

•
•
•
•
•
•
•

Análisis de la eficiencia energética del cultivo del algodón en Andalucía

Septiembre de 2009

Versión 1



JUNTA DE ANDALUCÍA

SECRETARÍA GENERAL DEL MEDIO RURAL Y PRODUCCIÓN ECOLÓGICA

Análisis de la eficiencia energética del cultivo del algodón en Andalucía

Resumen	2
1. Introducción	4
2. Objetivos del estudio	8
3. Metodología	9
3.1. <i>Consideraciones previas</i>	10
3.2. <i>Itinerarios pre-reforma</i>	14
3.3. <i>Itinerario post-reforma: riego por superficie sin acolchado plástico</i>	18
4. Resultados	21
4.1. <i>Requerimientos energéticos de las labores agrícolas</i>	21
4.2. <i>Requerimientos energéticos de la producción, envasado y transporte de los fertilizantes</i>	26
4.3. <i>Requerimientos energéticos de la producción, envasado y transporte de los fitosanitarios</i>	30
4.4. <i>Requerimientos energéticos para los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos</i>	34
4.5. <i>Requerimientos energéticos totales de la producción de algodón</i>	38
5. Conclusiones	43
Bibliografía	44

Análisis de la eficiencia energética del cultivo del algodón en Andalucía

Resumen

La medida 65 del Programa de Mitigación del Plan Andaluz por el Clima 2007-2012 (PAAC) hace referencia a la realización de estudios energéticos en el ámbito agrario, pesquero y acuícola y de industria auxiliar con el objetivo de conocer el balance energético de los productos agropecuarios producidos en Andalucía.

En relación a tal medida, el estudio realizado persigue el análisis de las entradas y salidas de energía del cultivo del algodón en dos situaciones: por un lado, con el manejo mayoritario del cultivo que existe en el periodo anterior a la reforma de su régimen de ayudas (2000-2005), que representa un manejo convencional, y por otro, un manejo alternativo, de producción integrada, que se ha aplicado de forma generalizada en el periodo 2006-2008, posterior a la reforma.

Para ello, se han estimado los requerimientos energéticos de las labores agrícolas incluidas en cada uno de los itinerarios considerados en el estudio, de la producción, envasado y transporte de los insumos empleados en cada uno de ellos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, pesticidas y otros agroquímicos, como defoliantes y fitorreguladores), y de los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén hasta la parcela de cultivo.

En concreto, se han tenido en cuenta tres itinerarios diferentes:

- Dos itinerarios representativos de la situación antes de la reforma, ambos con riego por superficie y sin ninguna limitación en relación al uso de insumos. Se diferencian en que en uno de ellos se utiliza acolchado plástico (**itinerario pre-reforma 1**) y en el otro no (**itinerario pre-reforma 2**).
- Un itinerario representativo después de la reforma, caracterizado por utilizar riego por superficie y por un menor uso de insumos como consecuencia de la aplicación de la normativa de producción integrada, y sin empleo de acolchado plástico (itinerario post-reforma).

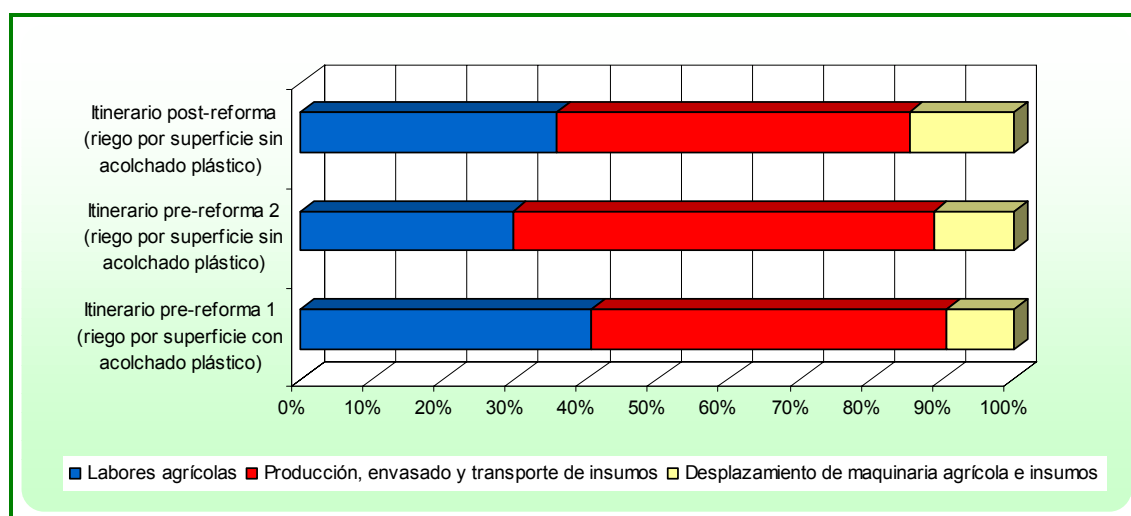
Respecto a las necesidades energéticas de las labores agrícolas mecanizadas y de los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén hasta la parcela, cabe indicar que se han estimado en función del consumo de carburante que requieren. Para los requerimientos energéticos derivados de la producción, envasado y transporte de los fertilizantes, tanto de fondo como de cobertera, se ha utilizado la energía primaria media que se utiliza para la obtención de las cantidades correspondientes de cada uno de los componentes simples (nitrógeno, fósforo y potasio) de los mismos. En el caso de los tratamientos fitosanitarios, la energía primaria total se ha estimado a partir de la energía primaria unitaria necesaria para obtener cada tipo de producto fitosanitario. Los resultados del estudio se resumen en la siguiente tabla y gráfico.

Tabla 1 Energía primaria requerida en el cultivo del algodón en los itinerarios considerados en el estudio.

