este año, en el mes de agosto se registran lluvias, poco frecuentes, en esta época de año.

De la figura 62 se concluye que el año 2010 también presenta la mayor frecuencia de lluvias entre los meses de enero y mayo, siendo la incidencia de las mismas, significativamente más baja.

La figura 63 y 64 muestran el diagnóstico global de la pluviometría anual para el año 2009 y 2010, respectivamente. Donde se observa que, en promedio, en el año 2009 se registraron 759 mm de agua de lluvia más que en el años 2010, aunque en ambos casos concentrados en los primeros cinco meses del año.

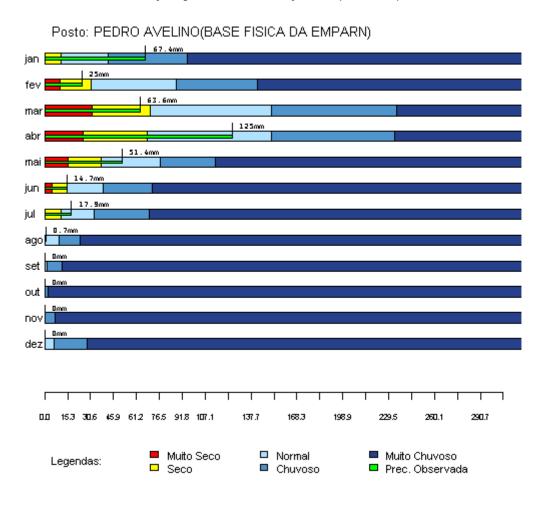
Análise Precipitação Acumulada p/mes (Quantis) - Ano: 2009



Fonte: EMPARN

Figura 61. Análisis mensual del registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2009.

Análise Precipitação Acumulada p/mes (Quantis) - Ano: 2010



Fonte: EMPARN

Figura 62. Análisis mensual del registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2010.

Análise Precipitação Acumulada (Quantis) - Ano: 2009

Período: 01 / 01 / 2009 a 31 / 12 / 2009

Posto: PEDRO AVELINO(BASE FISICA DA EMPARN)

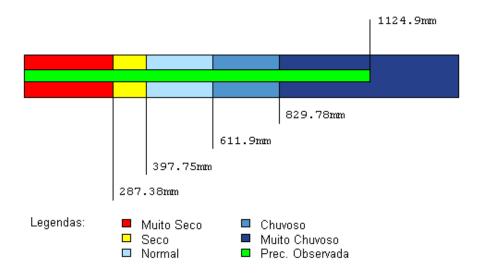


Figura 63. Análisis anual del registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2009.

Análise Precipitação Acumulada (Quantis) - Ano: 2010

Período: 01 / 01 / 2010 a 31 / 12 / 2010

Posto: PEDRO AVELINO(BASE FISICA DA EMPARN)

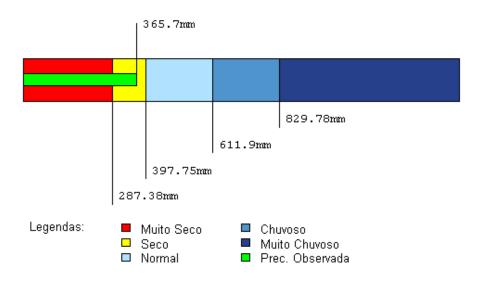


Figura 64. Análisis anual del registro de lluvia en la zona de Pedro Avelino durante al año 2010.

Tabla 32. Valores vegetativos del cultivo de ricino (años 2009 y 2010)

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2009	A. ecológica	1	1	112	25	47	9	186.2
2009	A. ecológica	1	2	122	23.5	39	10	186.2
2009	A. ecológica	1	3	115	19	38	15	186.2
2009	A. ecológica	1	4	130	16	30	12	186.2
2009	A. ecológica	1	5	103	25	35	6	186.2
2009	A. ecológica	1	6	111	17	41	10	186.2
2009	A. ecológica	1	7	120	15	40	5	186.2
2009	A. ecológica	1	8	169	13	65	7	186.2
2009	A. ecológica	1	9	110	20	39	10	186.2
2009	A. ecológica	1	10	122	12	47	6	186.2
2009	A. ecológica	2	1	123	17	43	9	223.4
2009	A. ecológica	2	2	127	23	59	10	223.4
2009	A. ecológica	2	3	123	18.5	41	11	223.4
2009	A. ecológica	2	4	129	14.5	41	9	223.4
2009	A. ecológica	2	5	119	26.5	51	10	223.4
2009	A. ecológica	2	6	118	21	41	8	223.4
2009	A. ecológica	2	7	110	21	50	7	223.4
2009	A. ecológica	2	8	108	19.5	37	4	223.4
2009	A. ecológica	2	9	101	15.3	47	4	223.4
2009	A. ecológica	2	10	136	13.5	50	11	223.4
2009	A. ecológica	3	1	117	21	34	7	143.8
2009	A. ecológica	3	2	145	23.5	42	8	143.8
2009	A. ecológica	3	3	102	14	53	6	143.8
2009	A. ecológica	3	4	102	26	36	8	143.8
2009	A. ecológica	3	5	114	11.5	42	5	143.8
2009	A. ecológica	3	6	143	14	60	12	143.8
2009	A. ecológica	3	7	126	15.5	50	7	143.8
2009	A. ecológica	3	8	140	27	48	7	143.8
2009	A. ecológica	3	9	151	18.5	51	6	143.8
2009	A. ecológica	3	10	110	10	50	5	143.8
2009	A. ecológica	4	1	173	18.5	58	10	232.9
2009	A. ecológica	4	2	110	14.5	47	3	232.9
2009	A. ecológica	4	3	135	20.5	46	14	232.9
2009	A. ecológica	4	4	106	16	39	10	232.9
2009	A. ecológica	4	5	102	14	44	8	232.9
2009	A. ecológica	4	6	128	19.8	40	6	232.9
2009	A. ecológica	4	7	84	19.5	34	4	232.9
2009	A. ecológica	4	8	115	12.2	39	7	232.9
2009	A. ecológica	4	9	103	21	40	8	232.9
2009	A. ecológica	4	10	130	14.5	48	13	232.9
2009	A. ecológica	5	1	86	24.4	36	3	160.4
2009	A. ecológica	5	2	120	28	42	4	160.4
2009	A. ecológica	5	3	171	25	58	8	160.4

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2009	A. ecológica	5	4	107	28.2	40	8	160.4
2009	A. ecológica	5	5	127	24.2	49	19	160.4
2009	A. ecológica	5	6	130	19	67	6	160.4
2009	A. ecológica	5	7	107	30.5	44	6	160.4
2009	A. ecológica	5	8	110	24	35	9	160.4
2009	A. ecológica	5	9	155	19	47	16	160.4
2009	A. ecológica	5	10	130	30.5	67	7	160.4
2009	A. ecológica	6	1	137	25.5	61	7	188.9
2009	A. ecológica	6	2	108	13.5	44	8	188.9
2009	A. ecológica	6	3	124	23.5	46	11	188.9
2009	A. ecológica	6	4	130	13	50	5	188.9
2009	A. ecológica	6	5	120	19	40	10	188.9
2009	A. ecológica	6	6	117	20.6	48	6	188.9
2009	A. ecológica	6	7	180	20.4	50	18	188.9
2009	A. ecológica	6	8	119	21.7	44	9	188.9
2009	A. ecológica	6	9	103	33.5	37	7	188.9
2009	A. ecológica	6	10	122	27	45	7	188.9
2009	A. ecológica	7	1	85	23.6	29	7	166.3
2009	A. ecológica	7	2	98	18	41	7	166.3
2009	A. ecológica	7	3	100	21	43	11	166.3
2009	A. ecológica	7	4	105	27.5	50	7	166.3
2009	A. ecológica	7	5	136	18	50	12	166.3
2009	A. ecológica	7	6	160	51	72	5	166.3
2009	A. ecológica	7	7	151	20.9	58	15	166.3
2009	A. ecológica	7	8	113	22	52	12	166.3
2009	A. ecológica	7	9	126	22.5	53	10	166.3
2009	A. ecológica	7	10	122	12.2	50	7	166.3
2009	A. ecológica	8	1	143	14.5	60	6	153.5
2009	A. ecológica	8	2	143	19.5	53	11	153.5
2009	A. ecológica	8	3	115	13	43	7	153.5
2009	A. ecológica	8	4	9	11.5	47	3	153.5
2009	A. ecológica	8	5	112	22	45	8	153.5
2009	A. ecológica	8	6	150	23.5	46	15	153.5
2009	A. ecológica	8	7	107	23	35	6	153.5
2009	A. ecológica	8	8	134	23.4	49	10	153.5
2009	A. ecológica	8	9	137	19.3	45	15	153.5
2009	A. química	8	10	138	26	50	12	153.5
2009	A. química	1	1	157	15.3	55	11	180.3
2009	A. química	1	2	174	14.9	43	14	180.3
2009	A. química	1	3	187	35	70	10	180.3
2009	A. química	1	4	156	24.5	51	14	180.3
2009	A. química	1	5	204	24.5	14	11	180.3
2009	A. química	1	6	156	31	82	8	180.3
2009	A. química	1	7	144	17.7	53	11	180.3
2009	A. química	1	8	136	26	50	11	180.3
2009	A. química	1	9	184	22.7	67	12	180.3

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2009	A. química	1	10	148	25	50	13	180.3
2009	A. química	2	1	135	13.5	56	8	126
2009	A. química	2	2	140	31.3	62	10	126
2009	A. química	2	3	148	20	58	10	126
2009	A. química	2	4	173	23.5	46	6	126
2009	A. química	2	5	160	19.4	54	4	126
2009	A. química	2	6	160	23	60	9	126
2009	A. química	2	7	236	27.2	92	7	126
2009	A. química	2	8	159	18.8	62	15	126
2009	A. química	2	9	98	9.9	45	2	126
2009	A. química	2	10	94	16	54	3	126
2009	A. química	3	1	156	22.3	38	19	272.5
2009	A. química	3	2	135	17.4	67	5	272.5
2009	A. química	3	3	173	26.7	51	21	272.5
2009	A. química	3	4	149	17.3	53	13	272.5
2009	A. química	3	5	110	24.1	46	5	272.5
2009	A. química	3	6	144	18.5	55	8	272.5
2009	A. química	3	7	134	27	49	7	272.5
2009	A. química	3	8	148	20.8	56	6	272.5
2009	A. química	3	9	148	18.3	43	12	272.5
2009	A. química	3	10	112	21.3	41	17	272.5
2009	A. química	4	1	133	15	47	10	208
2009	A. química	4	2	117	13.3	40	9	208
2009	A. química	4	3	95	19.3	68	2	208
2009	A. química	4	4	143	25.7	50	12	208
2009	A. química	4	5	147	27.1	70	6	208
2009	A. química	4	6	140	31	45	6	208
2009	A. química	4	7	110	24.5	48	4	208
2009	A. química	4	8	199	25.7	83	10	208
2009	A. química	4	9	146	15	49	11	208
2009	A. química	4	10	137	28	45	19	208
2009	A. química	5	1	195	23.9	60	8	282.7
2009	A. química	5	2	153	15.5	42	19	282.7
2009	A. química	5	3	160	25.5	50	9	282.7
2009	A. química	5	4	213	36	66	14	282.7
2009	A. química	5	5	148	16	50	10	282.7
2009	A. química	5	6	152	12	56	10	282.7
2009	A. química	5	7	136	12	52	12	282.7
2009	A. química	5	8	79	21.2	50	24	282.7
2009	A. química	5	9	146	11.3	31	3	282.7
2009	A. química	5	10	137	20	50	13	282.7
2009	A. química	6	1	132	22	40	10	170.8
2009	A. química	6	2	117	14.5	56	4	170.8
2009	A. química	6	3	120	26	53	5	170.8
2009	A. química	6	4	160	22.5	67	4	170.8
2009	A. química	6	5	116	23.5	49	5	170.8