	Itinerario pre-reforma		Itinerario post-reforma
	Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Labores agrícolas	4.350,89	2.847,33	3.182,70
Producción, envasado y transporte de insumos	5.329,25	5.658,31	4.362,38
Desplazamiento de maquinaria agrícola e insumos	1.014,82	1.077,51	1.296,13
TOTAL	10.694,96	9.583,15	8.841,21

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1 Contribución de las labores agrícolas, de la producción, envasado y transporte de insumos y de los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos en el cultivo del algodón en los tres itinerarios considerados en el estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Es el itinerario post-reforma el que menor necesidades energéticas requiere, como consecuencia del menor uso de insumos que supone, si bien cabe señalar que es el itinerario que menor rendimiento bruto produce de los tres itinerarios considerados: este itinerario supone una reducción de un 12,80% de energía primaria total si se compara con el promedio de los dos itinerarios pre-reforma y un 17,33% si se compara con el itinerario de mayores requerimientos energéticos (itinerario pre-reforma 1).

1. Introducción

En el actual escenario climático es necesario afrontar con decisión el desafío que supone el ahorro de energía y la mejora de la eficiencia energética en todos los ámbitos, incluido el agrícola, puesto que resulta insostenible el continuo crecimiento del consumo energético.

El Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012, aprobado por el Gobierno Andaluz, desarrolla la Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático¹ mediante tres programas referidos a la Mitigación, Adaptación y Comunicación, correspondiendo en concreto a la medida 65 del Programa de Mitigación², la acción que representa este análisis.

La medida 65 del Programa se refiere a la *“Realización de estudios energéticos en el sector agrario, pesquero y acuícola y la industria auxiliar que permitan conocer el balance energético del ciclo de vida de los productos agropecuarios producidos y comercializados en Andalucía”* y dentro de ella, la acción concreta en la que se enmarca este estudio es la denominada “Estudio comparativo de la eficiencia energética de distintas prácticas agrarias alternativas (Agricultura Ecológica, Producción Integrada y Agricultura de Conservación) frente a las convencionales para la producción de determinados cultivos relevantes en Andalucía”.

La elección del algodón como primer cultivo a analizar se justifica por ser éste, tradicionalmente, uno de los cultivos extensivos más rentables para los agricultores andaluces (comparado con otros cultivos alternativos como girasol, remolacha, maíz, trigo duro, etc.). Se trata de un cultivo con elevado nivel tecnológico y de industrialización, que ha generado unos rendimientos muy considerables y un producto de muy buena calidad, aunque sus costes de producción también eran elevados. Las técnicas de cultivo hasta ahora empleadas favorecían la generación de empleo, al mismo tiempo que propiciaban un alto nivel de formación del agricultor. Por contra, se trata de un cultivo con alto riesgo económico por causas meteorológicas y fitosanitarias, tanto en el proceso de desarrollo de cultivo como en la recolección, y que necesita del régimen de ayudas para su pervivencia.

Precisamente la modificación del régimen de ayudas ha propiciado un cambio sustancial tanto en el cultivo como en la superficie dedicada al mismo. La aplicación de la reforma, con la desvinculación parcial de los subsidios de la producción y el cambio hacia una ayuda por superficie, ha llevado a la reducción de la superficie sembrada y de los rendimientos medios. De este modo, la superficie media sembrada en los tres primeros años tras la aplicación de la

¹ La Estrategia fue aprobada en septiembre de 2002 permitiendo que Andalucía se convirtiera en la primera Comunidad Autónoma en contar con una Estrategia de estas características (Acuerdo de 3 de septiembre de 2002, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba la adopción de una estrategia autonómica ante el cambio climático). La Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático tiene como objetivos mejorar el conocimiento sobre el mismo en Andalucía, garantizar la adecuada coordinación institucional, mejorar y adaptar la normativa autonómica, analizar la vulnerabilidad e impactos del cambio climático en diversos sectores y establecer medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en nuestra Comunidad.

² Aprobado por el Consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía el 5 de junio de 2007. El Programa de Mitigación tiene como objetivo principal reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en Andalucía y alcanzar, en términos de emisiones de GEI *per cápita*, una reducción del 19% de las emisiones de 2012 respecto de las de 2004. Para ello se han definido 140 medidas de obligado cumplimiento para la Junta de Andalucía, que se desarrollarán de forma coordinada y complementaria entre las diferentes Consejerías.

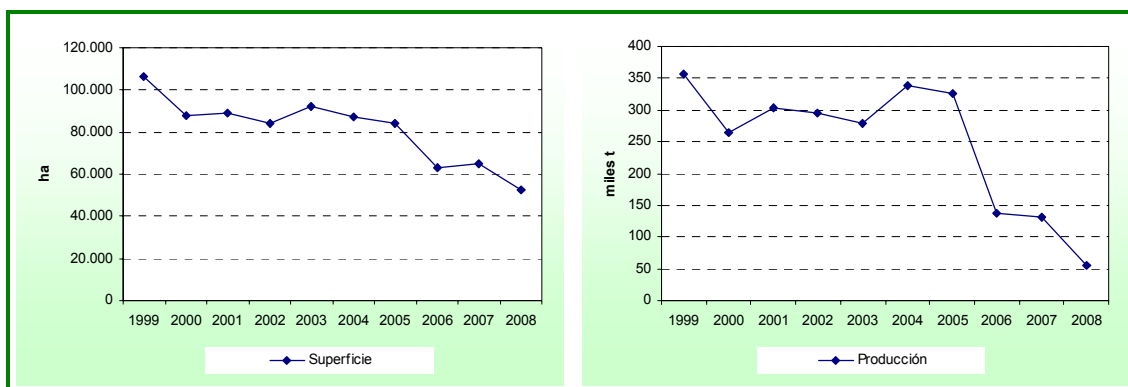
reforma (2006-2008) fue de 60.087 ha, cuando en el periodo 2000-2005 la media se encontraba en 87.489 ha. En el periodo 2000-2005 el rendimiento medio era de 3.452 kg/ha y sin embargo, en el periodo 2006-2008 ha descendido hasta los 1.713 kg/ha.

En 2008 se sembraron 52.443 hectáreas de algodón, lo que supone un descenso de 12.558 hectáreas respecto a 2007. Sin embargo este descenso no es del todo representativo al haber coincidido diversas variables cuya incidencia no es, a día de hoy, cuantificable. Por una parte, la falta de disponibilidad de agua para el riego debido a las restricciones por la sequía, así como la introducción ese año (2008) de la directiva que prohibía la aplicación de muchos de los fitoquímicos utilizados en el control de plagas, han podido influir en los agricultores a la hora de realizar su planificación de cultivos.

En relación a lo anterior, la prohibición de uso de determinadas materias activas ha tenido una influencia realmente significativa en 2008, año en el que se han producido serios ataques de *Heliothis*, sin que exista una materia activa eficaz para tratar. Este hecho ha repercutido en una reducción sustancial de los rendimientos.

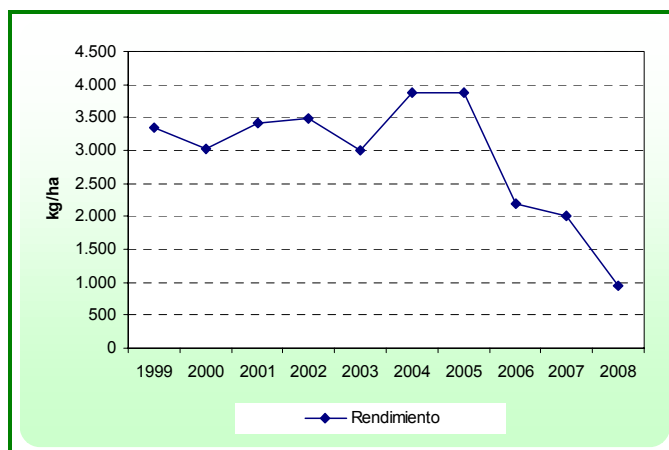
El Gráfico 2 y Gráfico 3 muestran la evolución de la superficie, producción y rendimiento del algodón en Andalucía en el periodo 1999-2008.

Gráfico 2 Evolución de la superficie y producción de algodón en Andalucía entre 1999 y 2008.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA (Base de datos de gestión de ayudas) de la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP, 2009).

Gráfico 3 Evolución del rendimiento del algodón en Andalucía entre 1999 y 2008.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA (Base de datos de gestión de ayudas) de la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP, 2009).

El cultivo del algodón tiene un carácter eminentemente social, como lo demuestra que el 83% de las explotaciones no superan las 10 hectáreas³. Para intentar mantener la rentabilidad del cultivo los agricultores han optado por acceder a las Ayudas Agroambientales⁴ acogiendo por ello al sistema de Producción Integrada, lo que explica que desde el año 2006 se haya triplicado la superficie andaluza cultivada bajo este sistema que implica una serie de restricciones en el uso de insumos. Este hecho ha propiciado la práctica desaparición del cultivo bajo plástico, y ha obligado a cultivar nuevas variedades de ciclo corto. Los tratamientos fitosanitarios y el abonado también se han visto condicionados por el nuevo régimen económico del cultivo, disminuyéndose drásticamente las aplicaciones y cantidades empleadas con objeto de mantener la rentabilidad.

Tabla 2 Evolución de la superficie de algodón acogida a Producción Integrada en Andalucía durante el periodo 2003-2008 y superficie total de cultivo.

Año	Superficie (ha)		% Producción Integrada/Total
	Producción Integrada	Total	
2003	14.292,00	92.455,43	15,46%
2004	9.944,00	87.256,85	11,40%
2005	20.729,00	84.117,98	24,64%
2006	49.478,00	62.816,52	78,77%
2007	51.484,50	65.000,71	79,21%
2008	38.581,02	52.442,58	73,57%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA (Base de datos de gestión de ayudas) y de la Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera de la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP, 2009).

Antes de la reforma, tal y como se estableció en el “Diagnóstico del sector algodonero andaluz”⁵, en Andalucía se desarrollaban dos sistemas de cultivo según la disponibilidad de agua de riego y las características edafoclimáticas de las zonas de expansión (Valle y Marismas del Guadalquivir y Campiña de Sevilla, y en menor medida, los Valles del Genil y

³ Datos de la Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA (Base de datos de gestión de ayudas) correspondientes al año 2005.

⁴ Conjunto de medidas enmarcadas dentro de una estrategia global de desarrollo rural, que se orientan hacia un modelo de agricultura sostenible y con múltiples funciones, así como a la protección del patrimonio ecológico. Sus objetivos se centran en cinco ejes de actuación: agua, suelos, riegos naturales, biodiversidad y paisaje (MARM, 2009).

El respecto a las buenas prácticas agrarias habituales es un requisito básico para el acceso a este tipo de ayudas, estando los agricultores obligados a respetarlas en la totalidad de su explotación en caso de acogerse a ellas. Asimismo, se conceden en función del lucro cesante y del incremento de coste originado por el cumplimiento de cada medida agroambiental.