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2009	A. química	6	6	157	23.2	55	9	170.8
2009	A. química	6	7	128	17	30	10	170.8
2009	A. química	6	8	196	30.4	68	9	170.8
2009	A. química	6	9	97	47	32	3	170.8
2009	A. química	6	10	136	19	52	5	170.8
2009	A. química	7	1	207	25	67	15	392
2009	A. química	7	2	175	24.3	43	15	392
2009	A. química	7	3	182	34.8	54	11	392
2009	A. química	7	4	176	12.6	56	20	392
2009	A. química	7	5	129	26.6	33	19	392
2009	A. química	7	6	139	27.8	54	13	392
2009	A. química	7	7	147	16.9	55	8	392
2009	A. química	7	8	178	14.3	57	13	392
2009	A. química	7	9	168	23.9	47	16	392
2009	A. química	7	10	163	17.2	57	12	392
2009	A. química	8	1	116	29	70	2	247.1
2009	A. química	8	2	165	27	52	7	247.1
2009	A. química	8	3	164	35	56	10	247.1
2009	A. química	8	4	171	29.5	50	14	247.1
2009	A. química	8	5	152	20.8	53	13	247.1
2009	A. química	8	6	123	36.2	43	12	247.1
2009	A. química	8	7	103	21.3	27	14	247.1
2009	A. química	8	8	180	20.3	64	10	247.1
2009	A. química	8	9	135	11.5	42	8	247.1
2009	A. química	8	10	125	19	40	15	247.1
2009	Sin abono	1	1	142	17	50	8	122.9
2009	Sin abono	1	2	113	18.9	34	14	122.9
2009	Sin abono	1	3	115	17	36	9	122.9
2009	Sin abono	1	4	116	21	26	3	122.9
2009	Sin abono	1	5	62	28.5	50	7	122.9
2009	Sin abono	1	6	117	21.5	39	8	122.9
2009	Sin abono	1	7	122	13	47	6	122.9
2009	Sin abono	1	8	130	23.9	51	10	122.9
2009	Sin abono	1	9	130	15	36	11	122.9
2009	Sin abono	1	10	103	11	35	11	122.9
2009	Sin abono	2	1	137	21	60	7	187.6
2009	Sin abono	2	2	109	33.5	45	7	187.6
2009	Sin abono	2	3	99	15	40	20	187.6
2009	Sin abono	2	4	103	15	32	14	187.6
2009	Sin abono	2	5	111	14	43	9	187.6
2009	Sin abono	2	6	133	14.5	48	4	187.6
2009	Sin abono	2	7	110	10.6	39	13	187.6
2009	Sin abono	2	8	97	17.6	50	3	187.6
2009	Sin abono	2	9	105	13.6	39	9	187.6
2009	Sin abono	2	10	116	14.8	48	12	202.2
2009	Sin abono	3	1	81	28	32	12	202.2

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2009	Sin abono	3	2	116	28	42	7	202.2
2009	Sin abono	3	3	119	29	43	5	202.2
2009	Sin abono	3	4	123	20.5	45	7	202.2
2009	Sin abono	3	5	85	26	40	7	202.2
2009	Sin abono	3	6	105	18	46	8	202.2
2009	Sin abono	3	7	100	18	32	6	202.2
2009	Sin abono	3	8	115	16.4	36	7	202.2
2009	Sin abono	3	9	108	13.2	42	5	202.2
2009	Sin abono	3	10	117	20	46	8	169.4
2009	Sin abono	4	1	90	16.5	32	15	169.4
2009	Sin abono	4	2	90	20	36	6	169.4
2009	Sin abono	4	3	100	24	42	7	169.4
2009	Sin abono	4	4	96	20.5	46	10	169.4
2009	Sin abono	4	5	116	9.5	44	12	169.4
2009	Sin abono	4	6	94	11	42	4	169.4
2009	Sin abono	4	7	119	10	47	4	169.4
2009	Sin abono	4	8	103	18.5	33	10	169.4
2009	Sin abono	4	9	84	9.5	40	9	169.4
2009	Sin abono	4	10	89	18.3	38	8	169.4
2009	Sin abono	5	1	99	24	34	7	145.8
2009	Sin abono	5	2	100	19.5	29	5	145.8
2009	Sin abono	5	3	105	21.5	38	7	145.8
2009	Sin abono	5	4	100	19	39	4	145.8
2009	Sin abono	5	5	95	10.5	37	4	145.8
2009	Sin abono	5	6	73	13.2	30	4	145.8
2009	Sin abono	5	7	138	12	50	4	145.8
2009	Sin abono	5	8	72	7.8	30	8	145.8
2009	Sin abono	5	9	101	15.4	33	7	145.8
2009	Sin abono	5	10	77	15	35	10	145.8
2009	Sin abono	6	1	90	24.2	39	7	129.4
2009	Sin abono	6	2	91	10	41	6	129.4
2009	Sin abono	6	3	93	14	34	7	129.4
2009	Sin abono	6	4	102	12.5	40	10	129.4
2009	Sin abono	6	5	97	17.5	41	5	129.4
2009	Sin abono	6	6	109	15	40	7	129.4
2009	Sin abono	6	7	90	17	33	6	129.4
2009	Sin abono	6	8	109	21	42	9	129.4
2009	Sin abono	6	9	92	17.2	30	11	129.4
2009	Sin abono	6	10	83	11.3	23	8	129.4
2009	Sin abono	7	1	114	14	35	8	151.6
2009	Sin abono	7	2	95	26	45	9	151.6
2009	Sin abono	7	3	93	16	33	5	151.6
2009	Sin abono	7	4	99	14.5	44	6	151.6
2009	Sin abono	7	5	100	15	40	6	151.6
2009	Sin abono	7	6	101	17	37	7	151.6
2009	Sin abono	7	7	106	22	49	6	151.6

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2009	Sin abono	7	8	107	29	47	9	151.6
2009	Sin abono	7	9	122	24	74	3	151.6
2009	Sin abono	7	10	138	25	44	10	151.6
2009	Sin abono	8	1	106	12.3	45	6	172.6
2009	Sin abono	8	2	147	23	52	5	172.6
2009	Sin abono	8	3	103	18.7	47	4	172.6
2009	Sin abono	8	4	102	18	38	9	172.6
2009	Sin abono	8	5	105	28.7	41	7	172.6
2009	Sin abono	8	6	95	29	41	6	172.6
2009	Sin abono	8	7	80	21	28	8	172.6
2009	Sin abono	8	8	103	13.6	45	10	172.6
2009	Sin abono	8	9	100	24.3	32	6	172.6
2009	Sin abono	8	10	100	20.5	41	5	172.6
2010	A. ecológica	1	1	99	20	45	3	158.5
2010	A. ecológica	1	2	110	33	50	10	158.5
2010	A. ecológica	1	3	119	40	44	4	158.5
2010	A. ecológica	1	4	128	35	50	12	158.5
2010	A. ecológica	1	5	149	34	64	8	158.5
2010	A. ecológica	1	6	118	30	50	9	158.5
2010	A. ecológica	1	7	143	28	60	4	158.5
2010	A. ecológica	1	8	134	29	60	5	158.5
2010	A. ecológica	1	9	95	45	30	8	158.5
2010	A. ecológica	1	10	82	26	23	7	158.5
2010	A. ecológica	2	1	103	23	32	9	232.5
2010	A. ecológica	2	2	85	27	40	4	232.5
2010	A. ecológica	2	3	110	24	40	4	232.5
2010	A. ecológica	2	4	132	22	39	20	232.5
2010	A. ecológica	2	5	136	20	40	15	232.5
2010	A. ecológica	2	6	112	30	33	8	232.5
2010	A. ecológica	2	7	100	26	40	6	232.5
2010	A. ecológica	2	8	125	29	54	4	232.5
2010	A. ecológica	2	9	103	34	40	7	232.5
2010	A. ecológica	2	10	113	28	45	11	232.5
2010	A. ecológica	3	1	63	28	28	9	173
2010	A. ecológica	3	2	110	25	50	9	173
2010	A. ecológica	3	3	114	24	38	15	173
2010	A. ecológica	3	4	110	23	50	10	173
2010	A. ecológica	3	5	112	42	50	12	173
2010	A. ecológica	3	6	117	30	54	9	173
2010	A. ecológica	3	7	89	26	41	16	173
2010	A. ecológica	3	8	145	29	43	10	173
2010	A. ecológica	3	9	135	34	60	4	173
2010	A. ecológica	3	10	103	28	43	6	173
2010	A. ecológica	4	1	70	25	30	5	92
2010	A. ecológica	4	2	110	38	60	3	92
2010	A. ecológica	4	3	120	36	60	11	92

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2010	A. ecológica	4	4	115	19	55	4	92
2010	A. ecológica	4	5	115	20	50	7	92
2010	A. ecológica	4	6	147	39	60	8	92
2010	A. ecológica	4	7	139	30	50	22	92
2010	A. ecológica	4	8	127	22	50	10	92
2010	A. ecológica	4	9	110	17	60	15	92
2010	A. ecológica	4	10	116	16	40	8	92
2010	A. ecológica	5	1	80	30	38	2	120.5
2010	A. ecológica	5	2	89	35	35	8	120.5
2010	A. ecológica	5	3	112	22	60	3	120.5
2010	A. ecológica	5	4	140	18	75	6	120.5
2010	A. ecológica	5	5	122	17	60	4	120.5
2010	A. ecológica	5	6	125	25	42	12	120.5
2010	A. ecológica	5	7	115	31	37	9	120.5
2010	A. ecológica	5	8	97	36	45	3	120.5
2010	A. ecológica	5	9	115	26	62	5	120.5
2010	A. ecológica	5	10	74	19	38	3	120.5
2010	A. ecológica	6	1	100	18	50	3	139
2010	A. ecológica	6	2	93	31	40	4	139
2010	A. ecológica	6	3	150	40	60	12	139
2010	A. ecológica	6	4	121	29	43	14	139
2010	A. ecológica	6	5	124	25	50	5	139
2010	A. ecológica	6	6	123	30	60	7	139
2010	A. ecológica	6	7	97	23	33	8	139
2010	A. ecológica	6	8	127	20	70	2	139
2010	A. ecológica	6	9	92	19	50	5	139
2010	A. ecológica	6	10	104	24	48	4	139
2010	A. ecológica	7	1	82	28	54	4	111.6
2010	A. ecológica	7	2	110	19	55	5	111.6
2010	A. ecológica	7	3	100	29	50	7	111.6
2010	A. ecológica	7	4	125	17	60	3	111.6
2010	A. ecológica	7	5	110	25	46	11	111.6
2010	A. ecológica	7	6	105	32	50	7	111.6
2010	A. ecológica	7	7	122	26	40	10	111.6
2010	A. ecológica	7	8	125	15	60	7	111.6
2010	A. ecológica	7	9	110	22	64	4	111.6
2010	A. ecológica	7	10	74	18	30	5	111.6
2010	A. ecológica	8	1	97	30	43	5	98.1
2010	A. ecológica	8	2	100	31	32	10	98.1
2010	A. ecológica	8	3	72	15	24	3	98.1
2010	A. ecológica	8	4	106	19	33	10	98.1
2010	A. ecológica	8	5	146	22	50	12	98.1
2010	A. ecológica	8	6	134	25	50	13	98.1
2010	A. ecológica	8	7	100	20	40	6	98.1
2010	A. ecológica	8	8	105	16	40	5	98.1
2010	A. ecológica	8	9	140	24	60	8	98.1

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2010	A. ecológica	8	10	123	23	60	5	98.1
2010	A. química	1	1	95	35	31	14	226.5
2010	A. química	1	2	100	22	42	5	226.5
2010	A. química	1	3	200	18	78	5	226.5
2010	A. química	1	4	110	27	40	5	226.5
2010	A. química	1	5	125	31	50	7	226.5
2010	A. química	1	6	128	24	46	15	226.5
2010	A. química	1	7	153	17	60	8	226.5
2010	A. química	1	8	133	27	50	9	226.5
2010	A. química	1	9	143	24	47	13	226.5
2010	A. química	1	10	114	24	50	4	226.5
2010	A. química	2	1	100	19	34	10	231
2010	A. química	2	2	100	17	40	8	231
2010	A. química	2	3	140	28	70	6	231
2010	A. química	2	4	100	25	40	5	231
2010	A. química	2	5	170	28	65	7	231
2010	A. química	2	6	150	16	50	6	231
2010	A. química	2	7	155	18	50	5	231
2010	A. química	2	8	170	13	57	12	231
2010	A. química	2	9	150	26	45	12	231
2010	A. química	2	10	120	23	30	8	231
2010	A. química	3	1	58	21	30	4	146
2010	A. química	3	2	110	21	40	6	146
2010	A. química	3	3	100	24	70	2	146
2010	A. química	3	4	100	23	40	4	146
2010	A. química	3	5	110	26	40	6	146
2010	A. química	3	6	127	19	42	10	146
2010	A. química	3	7	123	29	48	5	146
2010	A. química	3	8	129	28	40	10	146
2010	A. química	3	9	121	16	39	10	146
2010	A. química	3	10	99	16	28	9	146
2010	A. química	4	1	87	22	50	1	107
2010	A. química	4	2	74	24	45	3	107
2010	A. química	4	3	120	26	48	9	107
2010	A. química	4	4	130	17	54	3	107
2010	A. química	4	5	150	32	64	3	107
2010	A. química	4	6	170	16	60	6	107
2010	A. química	4	7	130	27	40	7	107
2010	A. química	4	8	140	39	45	16	107
2010	A. química	4	9	170	54	80	4	107
2010	A. química	4	10	150	38	57	5	107
2010	A. química	5	1	74	16	31	5	80.5
2010	A. química	5	2	142	28	70	4	80.5
2010	A. química	5	3	110	30	34	5	80.5
2010	A. química	5	4	107	19	40	10	80.5
2010	A. química	5	5	147	14	50	10	80.5

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2010	A. química	5	6	119	15	60	5	80.5
2010	A. química	5	7	124	21	49	6	80.5
2010	A. química	5	8	92	24	35	7	80.5
2010	A. química	5	9	88	22	40	7	80.5
2010	A. química	5	10	64	22	30	3	80.5
2010	A. química	6	1	80	28	37	4	41
2010	A. química	6	2	110	24	41	10	41
2010	A. química	6	3	70	23	34	3	41
2010	A. química	6	4	90	22	54	3	41
2010	A. química	6	5	115	20	40	7	41
2010	A. química	6	6	140	21	64	8	41
2010	A. química	6	7	100	27	35	6	41
2010	A. química	6	8	110	19	47	5	41
2010	A. química	6	9	70	18	40	2	41
2010	A. química	6	10	72	13	40	2	41
2010	A. química	7	1	77	28	30	3	132
2010	A. química	7	2	94	24	40	4	132
2010	A. química	7	3	90	18	42	3	132
2010	A. química	7	4	108	35	36	6	132
2010	A. química	7	5	104	20	34	7	132
2010	A. química	7	6	138	16	46	15	132
2010	A. química	7	7	120	19	34	12	132
2010	A. química	7	8	115	39	52	3	132
2010	A. química	7	9	66	29	22	4	132
2010	A. química	7	10	104	22	37	5	132
2010	A. química	8	1	170	24	45	3	110.7
2010	A. química	8	2	80	22	47	3	110.7
2010	A. química	8	3	85	20	30	3	110.7
2010	A. química	8	4	85	19	40	3	110.7
2010	A. química	8	5	88	26	30	3	110.7
2010	A. química	8	6	80	21	45	7	110.7
2010	A. química	8	7	80	18	30	7	110.7
2010	A. química	8	8	112	25	44	5	110.7
2010	A. química	8	9	102	26	42	6	110.7
2010	A. química	8	10	112	16	40	8	110.7
2010	Sin abono	1	1	100	52	38	4	110.7
2010	Sin abono	1	2	100	24	50	13	110.7
2010	Sin abono	1	3	120	25	50	10	161.5
2010	Sin abono	1	4	140	21	50	5	161.5
2010	Sin abono	1	5	130	34	50	4	161.5
2010	Sin abono	1	6	90	12	29	9	161.5
2010	Sin abono	1	7	120	44	54	4	161.5
2010	Sin abono	1	8	117	26	60	3	161.5
2010	Sin abono	1	9	90	18	30	11	161.5
2010	Sin abono	1	10	110	32	40	4	161.5
2010	Sin abono	2	1	88	24	40	7	208.5

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2010	Sin abono	2	2	120	22	47	9	208.5
2010	Sin abono	2	3	100	31	28	7	208.5
2010	Sin abono	2	4	110	30	15	7	208.5
2010	Sin abono	2	5	130	15	10	6	208.5
2010	Sin abono	2	6	105	20	40	5	208.5
2010	Sin abono	2	7	150	33	65	6	208.5
2010	Sin abono	2	8	130	50	50	6	208.5
2010	Sin abono	2	9	105	23	25	9	208.5
2010	Sin abono	2	10	100	21	30	12	208.5
2010	Sin abono	3	1	90	25	30	6	130.5
2010	Sin abono	3	2	105	40	20	7	130.5
2010	Sin abono	3	3	120	21	40	15	130.5
2010	Sin abono	3	4	140	20	60	9	130.5
2010	Sin abono	3	5	90	42	30	8	130.5
2010	Sin abono	3	6	137	19	60	5	130.5
2010	Sin abono	3	7	140	25	65	4	130.5
2010	Sin abono	3	8	110	30	40	5	130.5
2010	Sin abono	3	9	110	42	10	6	130.5
2010	Sin abono	3	10	135	22	50	6	130.5
2010	Sin abono	4	1	30	28	10	3	154
2010	Sin abono	4	2	100	21	50	4	154
2010	Sin abono	4	3	100	21	40	9	154
2010	Sin abono	4	4	110	17	17	7	154
2010	Sin abono	4	5	90	36	40	3	154
2010	Sin abono	4	6	100	18	10	4	154
2010	Sin abono	4	7	100	40	10	6	154
2010	Sin abono	4	8	85	24	30	4	154
2010	Sin abono	4	9	90	18	10	7	154
2010	Sin abono	4	10	90	37	30	6	154
2010	Sin abono	5	1	60	29	40	3	83.1
2010	Sin abono	5	2	90	30	45	3	83.1
2010	Sin abono	5	3	100	14	30	10	83.1
2010	Sin abono	5	4	100	24	40	9	83.1
2010	Sin abono	5	5	100	30	40	3	83.1
2010	Sin abono	5	6	100	24	50	4	83.1
2010	Sin abono	5	7	100	16	40	3	83.1
2010	Sin abono	5	8	80	34	40	2	83.1
2010	Sin abono	5	9	100	37	60	2	83.1
2010	Sin abono	5	10	75	19	50	1	83.1
2010	Sin abono	6	1	80	35	35	3	100.4
2010	Sin abono	6	2	70	33	30	3	100.4
2010	Sin abono	6	3	70	30	30	1	100.4
2010	Sin abono	6	4	100	19	50	2	100.4
2010	Sin abono	6	5	50	17	30	5	100.4
2010	Sin abono	6	6	80	33	40	1	100.4
2010	Sin abono	6	7	120	16	50	10	100.4

ANEXOS DATOS

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	T. Racimo	Ins.1ºRac	NºRacimo	Peso semilla(g)
2010	Sin abono	6	8	90	14	20	12	100.4
2010	Sin abono	6	9	90	21	30	6	100.4
2010	Sin abono	6	10	40	15	20	3	100.4
2010	Sin abono	7	1	70	33	30	6	80.5
2010	Sin abono	7	2	140	19	40	9	80.5
2010	Sin abono	7	3	110	22	40	6	80.5
2010	Sin abono	7	4	100	37	40	6	80.5
2010	Sin abono	7	5	65	23	40	1	80.5
2010	Sin abono	7	6	70	38	40	1	80.5
2010	Sin abono	7	7	70	40	30	4	80.5
2010	Sin abono	7	8	70	27	30	2	80.5
2010	Sin abono	7	9	90	32	30	5	80.5
2010	Sin abono	7	10	50	17	30	1	80.5
2010	Sin abono	8	1	50	14	30	1	111
2010	Sin abono	8	2	90	40	40	3	111
2010	Sin abono	8	3	70	20	40	1	111
2010	Sin abono	8	4	70	18	40	2	111
2010	Sin abono	8	5	50	33	30	1	111
2010	Sin abono	8	6	50	23	20	3	111
2010	Sin abono	8	7	70	31	30	3	111
2010	Sin abono	8	8	90	24	40	1	111
2010	Sin abono	8	9	67	26	20	7	111
2010	Sin abono	8	10	98	18	50	2	111

Tabla 33. Valores vegetativos del cultivo de girasol (años 2009 y 2010)

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	Ø Tallo	Ø Capítulo	Peso semilla(g)	
2009	A. ecológica	1	1	127	2.1	21.5	90.2	
2009	A. ecológica	1	2	144	2.3	20	90.2	
2009	A. ecológica	1	3	142.5	1.8	17.5	90.2	
2009	A. ecológica	1	4	166	1.8	15.5	90.2	
2009	A. ecológica	1	5	151	2.6	22.5	90.2	
2009	A. ecológica	1	6	155	2.0	19.5	90.2	
2009	A. ecológica	1	7	163	1.9	17	90.2	
2009	A. ecológica	1	8	148	1.8	19	90.2	
2009	A. ecológica	1	9	150	1.8	19	90.2	
2009	A. ecológica	1	10	161.5	1.9	18	90.2	
2009	A. ecológica	2	1	160	3.0	20	101.7	
2009	A. ecológica	2	2	153	2.1	19	101.7	
2009	A. ecológica	2	3	127	1.8	17	101.7	
2009	A. ecológica	2	4	145	2.3	23	101.7	
2009	A. ecológica	2	5	144	2.0	16.5	101.7	
2009	A. ecológica	2	6	164	2.2	21.5	101.7	
2009	A. ecológica	2	7	148	2.0	21.5	101.7	
2009	A. ecológica	2	8	158.5	2.5	22.5	101.7	
2009	A. ecológica	2	9	161	2.1	19	101.7	
2009	A. ecológica	2	10	152	2.6	22	101.7	
2009	A. ecológica	3	1	159	2.0	18	89.6	
2009	A. ecológica	3	2	149	2.0	16	89.6	
2009	A. ecológica	3	3	138	2.2	18.5	89.6	
2009	A. ecológica	3	4	133	2.1	20	89.6	
2009	A. ecológica	3	5	135	1.8	17	89.6	
2009	A. ecológica	3	6	129	1.6	18	89.6	
2009	A. ecológica	3	7	160	2.2	20	89.6	
2009	A. ecológica	3	8	178.5	2.5	18.5	89.6	
2009	A. ecológica	3	9	153.5	2.0	19	89.6	
2009	A. ecológica	3	10	154	2.3	20.5	89.6	
2009	A. ecológica	4	1	119	2.1	17.5	80	
2009	A. ecológica	4	2	163	2.7	24	80	
2009	A. ecológica	4	3	132	2.0	20	80	
2009	A. ecológica	4	4	161	2.2	21.5	80	
2009	A. ecológica	4	5	161	2.5	23	80	
2009	A. ecológica	4	6	131	1.7	15	80	
2009	A. ecológica	4	7	148.5	1.6	17.5	80	
2009	A. ecológica	4	8	160	2.0	21.5	80	
2009	A. ecológica	4	9	142.5	1.8	15.5	80	
2009	A. ecológica	4	10	175.5	2.1	19.5	80	
2009	A. ecológica	5	1	160	2.9	22	80	
2009	A. ecológica	5	2	148	2.0	19	89	
2009	A. ecológica	5	3	138	2.5	24	89	
2009	A. ecológica	5	4	161	2.4	23	89	

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	Ø Tallo	Ø Capítulo	Peso semilla(g)
2009	A. ecológica	5	5	174.5	2.2	21	89
2009	A. ecológica	5	6	130	1.5	5.5	89
2009	A. ecológica	5	7	160	2.0	21	89
2009	A. ecológica	5	8	148.5	1.7	17	89
2009	A. ecológica	5	9	140.5	1.7	15.5	89
2009	A. ecológica	5	10	170	1.9	18	89
2009	A. ecológica	6	1	159.5	2.3	21	100.2
2009	A. ecológica	6	2	167.5	2.4	21	100.2
2009	A. ecológica	6	3	128	2.1	21.5	100.2
2009	A. ecológica	6	4	130	1.8	22.5	100.2
2009	A. ecológica	6	5	164.5	2.2	21	100.2
2009	A. ecológica	6	6	150.5	1.8	18	100.2
2009	A. ecológica	6	7	136	1.9	19	100.2
2009	A. ecológica	6	8	163.5	2.4	19	100.2
2009	A. ecológica	6	9	161	1.8	14	100.2
2009	A. ecológica	6	10	167	2.5	18	100.2
2009	A. ecológica	7	1	182.5	2.5	23	97.4
2009	A. ecológica	7	2	147	1.7	17	97.4
2009	A. ecológica	7	3	154	2.2	22	97.4
2009	A. ecológica	7	4	142	1.8	18	97.4
2009	A. ecológica	7	5	145	1.6	16.5	97.4
2009	A. ecológica	7	6	157	1.8	20.5	97.4
2009	A. ecológica	7	7	172	2.3	22	97.4
2009	A. ecológica	7	8	164	1.9	17	97.4
2009	A. ecológica	7	9	190	2.4	24	97.4
2009	A. ecológica	7	10	193	2.7	26	97.4
2009	A. ecológica	8	1	161	2.7	25	97.4
2009	A. ecológica	8	2	147	1.8	19	81.3
2009	A. ecológica	8	3	151	2.6	25.5	81.3
2009	A. ecológica	8	4	143	2.0	18.5	81.3
2009	A. ecológica	8	5	151	1.8	19.5	81.3
2009	A. ecológica	8	6	156	2.0	21.5	81.3
2009	A. ecológica	8	7	198	2.5	20.5	81.3
2009	A. ecológica	8	8	149	2.1	20	81.3
2009	A. ecológica	8	9	197	2.4	22.5	81.3
2009	A. ecológica	8	10	167	2.3	22	81.3
2009	A. ecológica	9	1	143	2.5	20	81.3
2009	A. ecológica	9	2	144	1.8	17	120.7
2009	A. ecológica	9	3	154	2.5	16.5	120.7
2009	A. ecológica	9	4	155	2.0	18.3	120.7
2009	A. ecológica	9	5	128	2.1	20	120.7
2009	A. ecológica	9	6	147	2.0	19.5	120.7
2009	A. ecológica	9	7	172	2.4	21.5	120.7
2009	A. ecológica	9	8	200	2.2	21.5	120.7
2009	A. ecológica	9	9	161	1.8	16	120.7
2009	A. ecológica	9	10	169	2.5	23	120.7