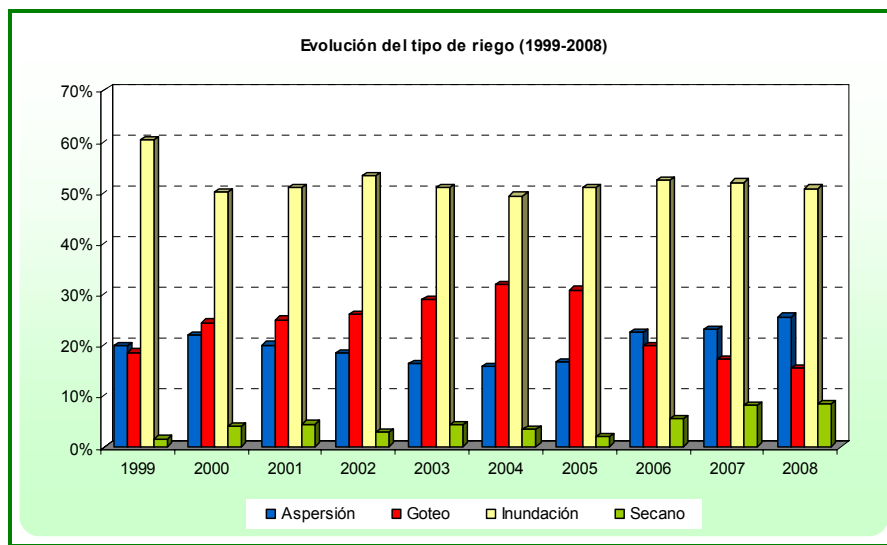
Las medidas son: extensificación de la producción agraria, variedades autóctonas de especies vegetales en riesgo de erosión genética, técnicas ambientales de racionalización del uso de productos químicos (entre las que se encuentra la producción integrada), lucha contra la erosión en medios frágiles, protección de flora y fauna en humedales, sistemas especiales de explotación con alto interés medioambiental, ahorro de agua de riego y fomento de la extensificación en la producción, protección del paisaje y prevención contra incendios y gestión integrada de las explotaciones ganaderas.

⁵ Diagnóstico del sector algodonero andaluz, Secretaría General de Agricultura y Ganadería (CAP, 2005).

Guadalete y litoral de Cádiz). Así, se practicaba el cultivo en secano y en regadío utilizándose diversos sistemas de riego (por superficie, aspersión o goteo)⁶.

En el periodo 2000-2005 el 96% de la superficie de algodón se cultivaba en regadío utilizándose en el 51% de esta superficie el riego por inundación, principalmente por surcos. Esta tendencia se ha mantenido en el periodo posterior (Gráfico 4).

Gráfico 4 Evolución del tipo de riego utilizado en el cultivo del algodón en Andalucía durante el periodo 1999-2008 (%).

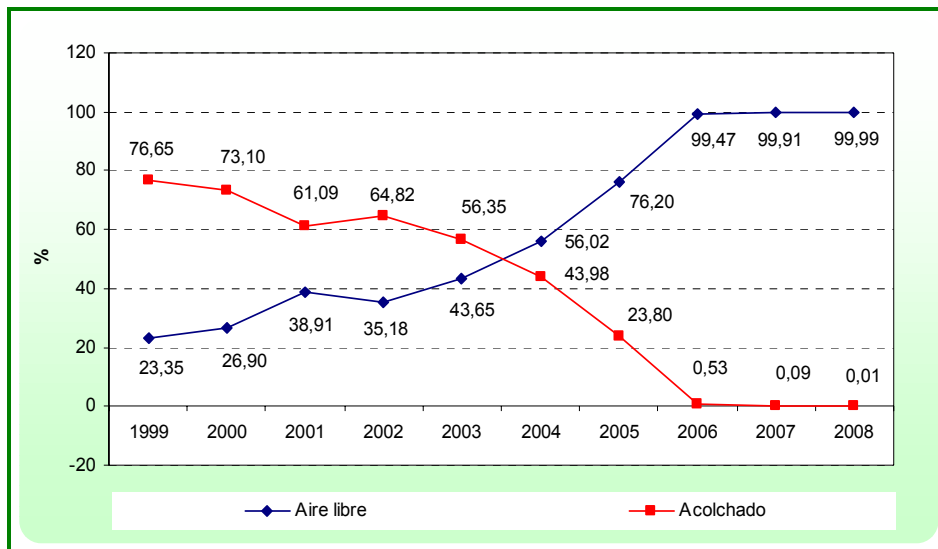


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA (Base de datos de gestión de ayudas) de la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP, 2009).

Respecto al acolchado, las tendencias, sin embargo, han sido muy distintas. La utilización o no de acolchado plástico para favorecer la nascencia tan sólo se ha planteado cuando el cultivo se realizaba en regadío, ya que esta práctica permite adelantar la siembra y utilizar variedades de ciclo más largo y resistentes a plagas y enfermedades. Pero, mientras en el periodo 2000-2003 el promedio de uso estaba alrededor del 63% de la superficie, desde 2002 a 2006 se inició un descenso drástico de la superficie acolchada, que prácticamente ha desaparecido (en 2007 representaba el 0,09% de la superficie y en 2008 el 0,01%) ya que los incrementos de rendimiento logrados no compensaban los costes generados (Gráfico 5).

⁶ Según la disponibilidad de instalaciones y bombeo en la zona en que se encontrase la explotación.

Gráfico 5 Evolución de la superficie de acolchado en Andalucía durante el periodo 1999-2008 (%).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA (Base de datos de gestión de ayudas) de la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP, 2009).

Dicho lo anterior, a la hora de estudiar el coste energético de cultivar algodón, se tendrán en cuenta tanto itinerarios representativos antes de la reforma, como tras ella. Por ello se definirán dos situaciones; por una parte un itinerario con un manejo “convencional” y mayoritario en el periodo pre-reforma (2000-2005) en el que a su vez se tiene en cuenta el uso o no del acolchado plástico, y por otra parte el itinerario utilizado tras la reforma (2006-2008) de forma generalizada y que es representativo de un manejo alternativo del cultivo del algodón (producción integrada). Éste será el que previsiblemente se mantendrá en el futuro. El objetivo es comparar los consumos de energía en esas situaciones dentro de un contexto en el que se busca la sostenibilidad.

2. Objetivos del estudio

El **objetivo general** del presente informe es **estudiar el balance energético de la producción de algodón** comparando el cultivo integrado al aire libre que se está desarrollando recientemente con los itinerarios que eran mayoritariamente utilizados en el periodo anterior a la reforma.

Como **objetivos específicos** cabe mencionar los siguientes:

- Identificar y cuantificar las entradas y salidas de energía primaria de los diferentes procesos que componen los itinerarios considerados para el cultivo del algodón.
- Identificar qué procesos de esos itinerarios demandan un mayor consumo de energía primaria.
- Determinar cuál de los itinerarios considerados es energéticamente más eficiente.