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	Ø Tallo	Ø Capítulo	Peso semilla(g)
2009	A. ecológica	10	1	141	2.1	20.5	82.2
2009	A. ecológica	10	2	154	2.5	23	82.2
2009	A. ecológica	10	3	123.5	1.5	13	82.2
2009	A. ecológica	10	4	121	1.7	16.5	82.2
2009	A. ecológica	10	5	160	2.2	20.5	82.2
2009	A. ecológica	10	6	135	2.1	19	82.2
2009	A. ecológica	10	7	161	2.5	23	82.2
2009	A. ecológica	10	8	139	2.4	17	82.2
2009	A. ecológica	10	9	145	2.4	20	82.2
2009	A. ecológica	10	10	167	2.1	20.5	82.2
2009	A. química	1	1	152	2.5	20	100.9
2009	A. química	1	2	163	3.2	25	100.9
2009	A. química	1	3	180	2.9	22	100.9
2009	A. química	1	4	175	3.2	24	100.9
2009	A. química	1	5	146	3.2	24	100.9
2009	A. química	1	6	166	2.9	19.5	100.9
2009	A. química	1	7	180	2.9	22	100.9
2009	A. química	1	8	163	3.0	22.5	100.9
2009	A. química	1	9	182	3.0	19	100.9
2009	A. química	1	10	154	2.7	19.5	100.9
2009	A. química	2	1	156	3.0	22	99.5
2009	A. química	2	2	157	3.2	23	99.5
2009	A. química	2	3	155	3.2	13.5	99.5
2009	A. química	2	4	175	2.7	22	99.5
2009	A. química	2	5	186	2.9	22	99.5
2009	A. química	2	6	181	3.0	21	99.5
2009	A. química	2	7	164	2.5	15	99.5
2009	A. química	2	8	167	3.2	23	99.5
2009	A. química	2	9	136	3.0	24	99.5
2009	A. química	2	10	144	2.5	18	99.5
2009	A. química	3	1	151	3.2	15	98.7
2009	A. química	3	2	172	3.5	24	98.7
2009	A. química	3	3	170	3.3	24	98.7
2009	A. química	3	4	147.5	3.2	21	98.7
2009	A. química	3	5	142.5	2.6	16	98.7
2009	A. química	3	6	184	3.6	22	98.7
2009	A. química	3	7	170	3.0	21	98.7
2009	A. química	3	8	175	2.4	18.3	98.7
2009	A. química	3	9	187	3.6	26	98.7
2009	A. química	3	10	160	3.3	24	98.7
2009	A. química	4	1	164	3.7	23	123.1
2009	A. química	4	2	188.5	3.0	24	123.1
2009	A. química	4	3	178.5	2.9	20	123.1
2009	A. química	4	4	164	2.5	19	123.1
2009	A. química	4	5	182	3.1	23	123.1
2009	A. química	4	6	178.5	3.3	22	123.1

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura	Ø	Ø Carataria	Peso
2000				planta	Tallo	Capítulo	semilla(g)
2009 2009	A. química A. química	4 4	7 8	150 173	2.9 2.9	22 18	123.1 123.1
2009	A. química A. química	4	9	152	3.2	22	123.1
2009	A. química A. química	4	10	148	3.5	24.3	123.1
2009	A. química A. química	5	10	144		24.3	144.5
			2	144	2.7		
2009	A. química	5			3.2	19.5	144.5
2009	A. química	5	3	147.5	3.6	26.8	144.5
2009	A. química	5	4	175	3.1	26	144.5
2009	A. química	5	5	160	3.7	23	144.5
2009	A. química	5	6	172	3.0	22	144.5
2009	A. química	5	7	171	2.9	22	144.5
2009	A. química	5	8	157	3.2	25	144.5
2009	A. química	5	9	172	3.2	23	144.5
2009	A. química	5	10	138	2.7	19.5	144.5
2009	A. química	6	1	1.75	3.2	30	101.1
2009	A. química	6	2	1.74	3.5	22.5	101.1
2009	A. química	6	3	174	3.1	22	101.1
2009	A. química	6	4	155	2.5	22	101.1
2009	A. química	6	5	182	3.3	25.2	101.1
2009	A. química	6	6	170	3.3	22	101.1
2009	A. química	6	7	187	3.3	23.5	101.1
2009	A. química	6	8	158	3.4	24	101.1
2009	A. química	6	9	163	2.7	20	101.1
2009	A. química	6	10	132	2.9	19	101.1
2009	A. química	7	1	188	3.5	22.5	80.9
2009	A. química	7	2	196	3.0	19	80.9
2009	A. química	7	3	174	3.2	24	80.9
2009	A. química	7	4	187	3.2	24.2	80.9
2009	A. química	7	5	170	3.8	29	80.9
2009	A. química	7	6	171	3.3	19	80.9
2009	A. química	7	7	177	3.6	24	80.9
2009	A. química	7	8	163.5	3.1	24.5	80.9
2009	A. química	7	9	180	3.6	22.5	80.9
2009	A. química	7	10	174	4.0	24	80.9
2009	A. química	8	1	165	2.9	22	148.8
2009	A. química	8	2	163	3.3	23.8	148.8
2009	A. química	8	3	143	2.5	21	148.8
2009	A. química	8	4	135	2.5	17	148.8
2009	A. química	8	5	156	5.1	23	148.8
2009	A. química	8	6	153	3.0	22	148.8
2009	A. química	8	7	198	3.8	29	148.8
2009	A. química	8	8	178	3.2	25.5	148.8
2009	A. química	8	9	176	3.0	24.5	148.8
2009	A. química	8	10	164	3.5	25	148.8
2009	A. química	9	1	163	2.9	23	113.2
2009	A. química	9	2	167	3.0	24	113.2
	qou		_		5.0		

				Altura	Ø	ø	D
Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	بو Tallo	ب Capítulo	Peso semilla(g)
2009	A. química	9	3	165	2.9	24	113.2
2009	A. química	9	4	144	3.0	22	113.2
2009	A. química	9	5	163	3.2	27	113.2
2009	A. química	9	6	162	3.0	27	113.2
2009	A. química	9	7	168	3.2	23	113.2
2009	A. química	9	8	151	3.0	25	113.2
2009	A. química	9	9	138	3.5	22	113.2
2009	A. química	9	10	165	3.4	29	113.2
2009	A. química	10	1	173	3.0	29	111.5
2009	A. química	10	2	140	3.9	24	111.5
2009	A. química	10	3	144	3.7	22	111.5
2009	A. química	10	4	155	3.2	29	111.5
2009	A. química	10	5	149	3.0	24	111.5
2009	A. química	10	6	177	3.2	26	111.5
2009	A. química	10	7	152	3.5	21.5	111.5
2009	A. química	10	8	167	3.3	23	111.5
2009	A. química	10	9	155	2.9	21	111.5
2009	A. química	10	10	164	3.0	25	111.5
2009	Sin abono	1	1	114	2.7	22	82.3
2009	Sin abono	1	2	127	2.7	18	82.3
2009	Sin abono	1	3	140	2.2	18	82.3
2009	Sin abono	1	4	142	2.2	20	82.3
2009	Sin abono	1	5	132	1.8	17	82.3
2009	Sin abono	1	6	141	2.2	19	82.3
2009	Sin abono	1	7	139	2.1	5.5	82.3
2009	Sin abono	1	8	152	1.9	20	82.3
2009	Sin abono	1	9	140	2.2	7	82.3
2009	Sin abono	1	10	170	2.2	7	82.3
2009	Sin abono	2	1	158	2.4	24	75.6
2009	Sin abono	2	2	128	1.9	25	75.6
2009	Sin abono	2	3	134	3.2	19	75.6
2009	Sin abono	2	4	141	3.0	24	75.6
2009	Sin abono	2	5	132	2.4	20	75.6
2009	Sin abono	2	6	141	3.3	20	75.6
2009	Sin abono	2	7	153	2.9	19	75.6
2009	Sin abono	2	8	155	2.5	22	75.6
2009	Sin abono	2	9	136	3.0	16	75.6
2009	Sin abono	2	10	170	3.5	21	75.6
2009	Sin abono	3	1	135	2.5	22.5	80.3
2009	Sin abono	3	2	159	3.2	18	80.3
2009	Sin abono	3	3	157	2.7	19	80.3
2009	Sin abono	3	4	152	2.2	24	80.3
2009	Sin abono	3	5	127	2.2	16	80.3
2009	Sin abono	3	6	165	2.5	21.5	80.3
2009	Sin abono	3	7	149	1.8	18.5	80.3
2009	Sin abono	3	8	146	2.2	7.5	80.3
_005	3.11 0.00110	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	J	170	۷.۷	7.5	50.5

				Altura	Ø	ø	Peso
Año	Tratamiento	Parcela	Planta	planta	Tallo	Capítulo	semilla(g)
2009	Sin abono	3	9	127	2.1	4.5	80.3
2009	Sin abono	3	10	145	1.9	14.4	80.3
2009	Sin abono	4	1	151.5	1.8	20	64.4
2009	Sin abono	4	2	139.5	1.8	19	64.4
2009	Sin abono	4	3	127	2.2	19	64.4
2009	Sin abono	4	4	175	2.1	25	64.4
2009	Sin abono	4	5	158	1.8	19	64.4
2009	Sin abono	4	6	154.5	2.4	6.5	64.4
2009	Sin abono	4	7	134	2.1	10	64.4
2009	Sin abono	4	8	167.5	1.8	16	64.4
2009	Sin abono	4	9	133	1.4	17	64.4
2009	Sin abono	4	10	114	2.1	15.5	64.4
2009	Sin abono	5	1	139	2.1	22	77.5
2009	Sin abono	5	2	130	1.9	20	77.5
2009	Sin abono	5	3	103	3.5	15.4	77.5
2009	Sin abono	5	4	156	3.0	23.5	77.5
2009	Sin abono	5	5	140	2.4	22	77.5
2009	Sin abono	5	6	128	3.3	19.5	77.5
2009	Sin abono	5	7	154	3.0	20	77.5
2009	Sin abono	5	8	136	2.7	18.5	77.5
2009	Sin abono	5	9	145	2.9	21.5	77.5
2009	Sin abono	5	10	139	3.2	20.5	77.5
2009	Sin abono	6	1	134.5	3.1	9	80
2009	Sin abono	6	2	146.2	2.5	9.8	80
2009	Sin abono	6	3	148	2.7	25.5	80
2009	Sin abono	6	4	196	3.1	28	80
2009	Sin abono	6	5	145	3.3	23.3	80
2009	Sin abono	6	6	130	3.8	17	80
2009	Sin abono	6	7	127	3.3	22.2	80
2009	Sin abono	6	8	105	2.4	14.9	80
2009	Sin abono	6	9	125	1.8	19.5	80
2009	Sin abono	6	10	132	2.5	20.2	80
2009	Sin abono	7	1	148.5	2.7	18.5	100.3
2009	Sin abono	7	2	147	2.7	18.5	100.3
2009	Sin abono	7	3	131	1.9	18	100.3
2009	Sin abono	7	4	133	2.1	15	100.3
2009	Sin abono	7	5	153	1.7	27.5	100.3
2009	Sin abono	7	6	165	1.5	22.2	100.3
2009	Sin abono	7	7	160	2.7	20.7	100.3
2009	Sin abono	7	8	152	2.3	20	100.3
2009	Sin abono	7	9	145	2.0	19	100.3
2009	Sin abono	7	10	163	2.1	27	100.3
2009	Sin abono	8	1	151.5	2.1	22.5	67.9
2009	Sin abono	8	2	141	2.5	19.2	67.9
2009	Sin abono	8	3	127	2.2	19.7	67.9
2009	Sin abono	8	4	123	2.2	16.7	67.9

				Altura	ø	ø	Dono
Año	Tratamiento	Parcela	Planta	planta	بو Tallo	ب Capítulo	Peso semilla(g)
2009	Sin abono	8	5	148	1.9	22	67.9
2009	Sin abono	8	6	161	1.8	23.3	67.9
2009	Sin abono	8	7	161.5	2.1	21.1	67.9
2009	Sin abono	8	8	124.8	2.8	18	67.9
2009	Sin abono	8	9	155.9	2.0	20.5	67.9
2009	Sin abono	8	10	114	2.1	13.5	67.9
2009	Sin abono	9	1	121	2.2	14	76
2009	Sin abono	9	2	156	1.5	21	76
2009	Sin abono	9	3	175	2.1	26	76
2009	Sin abono	9	4	128	2.9	18	76
2009	Sin abono	9	5	128	3.1	19	76
2009	Sin abono	9	6	141	0.8	18	76
2009	Sin abono	9	7	127	2.4	18	76
2009	Sin abono	9	8	149	2.5	23.9	76
2009	Sin abono	9	9	160	2.9	20.5	76
2009	Sin abono	9	10	155	3.2	26	76
2009	Sin abono	10	1	123	3.3	17.5	88.4
2009	Sin abono	10	2	143	3.5	24	88.4
2009	Sin abono	10	3	145	3.0	18.5	88.4
2009	Sin abono	10	4	130	2.9	16	88.4
2009	Sin abono	10	5	148.5	2.9	293	88.4
2009	Sin abono	10	6	128.5	2.2	19	88.4
2009	Sin abono	10	7	117.5	2.9	8.5	88.4
2009	Sin abono	10	8	168	2.5	25	88.4
2009	Sin abono	10	9	134.6	2.5	20.7	88.4
2009	Sin abono	10	10	145.2	3.3	19.7	88.4
2010	A. ecológica	1	1	165	2.8	29	164.3
2010	A. ecológica	1	2	132	1.6	15	164.3
2010	A. ecológica	1	3	150	2.2	24.5	164.3
2010	A. ecológica	1	4	149	1.7	20	164.3
2010	A. ecológica	1	5	130	1.4	18	164.3
2010	A. ecológica	1	6	110	0.6	11	164.3
2010	A. ecológica	1	7	186	2	22	164.3
2010	A. ecológica	1	8	102	1.6	18	164.3
2010	A. ecológica	1	9	119	0.8	16	164.3
2010	A. ecológica	1	10	159	1.8	20	164.3
2010	A. ecológica	2	1	126	1.4	17	124
2010	A. ecológica	2	2	133	1.7	18	124
2010	A. ecológica	2	3	135	1.3	15	124
2010	A. ecológica	2	4	142	1.5	18	124
2010	A. ecológica	2	5	155	1.4	20	124
2010	A. ecológica	2	6	142	1.3	18	124
2010	A. ecológica	2	7	145	1.1	17	124
2010	A. ecológica	2	8	165	1.5	24	124
2010	A. ecológica	2	9	150	2	19	124
2010	A. ecológica	2	10	153	2.8	24	124
	223.00.00						·

				Altura	ø	ø	Peso
Año	Tratamiento	Parcela	Planta	planta	Tallo	Capítulo	semilla(g)
2010	A. ecológica	3	1	125	2.2	19	96.5
2010	A. ecológica	3	2	150	1.7	17	96.5
2010	A. ecológica	3	3	155	2	16	96.5
2010	A. ecológica	3	4	130	1.4	16	96.5
2010	A. ecológica	3	5	157	2	19	96.5
2010	A. ecológica	3	6	150	1.7	28	96.5
2010	A. ecológica	3	7	138	1.6	14	96.5
2010	A. ecológica	3	8	134	1.5	17	96.5
2010	A. ecológica	3	9	148	1.4	17	96.5
2010	A. ecológica	3	10	144	1.6	14	96.5
2010	A. ecológica	4	1	123	1.6	15	87.7
2010	A. ecológica	4	2	147	2	19	87.7
2010	A. ecológica	4	3	130.00	1.3	14	87.7
2010	A. ecológica	4	4	156	1.7	17	87.7
2010	A. ecológica	4	5	160	2.3	23	87.7
2010	A. ecológica	4	6	156	2.7	20	87.7
2010	A. ecológica	4	7	152	1.6	18	87.7
2010	A. ecológica	4	8	144	2.1	20	87.7
2010	A. ecológica	4	9	142	2.2	20.5	87.7
2010	A. ecológica	4	10	160	1.8	29	87.7
2010	A. ecológica	5	1	130	1.8	28	94.1
2010	A. ecológica	5	2	152	3.4	19	94.1
2010	A. ecológica	5	3	138	1.3	17	94.1
2010	A. ecológica	5	4	139	2.2	22	94.1
2010	A. ecológica	5	5	155	1.9	22	94.1
2010	A. ecológica	5	6	149	2.4	18	94.1
2010	A. ecológica	5	7	135	1.7	18	94.1
2010	A. ecológica	5	8	82	0.8	12	94.1
2010	A. ecológica	5	9	127	2	17	94.1
2010	A. ecológica	5	10	126	2.8	20	94.1
2010	A. ecológica	6	1	148	2.6	27	98.1
2010	A. ecológica	6	2	148	2.1	20	98.1
2010	A. ecológica	6	3	123	1.2	14	98.1
2010	A. ecológica	6	4	153	1.6	19	98.1
2010	A. ecológica	6	5	150	1.8	18	98.1
2010	A. ecológica	6	6	144	2.2	21	98.1
2010	A. ecológica	6	7	150	1.9	20	98.1
2010	A. ecológica	6	8	135	1.5	15	98.1
2010	A. ecológica	6	9	125	1.4	18	98.1
2010	A. ecológica	6	10	126	1.9	15	98.1
2010	A. ecológica	7	1	144	1.2	20	125.6
2010	A. ecológica	7	2	160	1.2	17	125.6
2010	A. ecológica	7	3	150	2.1	20	125.6
2010	A. ecológica	7	4	126	1.8	15	125.6
2010	A. ecológica	7	5	153	1.7	20	125.6
2010	A. ecológica	7	6	147	2.5	25	125.6
2010	A. CCOIUgica	,	<u> </u>	14/	۷.5	۷.	123.0

				Altura	ø	ø	Dana
Año	Tratamiento	Parcela	Planta	planta	ب Tallo	بر Capítulo	Peso semilla(g)
2010	A. ecológica	7	7	128	1.6	16	125.6
2010	A. ecológica	7	8	174	2.5	24	125.6
2010	A. ecológica	7	9	110	0.8	11	125.6
2010	A. ecológica	7	10	161	2.3	24.5	125.6
2010	A. ecológica	8	1	140	1.5	19	146.7
2010	A. ecológica	8	2	136	2.3	21	146.7
2010	A. ecológica	8	3	140	2	21	146.7
2010	A. ecológica	8	4	144	1.3	17	146.7
2010	A. ecológica	8	5	159	3.2	22	146.7
2010	A. ecológica	8	6	130	0.9	13	146.7
2010	A. ecológica	8	7	140	1.2	16	146.7
2010	A. ecológica	8	8	146	2.4	18	146.7
2010	A. ecológica	8	9	122	0.6	12	146.7
2010	A. ecológica	8	10	130	0.9	13	146.7
2010	A. ecológica	9	1	170	1.5	22	165.8
2010	A. ecológica	9	2	155	2	25	165.8
2010	A. ecológica	9	3	122	2.5	20	165.8
2010	A. ecológica	9	4	153	1.5	18	165.8
2010	A. ecológica	9	5	163	1.5	16	165.8
2010	A. ecológica	9	6	151	2.2	21	165.8
2010	A. ecológica	9	7	144	2	19	165.8
2010	A. ecológica	9	8	163	2.5	21	165.8
2010	A. ecológica	9	9	148	1.5	11	165.8
2010	A. ecológica	9	10	130	0.9	13	165.8
2010	A. ecológica	10	1	130	2.3	20	143.2
2010	A. ecológica	10	2	148	2.2	26	143.2
2010	A. ecológica	10	3	130	1.5	15	143.2
2010	A. ecológica	10	4	157	1.6	23	143.2
2010	A. ecológica	10	5	118	1.7	13	143.2
2010	A. ecológica	10	6	154	1.5	21	143.2
2010	A. ecológica	10	7	143	2	18	143.2
2010	A. ecológica	10	8	162	1.8	22	143.2
2010	A. ecológica	10	9	163	2.3	18	143.2
2010	A. ecológica	10	10	123	1.5	18	143.2
2010	A. química	1	1	127	1.4	19	91
2010	A. química	1	2	145	1.8	26	91
2010	A. química	1	3	135	1.4	18	91
2010	A. química	1	4	145	1.5	20	91
2010	A. química	1	5	142	2	20	91
2010	A. química	1	6	130	1.2	28	91
2010	A. química A. química	1	7	127	1.2	27	91
2010	A. química A. química	1	8	136	1.1	28	91
2010	A. química A. química	1	9	137	1.1	20	91
2010	A. química A. química	1	9 10	153	2.1	23	91
2010	A. química A. química	2	10	100	2.1 1.7	23 18	122.2
2010	A. química	2	2	128	1.8	20	122.2

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura	ø	Ø	Peso
				planta	Tallo	Capítulo	semilla(g)
2010 2010	A. química A. química	2 2	3 4	120 120	1.4 0.6	20 12	122.2 122.2
2010	A. química A. química	2	5	130	1.7	20	122.2
2010	A. química A. química	2	6	145	1.7	20 15	122.2
2010	A. química A. química	2	7	160	2	25	122.2
2010	A. química A. química		8				
	· ·	2	_	880	1.5	20	122.2
2010	A. química	2	9	160	2.8	24	122.2
2010	A. química	2	10	122	1.5	14.5	122.2
2010	A. química	3	1	125	1.3	22	165.4
2010	A. química	3	2	180	3	25	165.4
2010	A. química	3	3	100	1.3	12.5	165.4
2010	A. química	3	4	120	1	14	165.4
2010	A. química	3	5	95	1.2	11.5	165.4
2010	A. química	3	6	138	1.8	20	165.4
2010	A. química	3	7	150	2	21	165.4
2010	A. química	3	8	129	1	19	165.4
2010	A. química	3	9	130	1.6	21	165.4
2010	A. química	3	10	122	1.4	18	165.4
2010	A. química	4	1	150	2.6	29	123
2010	A. química	4	2	140	1.5	13.5	123
2010	A. química	4	3	140	1.4	18	123
2010	A. química	4	4	123	1.5	12.5	123
2010	A. química	4	5	148	2	18	123
2010	A. química	4	6	143	1.8	14.9	123
2010	A. química	4	7	120	1.5	17	123
2010	A. química	4	8	167	2.5	22	123
2010	A. química	4	9	125	1.4	22	123
2010	A. química	4	10	116	0.5	12	123
2010	A. química	5	1	142	1.4	17	101.2
2010	A. química	5	2	165	2.8	25	101.2
2010	A. química	5	3	133	1.1	14	101.2
2010	A. química	5	4	140	2	20	101.2
2010	A. química	5	5	148	1.3	16	101.2
2010	A. química	5	6	127	1.1	17	101.2
2010	A. química	5	7	134	1.6	22	101.2
2010	A. química	5	8	160	2	22	101.2
2010	A. química	5	9	125	1.1	16	101.2
2010	A. química	5	10	165	2	22	101.2
2010	A. química	6	1	135	1.35	29	97.6
2010	A. química	6	2	125	1.25	17	97.6
2010	A. química	6	3	136	1.36	22	97.6
2010	A. química	6	4	112	1.12	17	97.6
2010	A. química	6	5	140	1.4	21	97.6
2010	A. química	6	6	157	1.57	23	97.6
2010	A. química	6	7	115	1.15	17	97.6
2010	A. química	6	8	103	1.03	15	97.6