3. Metodología

Tal y como se ha comentado anteriormente, se ha procedido a estimar el coste energético del cultivo del algodón en dos escenarios. Por un lado, el manejo mayoritario del cultivo en el periodo anterior a la reforma (2000-2005), que representa un manejo convencional, y por otro, el manejo alternativo del cultivo, con menor uso de insumos, que se ha aplicado de forma generalizada en el periodo 2006-2008, posterior a la reforma.

En el itinerario pre-reforma se considera el riego por surcos, sistema de riego más extendido y presente en el 51% de la superficie regada, así como la utilización o no del acolchado plástico.

En el periodo post-reforma se considera un cultivo al aire libre (99% de la superficie), con riego por superficie, acogido además a la normativa de producción integrada con reducción en el uso de inputs.

Una vez llevada a cabo una profunda revisión bibliográfica acerca de los diversos aspectos que han de contemplarse cuando se realiza un estudio de las características del que nos ocupa, se ha procedido a realizar una caracterización de las necesidades energéticas de las labores de cultivo del algodón en los dos casos referidos anteriormente, así como de las relacionadas con la producción, envasado y transporte de los insumos utilizados en ambas situaciones (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, pesticidas y otros agroquímicos, como por ejemplo, defoliantes y fitoreguladores) y las vinculadas con los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos necesarios para la ejecución de los itinerarios considerados en cada uno de los casos desde el almacén hasta la parcela.

La Tabla 3 resume las características de los escenarios considerados.

Tabla 3 Características de los escenarios considerados.

	Escenarios considerados	
	Pre-reforma	Post-reforma
Tipo de riego	Por superficie	Por superficie
Uso de insumos	Ninguna limitación en relación al uso de insumos	Reducción en el uso de insumos por la aplicación de la normativa de producción integrada
Uso de acolchado	Con acolchado plástico Sin acolchado plástico	Sin acolchado plástico
Subsistemas considerados	Labores agrícolas (instauración, desarrollo y crecimiento del cultivo) Producción, envasado y transporte de insumos utilizados (fertilizantes y fitosanitarios) Desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén hasta la parcela	

Fuente: Elaboración propia.

Definidas las labores agrícolas a realizar en las diferentes etapas de cultivo, la fase siguiente consiste en establecer los consumos energéticos que implican, expresados en megajulios por tonelada de cosecha. La energía invertida en cada labor agrícola mecanizada se ha calculado en base al consumo de carburante que requiere. Estos valores, expresados en litros de gasóleo por hectárea, se han obtenido de la publicación del Instituto para la Diversificación y

Ahorro de la Energía (IDAE) “Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España” de marzo de 2005⁷. Para su transformación en términos energéticos, se ha considerado que 1 litro de gasóleo libera 42,47 MJ, incluyendo el aporte de la extracción y transporte del mismo⁸.

En aquellos casos en los que dichos datos no estaban disponibles, como por ejemplo, el consumo energético de la cosechadora de algodón, se han calculado empíricamente siguiendo las recomendaciones de Manuel Mingot en “El tractor agrícola” citado por Andrés Guerrero en su libro “Cultivos Herbáceos Extensivos” (1999).

Asimismo, para confeccionar los itinerarios pre-reforma, se han tenido en cuenta los datos y aportaciones de expertos y los resultados del estudio realizado por la Consejería de Agricultura y Pesca en 2005 “Diagnóstico del sector algodonero andaluz”. Para el itinerario post-reforma se han utilizado los datos de la Red Andaluza de Experimentación Agraria (RAEA) publicados en 2007 y los de la “Evaluación del impacto de la reforma del algodón en España” elaborada por el IFAPA en 2008.

Los gastos energéticos derivados de la producción, envasado y transporte de los insumos utilizados en el cultivo para los tres itinerarios considerados, básicamente comprenden los gastos energéticos que implica la obtención de los fertilizantes y productos fitosanitarios empleados en cada uno de ellos.

Así, en el caso de los abonados de fondo y cobertera utilizados en los itinerarios, para los que principalmente se utilizan abonos complejos N-P-K 8:15:15 y nitrogenados (urea 46% y nitrato amónico 34%), la energía primaria total se ha estimado a través de la energía primaria media que requiere la obtención de las cantidades correspondientes de cada uno de los componentes simples (nitrógeno, fósforo y potasio) de cada uno de los fertilizantes.

Para los tratamientos fitosanitarios, con diferencias significativas entre los itinerarios pre-reforma y post-reforma, la energía primaria total se ha calculado a partir de la energía primaria unitaria, expresada en megajulios por kilogramo, de cada tipo de tratamiento, en concreto, herbicidas, insecticidas, pesticidas y otros agroquímicos (defoliantes y reguladores del crecimiento).

Finalmente, cabe señalar que no se han tenido en cuenta los costes de fabricación y transporte de la maquinaria ni los de transporte y desmotado del producto.

3.1. Consideraciones previas

En relación a los consumos de gasóleo por hectárea para los itinerarios técnicos de cultivo establecidos, que se han extraído de la publicación “Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España” (IDAE, 2005), se ha asumido lo siguiente:

- Para las labores de preparación del suelo (pases de subsolador, vibrocultivador y cultivador) los requerimientos energéticos considerados corresponden a un suelo de textura pesada y una profundidad de trabajo alta.

⁷ Los datos extraídos de dicha fuente bibliográfica hacen referencia al consumo de gasóleo para cada una de las labores agrícolas consideradas.

⁸ Se ha considerado un valor calorífico neto del gasóleo de 36,61 MJ/l (IEA, 2007) y que la energía requerida para la producción y transporte de una unidad de gasóleo es un 16% de su valor calorífico neto (West y Marland, 2002). Por lo tanto, el valor calorífico neto total del gasóleo, incluido su extracción y transporte, es 42,47 MJ.