				Altura	Ø	ø	Peso
Año	Tratamiento	Parcela	Planta	planta	Tallo	و Capítulo	semilla(g)
2010	A. química	6	9	110	1.1	12	97.6
2010	A. química	6	10	145	1.45	26	97.6
2010	A. química	7	1	130	1.3	22	90.5
2010	A. química	7	2	165	1.65	26	90.5
2010	A. química	7	3	137	1.37	21	90.5
2010	A. química	7	4	110	1.1	16	90.5
2010	A. química	7	5	136	1.36	22	90.5
2010	A. química	7	6	109	1.09	13	90.5
2010	A. química	7	7	131	1.31	19	90.5
2010	A. química	7	8	130	1.3	20	90.5
2010	A. química	7	9	130	1.3	18	90.5
2010	A. química	7	10	138	1.38	20	90.5
2010	A. química	8	1	128	1.28	26	84.3
2010	A. química	8	2	108	1.08	14	84.3
2010	A. química	8	3	140	1.4	22	84.3
2010	A. química	8	4	117	1.17	17	84.3
2010	A. química	8	5	143	1.43	25	84.3
2010	A. química	8	6	116	1.16	17	84.3
2010	A. química	8	7	125	1.25	18	84.3
2010	A. química	8	8	135	1.35	20	84.3
2010	A. química	8	9	137	1.37	18	84.3
2010	A. química	8	10	131	1.31	20	84.3
2010	A. química	9	1	135	1.35	17	153.2
2010	A. química	9	2	143	1.43	22	153.2
2010	A. química	9	3	123	1.23	21	153.2
2010	A. química	9	4	146	1.46	23	153.2
2010	A. química	9	5	128	1.28	17	153.2
2010	A. química	9	6	140	1.4	20	153.2
2010	A. química	9	7	107	1.07	16	153.2
2010	A. química	9	8	106	1.06	17	153.2
2010	A. química	9	9	147	1.47	25	153.2
2010	A. química	9	10	114	1.14	14	153.2
2010	A. química	10	1	163	1.63	25	154.4
2010	A. química	10	2	127	1.27	17	154.4
2010	A. química	10	3	143	1.43	22	154.4
2010	A. química	10	4	142	1.42	21	154.4
2010	A. química	10	5	128	1.28	18	154.4
2010	A. química	10	6	109	1.09	12	154.4
2010	A. química	10	7	118	1.18	18	154.4
2010	A. química A. química	10	8	125	1.25	19	154.4
2010	A. química A. química	10	9	130	1.23	16	154.4
2010	A. química A. química	10	10	130	1.3	22	154.4
2010	Sin abono	10	10	120	2.5	18	76.2
2010	Sin abono	1	2	120	1.1	21	76.2 76.2
2010	Sin abono	1	3	120	1.1	15	76.2 76.2
2010	Sin abono	1	4	117	0.9	19	76.2

				Altura	Ø	ø	Peso
Año	Tratamiento	Parcela	Planta	planta	Tallo	Capítulo	semilla(g)
2010	Sin abono	1	5	130	1.1	17	76.2
2010	Sin abono	1	6	84	1	8	76.2
2010	Sin abono	1	7	68	0.7	15	76.2
2010	Sin abono	1	8	115	1.4	17	76.2
2010	Sin abono	1	9	122	1.3	16	76.2
2010	Sin abono	1	10	137	1.8	18	76.2
2010	Sin abono	2	1	96	1.1	14	77.7
2010	Sin abono	2	2	105	0.8	12	77.7
2010	Sin abono	2	3	110	1.7	18	77.7
2010	Sin abono	2	4	126	1	15	77.7
2010	Sin abono	2	5	114	1.5	14	77.7
2010	Sin abono	2	6	130	1.9	20	77.7
2010	Sin abono	2	7	123	1.6	12	77.7
2010	Sin abono	2	8	132	1.5	15	77.7
2010	Sin abono	2	9	70	0.9	9	77.7
2010	Sin abono	2	10	118	1.4	15	77.7
2010	Sin abono	3	1	129	1.8	20	76.1
2010	Sin abono	3	2	94	1.5	14	76.1
2010	Sin abono	3	3	88	0.9	13	76.1
2010	Sin abono	3	4	114	1.4	14	76.1
2010	Sin abono	3	5	136	1.4	15	76.1
2010	Sin abono	3	6	115	0.8	12	76.1
2010	Sin abono	3	7	125	1.4	13	76.1
2010	Sin abono	3	8	111	1	13	76.1
2010	Sin abono	3	9	144	1.8	18	76.1
2010	Sin abono	3	10	146	1.8	19	76.1
2010	Sin abono	4	1	113	1.1	17	90.2
2010	Sin abono	4	2	138	2.5	25	90.2
2010	Sin abono	4	3	128	1.4	17	90.2
2010	Sin abono	4	4	145	1.5	18	90.2
2010	Sin abono	4	5	190	1.1	14	90.2
2010	Sin abono	4	6	120	1.2	14	90.2
2010	Sin abono	4	7	180	1.2	17	90.2
2010	Sin abono	4	8	117	1.2	13	90.2
2010	Sin abono	4	9	94	1.1	17	90.2
2010	Sin abono	4	10	140	1.5	13.5	90.2
2010	Sin abono	5	1	120	1.7	16	90.5
2010	Sin abono	5	2	134	2	18.5	90.5
2010	Sin abono	5	3	120	1.1	12	90.5
2010	Sin abono	5	4	88	1	13	90.5
2010	Sin abono	5	5	128	1.8	15	90.5
2010	Sin abono	5	6	134	1.3	17	90.5
2010	Sin abono	5	7	75	0.4	11	90.5
2010	Sin abono	5	8	148	2	21	90.5
2010	Sin abono	5	9	140	1.9	20	90.5
2010	Sin abono	5	10	160	2.9	27	90.5
		-				- ·	

				Altura	ø	ø	Peso
Año	Tratamiento	Parcela	Planta	planta	Tallo	Capítulo	semilla(g)
2010	Sin abono	6	1	130	1.4	19.5	100.4
2010	Sin abono	6	2	127	1.5	18.8	100.4
2010	Sin abono	6	3	132	1.7	15	100.4
2010	Sin abono	6	4	122	1.6	18	100.4
2010	Sin abono	6	5	99	1.1	12.5	100.4
2010	Sin abono	6	6	100	1	13	100.4
2010	Sin abono	6	7	100	0.7	11	100.4
2010	Sin abono	6	8	140	2.2	27	100.4
2010	Sin abono	6	9	150	2.4	25	100.4
2010	Sin abono	6	10	120	1.1	17	100.4
2010	Sin abono	7	1	110	1.7	19	101.3
2010	Sin abono	7	2	120	1.4	19	101.3
2010	Sin abono	7	3	108	1	17	101.3
2010	Sin abono	7	4	135	1.1	19.5	101.3
2010	Sin abono	7	5	113	1.1	17	101.3
2010	Sin abono	7	6	132	1.1	16	101.3
2010	Sin abono	7	7	141	2.2	20	101.3
2010	Sin abono	7	8	83	1.1	19	101.3
2010	Sin abono	7	9	110	1.1	17	101.3
2010	Sin abono	7	10	115	1.1	17	101.3
2010	Sin abono	8	1	129	1.6	15	58.2
2010	Sin abono	8	2	139	1.7	15	58.2
2010	Sin abono	8	3	122	1.4	15	58.2
2010	Sin abono	8	4	86	0.7	11	58.2
2010	Sin abono	8	5	123	1.4	14.2	58.2
2010	Sin abono	8	6	125	1.7	20	58.2
2010	Sin abono	8	7	130	1.4	18	58.2
2010	Sin abono	8	8	128	1.4	13	58.2
2010	Sin abono	8	9	123	1.6	17.5	58.2
2010	Sin abono	8	10	124	1.7	13.5	58.2
2010	Sin abono	9	1	154	3	26	61
2010	Sin abono	9	2	88	0.6	11	61
2010	Sin abono	9	3	90	1.3	16	61
2010	Sin abono	9	4	120	1.4	18	61
2010	Sin abono	9	5	107	1.2	17	61
2010	Sin abono	9	6	134	2.6	20	61
2010	Sin abono	9	7	108	0.9	16	61
2010	Sin abono	9	8	105	0.9	16	61
2010	Sin abono	9	9	139	1.9	15	61
2010	Sin abono	9	10	116	1.4	20	61
2010	Sin abono	10	1	142	2	19	70.4
2010	Sin abono	10	2	117	1.3	20	70.4
2010	Sin abono	10	3	133	1.6	19	70.4
2010	Sin abono	10	4	93	0.9	13	70.4
2010	Sin abono	10	5	125	1.5	19	70.4
2010	Sin abono	10	6	13	1.3	16	70.4
2010	3111 000110	10	J	13	1.5	10	, , , ,

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Altura planta	Ø Tallo	Ø Capítulo	Peso semilla(g)
2010	Sin abono	10	7	99	0.8	11	70.4
2010	Sin abono	10	8	123	1.4	17	70.4
2010	Sin abono	10	9	12	1.6	18	70.4
2010	Sin abono	10	10	136	1.8	27	70.4

Tabla 34. Valores vegetativos y rendimiento graso de la semilla (%aceite) del cultivo de algodón (años 2009 y 2010)

Año	Tratamiento	Parcela	Planta	Peso semilla (g)	Peso aceite (g)	Aceite (%)
2009	A. ecológica	1	1	10.5	4.80	24.45
2009	A. química	1	1	11.85	6.38	32.26
2009	Sin abono	1	1	9.26	4.89	24.43
2010	A. ecológica	1	1	13.17	5.53	27.78
2010	A. ecológica	2	1	18.02	3.47	18.26
2010	A. ecológica	3	1	15.81	3.22	16.95
2010	A. ecológica	4	1	14.93	5.70	28.77
2010	A. ecológica	5	1	18.15	4.45	22.45
2010	A. ecológica	6	1	17.09	4.32	21.63
2010	A. ecológica	7	1	16.83	6.49	32.43
2010	A. ecológica	8	1	20.31	5.48	27.41
2010	A. ecológica	9	1	19.16	5.26	27.71
2010	A. ecológica	10	1	24	4.78	23.91
2010	A. química	1	1	15.8	5.11	25.56
2010	A. química	2	1	19.21	5.32	26.61
2010	A. química	3	1	21.7	5.08	25.54
2010	A. química	4	1	24.19	5.77	28.86
2010	A. química	5	1	21.34	5.73	28.67
2010	A. química	6	1	23.33	6.08	30.38
2010	A. química	7	1	16.36	5.61	28.03
2010	A. química	8	1	22.37	5.24	26.20
2010	A. química	9	1	26.8	5.50	27.55
2010	A. química	10	1	9.67	6.08	30.41
2010	Sin abono	1	1	14.12	4.61	23.07
2010	Sin abono	2	1	15.34	5.56	27.84
2010	Sin abono	3	1	20.57	4.47	22.34
2010	Sin abono	4	1	16.17	5.07	25.33
2010	Sin abono	5	1	20.69	3.90	19.52
2010	Sin abono	6	1	21.98	4.46	22.32
2010	Sin abono	7	1	22.3	4.83	24.10
2010	Sin abono	8	1	28.2	4.80	23.98
2010	Sin abono	9	1	22.11	4.70	23.52
2010	Sin abono	10	1	32.88	4.70	23.50

Tabla 35. Valores del rendimiento graso de la semilla (%aceite), rendimiento en la obtención de biodiesel (%BD) y valores de los diferentes ácidos grasos de los aceites en el cultivo de ricino (años 2009 y 2010)