- Para las labores de control mecánico de malas hierbas y abonado de cobertera, se ha considerado una textura de suelo pesada y una profundidad de trabajo baja.
- En el caso del abonado, siembra y tratamientos herbicidas se ha considerado una anchura del apero (o trabajo en la labor) normal.
- En relación a la recolección, en la que se incluye el empacado, se ha considerado una capacidad de trabajo “media”.

Por otra parte, a la hora de realizar los cálculos, no se han considerado los costes energéticos del riego, ya que se considera que se utiliza riego por gravedad.

Para el cálculo de la energía primaria requerida en la fertilización se ha estimado la energía primaria media que requiere la obtención de las cantidades correspondientes de cada uno de los componentes simples del abono utilizado, a partir de los datos de Gellings y Parmenter (2004) que se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 4 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de fertilizantes simples (nitrógeno, fósforo y potasio).

	Energía requerida para la producción, envasado y transporte de fertilizantes (MJ/kg fertilizante)		
	Nitrógeno fertilizante	Fósforo fertilizante	Potasio fertilizante
Producción	69,53	7,70	6,40
Envasado	2,60	2,60	1,80
Transporte	4,50	5,70	4,60
TOTAL	76,63	16,00	12,80

Fuente: Elaboración propia a partir de Gellings y Parmenter (2004).

En lo que respecta a los tratamientos fitosanitarios, los itinerarios técnicos elaborados contemplan diversos tratamientos con herbicidas, insecticidas, acaricidas, y fungicidas, además de otros agroquímicos destinados al control del desarrollo del cultivo, tales como reguladores del crecimiento y defoliantes. Se han utilizado los datos reflejados en la Tabla 5 para calcular el consumo de energía primaria necesario para la producción, envasado y transporte de cada uno de los diferentes productos. En los datos recogidos de NNFCC⁹ (2008) no se contemplan ciertos agroquímicos específicos para el cultivo del algodón, como reguladores de crecimiento y defoliantes, por lo que se ha considerado como energía primaria requerida en su producción, envasado y transporte la media de los insumos que sí se reflejan.

⁹ “National Non-Food Crops Centre”. Centro Nacional de Combustibles Renovables, Materiales y Tecnologías del Reino Unido que desarrolla y lleva a cabo tareas de información y asesoramiento en relación a estas áreas de trabajo.

Tabla 5 Energía primaria requerida para la producción de diferentes productos (fungicidas, herbicidas e insecticidas) incluido su envasado y transporte.

Tipo de insumo	Energía primaria requerida en la producción, envasado y transporte (MJ/kg insumo)
Fungicidas	174,00
Herbicidas	265,00
Insecticidas	214,00
Pesticidas	269,00
Media	230,50

Fuente: Elaboración propia a partir de NNFCC (2009).

Para considerar todo el sistema de producción, se han tenido en cuenta también las cargas energéticas derivadas de la producción de la semilla de siembra para la implantación del cultivo, incluyéndose un coeficiente de corrección en los cálculos del coste energético por hectárea (factor de producción de semilla). Para calcular ese coeficiente se ha utilizado el histórico de producción de semilla publicado por AEDA (Asociación Española de Desmotadoras de Algodón) desde 1988, que determina que, como término medio, se dedica a fibra el 32% y a semilla el 52% de la producción bruta de algodón. Asimismo, se han diferenciado los rendimientos de algodón obtenidos en el caso de utilizar acolchado plástico y en el caso de no usarlo (Tabla 6).

Tabla 6 Evolución del rendimiento del algodón en Andalucía durante el periodo 1999-2008 (riego por superficie sin y con acolchado plástico).

Año	Rendimiento (kg/ha)	
	Riego por superficie sin acolchado plástico	Riego por superficie con acolchado plástico
1999	3.299	3.776
2000	3.129	3.207
2001	3.315	3.750
2002	3.386	3.705
2003	3.149	3.082
2004	3.988	4.297
2005	4.139	4.347
2006	2.445	2.204
2007	2.279	1.557
2008	1.445	2.452

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA (Base de datos de gestión de ayudas) de la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP, 2009).

De la tabla anterior, se deduce que el rendimiento medio de algodón bruto producido con riego por superficie en el periodo 2000-2005 en Andalucía fue de 3.625 kg/ha¹⁰, siendo el rendimiento medio de semilla correspondiente para ese periodo de 1.885 kg/ha. Considerar o no el acolchado plástico, implica variaciones significativas en los rendimientos medios. Así, en ese periodo, para el cultivo con acolchado plástico, el rendimiento medio fue de 3.732 kg/ha (rendimiento en semilla de 1.940 kg/ha) y de 3.518 kg/ha (rendimiento en semilla de 1.829 kg/ha) para el cultivo sin acolchado plástico. Estableciendo una dosis de siembra de 30 kg/ha en ambos casos, los factores de producción de semilla son 1,0155 y 1,0164 respectivamente.

En el periodo 2006-2008 el rendimiento medio de algodón bruto producido mediante riego por superficie alcanzó las 2.056 kg/ha, siendo el rendimiento de semilla correspondiente para ese periodo de 1.069 kg/ha. Considerando una dosis de siembra de 15 kg/ha, el factor de producción de semilla es igual a 1,0140.

Los datos e informaciones relacionadas con los rendimientos considerados y factores de producción de semilla calculados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 7 Rendimientos y factores de producción de semilla considerados en el estudio.

Rendimientos y factores de producción de semilla considerados			
PRE-REFORMA (2000-2005)	Rendimiento medio de algodón bruto (t/ha)	Rendimiento medio de semilla de algodón (t/ha)	Factor de producción de semilla
Itinerario pre-reforma 1: riego por superficie con acolchado de plástico	3,732	1,940	1,0155
Itinerario pre-reforma 2: riego por superficie sin acolchado de plástico	3,518	1,829	1,0164
POST-REFORMA (2006-2008)	Rendimiento medio de algodón bruto (t/ha)	Rendimiento medio de semilla de algodón (t/ha)	Factor de producción de semilla
Itinerario post-reforma: riego por superficie sin acolchado de plástico	2,056	1,069	1,0140

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA (Base de datos de gestión de ayudas) de la Consejería de Agricultura y Pesca (CAP, 2009).

Respecto al cálculo del consumo de carburante necesario para los desplazamientos de la maquinaria agrícola desde el almacén a la parcela de cultivo se ha considerado una distancia media desde el almacén donde se localiza la maquinaria agrícola hasta la parcela de 3,50 kilómetros y se han tenido en cuenta los consumos de los trabajos de desplazamiento y transporte establecidos por el IDAE (IDAE, 2005), que diferencia entre consumo “medio”, “máximo” y “mínimo” en función de las condiciones de trabajo para el desplazamiento de la maquinaria con carga y sin ella. En este sentido, se considera que el consumo de carburante es variable para determinadas máquinas (sembradoras y maquinaria de distribución de fertilizantes y fitosanitarios):

¹⁰ Media del rendimiento medio del cultivo del algodón con riego por superficie sin acolchado en el periodo 2000-2005 (3.518 kg/ha) y el rendimiento medio del cultivo del algodón con riego por superficie con acolchado en el periodo 2000-2005 (3.732 kg/ha).

- Para la maquinaria utilizada para la distribución de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios (abonadoras, pulverizadores y atomizadores) se han considerado dos situaciones: que la máquina vaya cargada (de fertilizante o producto fitosanitario), en cuyo caso el consumo de carburante será superior al que se produce cuando la máquina termina la operación de cultivo y vuelve de nuevo al almacén sin carga. El consumo de carburante considerado cuando la máquina vuelve sin carga se ha considerado que es igual al que se ha tenido en cuenta para el desplazamiento hasta la parcela del resto de maquinaria que interviene en el cultivo. En ambas situaciones (“vacío” y “cargado”) se ha establecido un consumo de gasóleo “medio”.
- En el caso de la sembradora, que presenta necesidades energéticas mayores, se ha considerado un consumo de gasóleo máximo, tanto si la máquina va cargada como si vuelve tras la siembra sin carga.

3.2. Itinerarios pre-reforma

Como ya se ha comentado anteriormente en el apartado de metodología, en el periodo pre-reforma se han considerado dos itinerarios, diferenciados por el uso o no del acolchado plástico. Así, y como se explica en los apartados siguientes, en el itinerario pre-reforma que incluye esta práctica, la colocación del plástico se realiza a la vez que la siembra, mediante un apero específico en la sembradora, y la retirada suele hacerse de forma manual.

3.2.1. Itinerario pre-reforma 1: riego por superficie con acolchado plástico

La Tabla 8 muestra el itinerario pre-reforma con acolchado plástico considerado. Se caracteriza por el uso del acolchado, elevada densidad de siembra y riego por superficie.

Tabla 8 Itinerario técnico pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico).

Etapa	Labor	Componente	Número	Unidad
Presiembra	Preparación del terreno	Subsolador	1	pase
		Chisel	1	pase
		Grada	1	pase
		Rulo	1	pase
	Abonado de fondo	Abono complejo: N-P-K, 8:15:15	600	kg
		Abonadora centrífuga (distribución)	1	pase
		Grada (enterrado) / Vertedera (alomado)	1	pase
	Control de malas hierbas	Herbicida terbutilazina 48%	2	l
		Aplicación de fitoquímico (pulverizador)	1	pase
		Vibrocultivador / Grada rotativa	3	pase
Siembra	Siembra	Sembradora de semi-precisión	1	pase
		Semilla	30	kg
		Capa plástico (55 galgas)	85	kg
		Desinfección suelo (Carbofurano 20%)	8	kg
		Herbicida de siembra (Fluometurón 50%)	2	l
		Riego de nascencia	0,55	jornal
Crecimiento	Gestión del acolchado	Perforación del acolchado	0,50	jornal
		Levantamiento y recogida de restos	1	jornal
	Abonado de cobertera	Primer abonado (nitrato amónico)	300	kg
		Transporte y distribución (grada)	1	pase
		Segundo abonado (urea)	150	kg
		Transporte y distribución (grada)	1	pase
	Control de malas hierbas	Cultivador	2	pase
		Aporcado	2	pases
		Escarda manual: azada	2	jornal
	Riego	Operación de riego (6 riegos)	3	jornal
	Tratamientos fitosanitarios	Insecticidas (varios) (heliiothis, gusano rosado, araña roja)	7,75	l
		Aplicación del insecticida (pulverizador)	6	pase
		Fitorregulador del crecimiento (Mepicuat-Cloruro 5%)	0,50	l
		Aplicación del fitorregulador (pulverizador)	2	pase
		Defoliante (Tidiazuron 50%)	0,30	Kg
		Aplicación del defoliante (pulverizador)	1	pase
Recolección	Recolección	Cosechadora	2	pase
		Apisonado en remolques y Transporte	2	pase
		Arrancado y eliminación de restos de cultivo (grada)	1	pase

Fuente: Elaboración propia.

El uso del acolchado permite adelantar la siembra y utilizar variedades de ciclo más largo resistentes a plagas y enfermedades, con las que se mejora la calidad de la fibra y el rendimiento.

Para calcular el coste energético asociado a este itinerario se han agrupado las operaciones que se realizan en el cultivo del algodón en cuatro fases: **presiembra, siembra, crecimiento y recolección.**

▪ **Presiembra:**

Incluye las labores de preparación del terreno, el abonado de fondo y los herbicidas de presiembra.

Se considera un pase de subsolador y chisel con un pase de grada y rulo. El abonado de fondo se distribuye mediante centrífuga y se entierra con un pase de grada. A la vez se realiza un alomado con una doble vertedera.