Aceite Biodie Mirís Palmíti Palmi- Repta- Hepta- Estea Lino- Ara- Lino- Eicosa- Behe-																		
Año	Tratamiento	Parcela	Aceite (%)	Biodie sel (%)	Miris -tico	Palmiti -co	Palmi- toleico	Repta- decanoico	Hepta- decenoico	Estea- rico	Oleico	Lino- leico	Ara- quico	Lino- lénico	Eicosa- noico	Behe- nico	Eru- cico	Ligno- cérico
2009	A. ecológica	1	47.22	66.00	-	8.96	0.06	0.19	-	8.68	32.77	39.79	0.34	3.3	3.65	0.07	0.05	0.1
2009	A. ecológica	2	52.24	66.00	-	8.9	0.13	0.18	-	8.66	30.83	39.29	0.42	3.48	3.63	0.06	0.04	0.08
2009	A. ecológica	3	47.04	66.00	0.09	8.87	0.13	0.17	-	8.57	31.73	36.71	0.46	3.36	3.87	0.1	0.06	0.1
2009	A. ecológica	4	49.93	76.95	0.1	9.32	0.18	0.14	-	8.99	32.11	37.44	0.34	3.13	3.74	0.04	0.04	0.1
2009	A. ecológica	5	44.99	76.95	-	8.57	0.15	0.18	-	8.18	30.91	37.33	0.04	3.35	3.86	0.05	0.03	0.05
2009	A. ecológica	6	52.41	76.95	-	8.8	-	0.17	-	8.34	29.38	38.07	0.47	3.59	3.68	0.06	0.06	0.08
2009	A. ecológica	7	58.58	76.75	-	8.31	-	0.06	-	7.84	30.63	36.86	0.06	3.71	0.04	0.08	0.05	0.05
2009	A. ecológica	8	64.98	76.75	0.05	8.42	0.1	0.18	-	8.37	30.44	37.63	0.5	3.5	0.06	0.11	0.03	0.1
2009	A. química	1	61.16	73.91	0.05	6.85	-	0.05	-	6.13	30.42	39.62	0.04	3.95	0.05	0.05	0.05	0.05
2009	A. química	3	48.73	73.91	-	8.2	0.13	0.08	-	7.57	30.21	43.4	0.35	4.07	0.05	0.07	0.1	-
2009	A. química	4	53.15	73.91		8.5	0.14	0.16	-	8.13	30.2	39.2	0.1	3.6	0.09	0.07	0.06	-
2009	A. química	5	52.88	71.52	0.04	7.72	0.09	0.05	-	7.36	30.48	37.64	0.42	3.48	0.04	0.09	0.03	0.05
2009	A. química	6	51.23	71.52	-	8.57	0.14	0.05	-	7.65	31.14	38.06	0.04	3.26	0.06	0.07	0.05	0.04
2009	A. química	7	53.61	71.52	0.05	8.59	0.13	0.18	-	8.32	31.13	36.34	0.4	3.24	0.07	0.11	0.03	0.03
2009	A. química	8	56.11	79.63	-	8.29	0.06	0.14	-	8.22	31.52	38.85	0.28	3.33	3.64	0.17	0.04	0.05
2009	Sin abono	1	57.61	71.25	0.04	7.84	0.06	-	-	7.74	31.73	36.89	0.05	3.46	0.04	0.12	0.03	-
2009	Sin abono	2	55.54	71.25	0.04	7.1	0.15	0.17	0.03	6.48	30.68	40.93	0.4	3.66	0.06	0.08	0.03	0.05
2009	Sin abono	3	60.37	71.25	0.21	9.3	0.17	0.19	-	9.05	31.8	37.78	0.13	0.08	0.05	0.1	-	-
2009	Sin abono	4	62.99	71.48	-	8.68	0.16	0.22	-	8.21	29.31	35.94	0.05	3.4	0.2	0.22	0.07	0.05
2009	Sin abono	6	53.20	78.66	-	7.34	0.16	0.15	-	6.95	29.64	39.6	0.05	3.8	0.09	0.05	0.04	0.04
2009	Sin abono	7	53.31	78.66	0.06	8.01	0.06	-	-	7.5	32.21	37.41	0.2	3.67	0.05	0.07	-	0.07
2009	Sin abono	8	54.64	71.48	0.06	6.46	0.19	0.14	-	6.45	31.37	41.15	0.05	3.8	0.07	0.04	0.05	0.06
2010	 A. ecológica 	1	46.71	81.17	0.037	9.693	0.119	0.197	0.046	8.915	32.554	39.789	0.277	5.135	3.014	0.066	0.044	0.065
2010	 A. ecológica 	3	55.15	79.19	-	8.761	0.088	0.205	-	8.642	33.328	40.768	0.332	4.309	3.347	0.06	0.06	-
2010	A. ecológica	4	48.07	81.59	0.038	7.618	0.158	0.143	0.079	7.675	33.608	42.572	0.273	3.569	0.193	0.033	0.101	0.078
2010	 A. ecológica 	5	45.91	81.59	-	8.787	0.139	0.214	-	8.774	32.611	40.824	0.338	4.122	3.437	0.053	0.104	0.039
2010	A. ecológica	6	47.32	81.59	0.066	8.981	0.083	0.192	0.092	8.733	32.741	40.926	0.375	4.006	3.373	0.075	0.039	0.1
2010	A. ecológica	7	51.85	79.19	-	8.325	0.197	0.16	-	8.026	33.152	41.79	0.302	4.1	3.663	0.042	0.045	0.076
2010	 A. ecológica 	8	48.43	79.19	-	8.986	0.082	0.13	0.049	8.662	34.998	38.638	0.044	3.774	3.578	0.1	0.04	0.065
2010	A. química	1	52.25	84.17	0.036	8.906	0.109	0.212	-	8.425	33.541	40.629	0.224	4.023	3.496	0.038	0.041	0.056
2010	A. química	3	55.49	84.17	0.043	6.228	0.143	0.129	0.034	6.62	32.806	45.479	0.298	4.184	3.693	0.072	0.053	0.036
2010	A. química	4	58.22	58.25	-	7.806	0.138	0.168	-	7.279	33.217	42.474	0.266	3.79	3.374	0.83	0.412	0.038
2010	A. química	5	48.84	58.25	0.048	9.22	0.156	0.213	-	8.77	32.988	39.577	0.299	3.887	3.651	0.083	0.124	0.065
2010	A. química	6	48.53	58.25	0.036	8.96	0.091	0.2	-	9.144	33.668	39.928	0.318	3.787	3.439	0.077	0.155	0.073
2010	A. química	7	48.32	58.25		9.027	0.126	0.184	-	8.109	34.451	39.632	0.261	3.78	3.357	0.072	0.067	0.042
2010	A. química	8	47.00	76.86	0.047	9.575	0.177	0.201	-	10.107	34.124	37.297	0.384	3.445	0.091	0.097	0.089	0.137
2010	Sin abono	1	52.53	-	0.038	8.976	0.176	0.204	-	8.925	33.655	39.839	0.379	3.488	3.346	0.06	0.04	0.108
2010	Sin abono	2	42.70	-	0.052	9.471	0.112	0.2	-	8.301	32.191	42.29	0.288	3.365	2.817	0.043	0.046	0.038
2010	Sin abono	3	42.97	-	0.047	9.375	0.146	0.173	-	8.751	32.524	41.252	0.331	3.316	3.095	0.082	0.09	0.173
2010	Sin abono	4	43.24	-	0.041	9.434	0.185	0.206	-	8.815	33.254	40.874	0.282	3.264	3.072	0.08	0.032	0.106
2010	Sin abono	5	37.85	-	0.041	9.116	0.141	0.181	-	8.667	32.131	41.577	0.329	3.3	3.172	0.065	0.111	0.098
2010	Sin abono	6	37.91	-	0.051	9.048	0.131	0.188	-	8.964	31.071	41.026	0.393	3.868	3.723	0.088	0.046	0.041
2010	Sin abono	7	50.14	-	0.079	9.551	0.103	0.187	-	9.133	32.646	40.894	0.316	3.313	3.011	0.083	0.044	0.107
2010	Sin abono	8	49.93	-	0.051	9.282	0.138	0.187	-	8.7	31.491	41.312	0.392	3.572	3.259	0.097	0.098	0.105

Tabla 36. Valores del rendimiento graso de la semilla (%aceite), rendimiento en la obtención de biodiesel (%BD) y valores de los diferentes ácidos grasos de los aceites en el cultivo de girasol (años 2009 y 2010)

						ue ios ai	certes er	i ei cuiti	vo de giras	oi (allo	3 2009 y	2010)						
Año	Tratamiento	Parcela	Aceite (%)	Biodies el (%)	Mirís- tico	Palmíti -co	Palmi- toleico	Repta- decano ico	Hepta- decenoico	Estea- rico	Oleico	Lino- leico	Ara- quico	Lino- lénico	Eicosa- noico	Behe- nico	Eru- cico	Ligno- cérico
2009	A. ecológica	1	38.87	83.97	0.05	5.05	0.15	0.05	0.05	2.96	48.16	42.06	0.24	0.03	0.16	0.68	-	0.29
2009	A. ecológica	2	36.26	66.37	0.05	4.86	0.15	0.05	0.06	3.08	54.74	35.4	0.27	0.03	0.18	0.77	-	0.31
2009	A. ecológica	3	38.19	55.24	0.05	4.96	0.15	0.04	0.05	2.8	53.73	36.63	0.25	0.04	0.18	0.72	-	0.31
2009	A. ecológica	4	38.11	31.87	0.05	4.98	0.15	0.04	0.01	3.01	51.6	38.61	0.26	0.03	0.17	0.72	-	0.3
2009	A. ecológica	5	33.90	30.11	0.05	5.3	0.17	0.04	0.04	2.66	49.76	40.54	0.23	0.04	0.18	0.65	-	0.28
2009	A. ecológica	6	38.43	85.56	0.05	4.92	0.15	0.04	0.04	2.69	51.44	39.15	0.24	0.04	0.18	0.68	-	0.31
2009	 A. ecológica 	7	35.62	66.65	0.05	4.91	0.1	0.04	0.04	2.72	53.57	37.2	0.22	0.01	0.17	0.65	-	0.28
2009	 A. ecológica 	8	32.62	7.25	0.05	4.92	0.13	0.05	0.04	2.79	50.27	40.29	0.25	0.02	0.18	0.68	-	0.29
2009	 A. ecológica 	9	37.96	78.93	0.05	4.68	0.13	0.04	0.02	2.67	57.49	33.48	0.23	0.03	0.18	0.67	-	0.3
2009	 A. ecológica 	10	36.91	90.89	0.05	5.15	0.16	0.04	0.04	2.94	48.82	41.23	0.25	0.04	0.18	0.71	-	0.29
2009	A. química	1	42.63	97.14	0.05	5.08	0.15	0.04	0.05	2.5	52.81	37.84	0.21	0.03	0.18	0.7	-	0.29
2009	A. química	2	35.05	91.52	0.05	5.25	0.15	0.05	0.05	2.73	52.74	37.53	0.23	0.04	0.18	0.67	-	0.28
2009	A. química	3	41.73	73.27	0.04	5.8	0.25	0.05	0.06	2.64	57.51	32.19	0.22	0.04	0.17	0.71	-	0.29
2009	A. química	4	35.73	97.65	0.05	4.84	0.14	0.05	0.05	2.88	51.9	38.63	0.24	0.03	0.18	0.67	-	0.3
2009	A. química	5	32.55	91.70	0.05	4.68	0.14	0.05	0.05	3.45	58.84	31.03	0.29	0.04	0.17	0.83	-	0.32
2009	A. química	6	31.92	73.07	0.05	5.42	0.23	0.05	0.05	2.75	48.51	41.43	0.23	0.03	0.18	0.68	-	0.3
2009	A. química	7	37.31	108.1	0.05	4.85	0.14	0.06	0.05	3.26	57.66	32.23	0.27	0.04	0.18	0.82	-	0.33
2009	A. química	8	33.02	91.89	0.05	4.74	0.13	0.05	0.05	2.9	54.88	35.65	0.26	0.03	0.19	0.72	-	0.3
2009	A. química	9	37.39	60.67	0.05	4.86	0.14	0.05	0.05	2.59	47.63	43.21	0.21	0.03	0.19	0.67	-	0.29
2009	A. química	10	37.02	42.75	0.04	4.6	0.12	0.05	0.06	2.77	56.23	34.63	0.22	0.04	0.19	0.69	-	0.29
2009	Sin abono	1	41.03	98.11	0.05	4.93	0.14	0.04	0.04	2.69	51.92	37.95	0.25	0.07	0.02	0.68	0.01	0.28
2009	Sin abono	2	41.21	96.31	0.06	5	0.14	0.04	0.05	2.92	55.69	34.4	0.24	0.05	0	0.71	0.01	0.3
2009	Sin abono	3	40.47	90.47	0.05	4.84	0.13	0.02	0.05	2.89	55.67	34.74	0.24	0.03	0	0.7	0.01	0.28
2009	Sin abono	4	37.89	21.44	0.07	5.51	0.18	0.05	0.05	2.66	50.67	39.36	0.22	0.03	0.15	0.69	-	0.3
2009	Sin abono	5	37.07	24.41	0.05	5.34	0.19	0.04	0.05	2.52	52.34	37.68	0.23	0.04	0.01	0.7	0.01	0.31
2009	Sin abono	6	32.18	91.43	0.05	4.81	0.13	0.05	0.02	3.03	57.92	32.36	0.25	0.04	0.19	0.75	-	0.3
2009	Sin abono	7	32.01	82.62	0.05	4.96	0.13	0.06	0.03	3.02	55.81	34.29	0.26	0.04	-	0.76	-	0.31
2009	Sin abono	8	35.06	91.64	0.06	5.22	0.14	0.05	0.06	2.84	56.54	33.53	0.24	0.03	0.01	0.68	-	0.3
2009	Sin abono	9	30.74	91.55	0.05	5.06	0.17	0.04	0.05	2.72	56.05	34.3	0.23	0.04	0.18	0.72	-	0.31
2009	Sin abono	10	35.10	97.69	0.04	4.77	0.15	0.05	0.05	2.84	55.84	35.19	0.22	0.03	0.17	0.73	-	0.29
2010	A. ecológica	1	26.83	91.79	0.04	5.17	0.17	0.06	0.06	3.22	53.45	36.18	0.29	0.03	0.17	0.77	-	0.34
2010	A. ecológica	2	33.82	76.37	0.05	4.98	0.16	0.05	0.05	3.05	53.44	36.67	0.26	0.04	0.18	0.68	-	0.01
2010	A. ecológica	3	30.47	103.18	0.05	5.12	0.15	0.05	0.04	3.48	55.88	33.62	0.28	0.03	0.16	0.79	-	0.29
2010	A. ecológica	4	35.75	109.97	0.05	4.89	0.14	0.05	0.05	3.16	57.14	32.92	0.26	0.04	0.18	0.75	-	0.29
2010	A. ecológica	5	40.76	85.14	0.05	5.01	0.14	0.05	0.05	2.53	54.5	36.34	0.21	0.03	0.18	0.63	-	0.26
2010	A. ecológica	6	38.47	91.49	0.05	4.87	0.15	0.05	0.05	2.99	58.54	31.72	0.25	0.03	0.18	0.72	0.01	0.3
2010	A. ecológica	7	27.66	109.46	0.05	5.08	0.14	0.06	0.04	3.57	53.5	36	0.28	0.04	0.16	0.73	-	0.29
2010	A. ecológica	8	37.48	115.39	0.05	5.04	0.15	0.04	0.05	2.72	47.4 52.01	43.15	0.21	0.04	0.18	0.62	0.01	0.28
2010 2010	A. ecológica	9 10	45.68 45.28	97.27 97.72	0.05 0.06	5.77 5.56	0.27 0.2	0.04 0.04	0.01 0.05	3.15 2.95	52.91 52.57	36.3 37.14	0.25 0.25	0.03 0.03	0.16 0.16	0.72 0.67	-	0.28 0.28
	A. ecológica		45.28 38.31	97.72 48.68	0.06	5.56 8.906	0.2	0.04	0.05	2.95 8.425	33.54	37.14 40.63	0.25	4.023	3.50	0.67	0.041	0.28
2010	A. química	1		48.68 94.35	0.036	8.906 8.258	0.109	0.212	-	8.425 7.792	33.54 33.87	40.63		4.023	3.50	0.038	0.041	0.056
2010	A. química	2 3	33.43		0.055			0.223	0.034		33.87	41.08 45.48	0.39			0.072	0.083	
2010 2010	A. química	3 4	36.92 35.06	91.37 85.08	0.043	6.228 7.806	0.143 0.138	0.129	0.034	6.62 7.279	33.217	45.48 42.474	0.30 0.266	4.18 3.79	3.69 3.374	0.072	0.053	0.036 0.038
2010	A. química	4 5	35.06 37.70	85.08 90.74	0.048	9.22	0.138	0.168	-	7.279 8.77	33.217	42.474 39.577	0.266	3.79 3.887	3.374	0.83	0.412	0.038
2010	A. química	5	37.70	90.74	0.048	9.22	0.156	0.213	-	0.//	32.988	39.577	0.299	5.887	3.051	0.083	0.124	0.065

Año	Tratamiento	Parcela	Aceite (%)	Biodies el (%)	Mirís- tico	Palmíti -co	Palmi- toleico	Repta- decano ico	Hepta- decenoico	Estea- rico	Oleico	Lino- leico	Ara- quico	Lino- lénico	Eicosa- noico	Behe- nico	Eru- cico	Ligno- cérico
2010	A. química	6	45.36	84.94	0.036	8.96	0.091	0.2	-	9.144	33.668	39.928	0.318	3.787	3.439	0.077	0.155	0.073
2010	A. química	7	42.78	91.83		9.027	0.126	0.184	-	8.109	34.451	39.632	0.261	3.78	3.357	0.072	0.067	0.042
2010	A. química	8	38.65	79.03	0.047	9.575	0.177	0.201	-	10.107	34.124	37.297	0.384	3.445	0.091	0.097	0.089	0.137
2010	A. química	9	42.00	93.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	A. química	10	22.99	77.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010	Sin abono	1	27.50	94.89	0.053	5.647	0.212	0.047	0.046	2.945	52.485	37.069	0.246	0.062	0.166	0.716	0.004	0.296
2010	Sin abono	2	30.64	91.73	0.055	5.592	0.174	0.046	0.05	2.557	55.349	34.678	0.239	0.049	0.185	0.72	-	0.307
2010	Sin abono	3	25.69	72.81	0.056	5.355	0.198	0.044	0.053	2.655	51.156	39.06	0.238	0.047	0.173	0.668	-	0.296
2010	Sin abono	4	19.58	97.33	0.052	5.409	0.187	0.045	0.052	2.84	52.5	37.45	0.248	0.042	0.17	0.713	-	0.293
2010	Sin abono	5	25.24	12.23	0.053	5.067	0.165	0.043	0.047	2.674	55.554	34.906	0.239	0.054	0.185	0.696	-	0.311
2010	Sin abono	6	37.43	84.86	0.049	5.16	0.173	0.044	0.046	2.565	50.927	39.634	0.232	0.047	0.187	0.643	0.005	0.288
2010	Sin abono	7	39.17	98.14	0.052	5.03	0.156	0.051	0.048	3.005	53.317	36.90	0.259	0.049	0.172	0.681	-	0.279
2010	Sin abono	8	34.66	96.57	0.052	5.62	0.304	0.04	0.053	2.51	55.134	34.902	0.221	0.045	0.179	0.631	0.005	0.29
2010	Sin abono	9	36.29	100.87	0.055	5.132	0.162	0.051	0.052	3.041	53.771	36.237	0.253	0.057	0.178	0.711	0.006	0.293
2010	Sin abono	10	33.36	110.23	0.045	4.879	0.142	0.048	0.048	3.255	61.399	28.578	0.274	0.046	0.176	0.808	-	0.298

Tabla 37. Valores del rendimiento graso de la semilla (% aceite), rendimiento en la obtención de biodiesel (% BD) y valores de los diferentes ácidos grasos de los aceites en el cultivo de algodón (años 2009 y 2010)

									o ac algor		,, _,,	/						
Año	Tratamiento	Parcela	Aceite (%)	Biodies el (%)	Mirís- tico	Palmíti- co	Palmi- toleico	Repta- decano ico	Hepta- decenoico	Estea- rico	Oleico	Lino- leico	Ara- quico	Lino- lénico	Eicosa- noico	Behe- nico	Eru- cico	Ligno- cérico
2009	A. ecológica	1	24.45	99.56	0.81	24.78	0.64	0.08	0.04	2.48	18.13	51.85	0.27	0.12	0.06	0.11	-	0.07
2009	A. química	1	32.26	98.41	0.71	23.49	0.61	0.08	0.04	2.47	17.24	54.12	0.26	0.12	0.07	0.11	0.01	0.07
2009	Sin abono	1	24.43	97.85	0.78	24.93	0.65	0.08	0.04	2.38	17.65	52.23	0.27	0.12	0.07	0.11	-	0.08
2010	A. ecológica	1	27.78	97.39	0.8	24.27	0.64	0.08	0.04	2.46	17.45	52.8	0.27	0.14	0.07	0.13	0.01	0.1
2010	A. ecológica	2	18.26	36.59	0.86	24.66	0.65	0.08	0.04	2.4	17.66	52.34	0.27	0.12	0.07	0.13	-	0.09
2010	A. ecológica	3	16.95	140.23	0.93	24.36	0.66	0.08	0.05	2.42	17.72	52.47	0.27	0.13	0.07	0.13	-	0.09
2010	A. ecológica	4	28.77	100.91	0.78	23.63	0.61	0.09	0.04	2.57	16.99	53.88	0.28	0.14	0.07	0.13	-	0.09
2010	A. ecológica	5	22.45	60.94	0.83	24.03	0.64	0.09	0.04	2.44	17.46	53.09	0.28	0.14	0.07	0.12	-	0.09
2010	A. ecológica	6	21.63	56.56	0.86	23.78	0.6	0.08	0.04	2.50	16.7	54.19	0.27	0.13	0.07	0.12	-	0.09
2010	A. ecológica	7	32.43	82.32	0.82	24.18	0.6	0.08	0.04	2.49	16.92	53.49	0.28	0.13	0.07	0.12	-	0.09
2010	A. ecológica	8	27.41	102.49	0.87	24.69	0.6	0.09	0.04	2.54	16.81	53.15	0.26	0.13	0.06	0.12	-	0.09
2010	A. ecológica	9	27.71	107.96	0.85	24.18	0.65	0.08	0.04	2.44	16.81	53.69	0.27	0.13	0.01	0.11	-	0.08
2010	A. ecológica	10	23.91	66.09	0.81	24.62	0.63	0.08	0.04	2.43	16.64	53.52	0.27	0.12	0.06	0.12	-	0.09
2010	A. química	1	25.56	91.02	0.75	23.96	0.63	0.08	0.05	2.44	17.22	53.68	0.26	0.13	0.06	0.12	-	0.08
2010	A. química	2	26.61	82.16	0.8	24.23	0.61	0.08	0.04	2.41	17.05	53.54	0.25	0.12	0.06	0.11	-	0.08
2010	A. química	3	25.54	92.00	0.82	23.93	0.66	0.08	0.05	2.35	17.61	53.29	0.26	0.13	0.07	0.12	-	0.09
2010	A. química	4	28.86	100.82	0.84	24.75	0.64	0.04	0.09	2.42	16.96	52.91	0.28	0.13	0.07	0.12	0.01	0.09
2010	A. química	5	28.67	95.32	0.69	22.82	0.68	0.08	0.04	2.32	17.98	54.15	0.25	0.13	0.06	0.12	-	0.09
2010	A. química	6	30.38	105.34	0.88	25.93	0.63	0.09	0.04	2.54	17.06	51.6	0.28	0.13	0.07	0.13	-	0.1
2010	A. química	7	28.03	94.80	0.79	23.93	0.66	0.08	0.04	2.4	17.53	53.34	0.27	0.13	0.07	0.12	-	0.1
2010	A. química	8	26.20	82.65	0.73	23.22	0.65	0.08	0.04	2.44	17.5	54.09	0.25	0.13	0.07	0.11	-	0.09
2010	A. química	9	27.55	93.78	0.79	23.87	0.69	0.08	0.04	2.32	17.29	53.66	0.26	0.13	0.07	0.12	-	0.1
2010	A. química	10	30.41	100.33	0.74	23.64	0.66	0.08	0.04	2.4	17.35	53.86	0.24	0.13	0.07	0.11	-	0.09
2010	Sin abono	1	23.07	95.43	0.824	23.804	0.636	0.078	0.046	2.397	18.328	53.094	0.268	0.141	0.062	0.121	-	0.094
2010	Sin abono	2	27.84	79.10	0.796	24.138	0.677	0.082	0.044	2.492	18.701	52.292	0.265	0.132	0.061	0.114	-	0.088
2010	Sin abono	3	22.34	68.47	0.787	23.145	0.657	0.078	0.048	2.234	17.985	54.268	0.263	0.154	0.064	0.118	-	0.092
2010	Sin abono	4	25.33	110.42	0.725	22.257	0.64	0.075	0.047	2.354	18.225	54.899	0.263	0.141	0.06	0.116	-	0.097
2010	Sin abono	5	19.52	73.41	0.847	24.173	0.668	0.087	0.044	2.343	18.564	52.474	0.273	0.135	0.063	0.123	-	0.098
2010	Sin abono	6	22.32	88.71	0.865	25.008	0.643	0.08	0.048	2.419	17.831	52.265	0.291	0.144	0.063	0.135	-	0.095
2010	Sin abono	7	24.10	100.72	0.859	24.872	0.632	0.081	0.046	2.408	17.445	52.869	0.271	0.146	0.062	0.118	-	0.088
2010	Sin abono	8	23.98	97.05	0.878	24.888	0.596	0.078	0.048	2.424	17.541	52.735	0.286	0.147	0.063	0.129	-	0.093
2010	Sin abono	9	23.52	89.70	0.712	22.753	0.605	0.075	0.047	2.424	17.734	54.84	0.262	0.178	0.069	0.114	-	0.081
2010	Sin abono	10	23.50	98.09	0.689	21.774	0.612	0.078	0.05	2.336	18.83	54.852	0.257	0.148	0.063	0.113	-	0.086