Hasta la siembra, se realizan tres pases de cultivadores para controlar las malas hierbas, incorporando el herbicida mediante grada rotativa (rolling).

▪ **Siembra:**

Se realiza mediante sembradora de semiprecisión. En el mismo pase se incorpora herbicida e insecticida y finalmente se coloca el plástico. Se siembran 30 kg/ha de semilla desbarrada químicamente y desinfectada.

▪ **Crecimiento:**

En esta fase se consideran las labores de gestión del acolchado, el abonado, el riego, el control de las malas hierbas y los tratamientos fitosanitarios.

▪ **Recolección:**

Se ha considerado tanto la recolección, con dos pases con cosechadora, como el apisonado en el remolque y transporte para un rendimiento de 3.732 kg/ha (media en el periodo 2000-2005). También se consideran las labores de arrancado y eliminación de restos de cultivo con grada de discos.

3.2.2. Itinerario pre-reforma 2: riego por superficie sin acolchado plástico

El itinerario pre-reforma sin acolchado es idéntico al anterior (alta densidad de siembra y riego por superficie), pero sin considerar el uso del acolchado. Las labores que incluye, se recogen en la Tabla 9.

Tabla 9 Itinerario técnico pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado).

Etapa	Labor	Componente	Número	Unidad
Presiembra	Preparación del terreno	Subsolador	1	pase
		Chisel	1	pase
		Grada	1	pase
		Rulo	1	pase
	Abonado de fondo	Abono complejo: N-P-K, 8:15:15	600	kg
		Abonadora centrífuga (distribución)	1	pase
		Grada (enterrado) / Vertedera (alomado)	1	pase
	Control de malas hierbas	Herbicida terbutilazina 48%	2	l
		Aplicación de fitoquímico (pulverizador)	1	pase
Vibrocultivador / Grada rotativa		3	pase	
Siembra	Siembra	Sembradora de semi-precisión	1	pase
		Semilla	30	kg
		Desinfección suelo (Carbofurano 20%)	8	kg
		Herbicida de siembra (Fluometurón 50%)	2	l
		Riego de nascencia	0,55	jornal
Crecimiento	Abonado de cobertera	Primer abonado (nitrato amónico)	300	kg
		Transporte y distribución (grada)	1	pase
		Segundo abonado (urea)	150	kg
		Transporte y distribución (grada)	1	pase
	Control de malas hierbas	Cultivador	2	pase
		Aporcado	2	pases
		Escarda manual: azada	2	jornal
	Riego	Operación de riego (6 riegos)	3	jornal
	Tratamientos fitosanitarios	Insecticidas (varios) (heliethis, gusano rosado, araña roja)	7,75	l
		Aplicación del insecticida (pulverizador)	6	pase
		Fitorregulador del crecimiento (Mepicuat-Cloruro 5%)	0,50	l
		Aplicación del fitorregulador (pulverizador)	2	pase
Defoliante (Tidiazuron 50%)		0,30	kg	
Aplicación del defoliante (pulverizador)		1	pase	
Recolección	Recolección	Cosechadora	2	pase
		Apisonado en remolques y Transporte	2	pase
		Arrancado y eliminación de restos de cultivo (grada)	1	pase

Fuente: Elaboración propia.

Se trata de un itinerario prácticamente idéntico al anterior, si bien, el cultivo es al aire libre, no realizándose la colocación del acolchado plástico, obteniéndose un rendimiento de 3.518 kg/ha (media en el periodo 2000-2005).

3.3. Itinerario post-reforma: riego por superficie sin acolchado plástico

Como ya se ha comentado anteriormente, tras la aplicación de la reforma del régimen de ayudas, los agricultores se han acogido de forma mayoritaria al cultivo del algodón en producción integrada para poder acceder a las ayudas agroambientales. Asimismo, para mantener la rentabilidad del cultivo, han introducido pequeñas modificaciones en las labores culturales del itinerario de cultivo para disminuir los costes de producción.

Por ello, el itinerario post-reforma que se lleva a cabo no hace uso del acolchado plástico, emplea menores dosis de agua, nitrógeno y productos fitoquímicos que los máximos permitidos, así como variedades generalmente de ciclo más corto y más adecuadas a las condiciones del medio, si bien, con mayor sensibilidad a *Verticilium*, lo que provoca una disminución del rendimiento.

Por tanto, el itinerario post-reforma más utilizado se caracteriza por no utilizar el acolchado plástico, presentar baja densidad de siembra, emplear riego por superficie y por la escasa utilización de insumos (Tabla 10).

Tabla 10 Itinerario técnico post-reforma integrado (riego por superficie sin acolchado plástico).

Etapa	Labor	Componente	Número	Unidad
Presiembra	Preparación del terreno	Subsolador	1	pase
		Chisel	1	pase
		Grada rotativa	1	pase
		Cultivador	1	pase
	Control de malas hierbas	Herbicida preemergencia (Trifluralina)	1	l
		Aplicación de fitoquímico (pulverizador)	1	pase
Vibrocultivador / Grada rotativa		3	pase	
Siembra	Siembra	Sembradora neumática de precisión	1	pase
		Semilla ciclo corto	15	kg
		Herbicida de postemergencia (Fluometurón 50%)	2	l
		Riego de pre-siembra	0,55	jornal
Crecimiento	Abonado de cobertera	Abonado (Nitrato amónico 34%)	300	kg
		Transporte y distribución (grada)	1	pase
	Control de malas hierbas	Cultivador binador	2	pase
		Aporcado con grada de disco	1	pase
		Escarda manual: azada	2	pases
	Riego	Operación de riego (2 riegos por surcos)	1	jornal
	Tratamientos fitosanitarios	Insecticidas (varios) (heliiothis, gusano rosado, araña roja)	6	l
		Aplicación del insecticida (pulverizador)	3	pases
		Fitorregulador del crecimiento (Mepicuat-Cloruro 5%)	0,50	l
		Aplicación del fitorregulador (pulverizador)	2	pase
Defoliante (Tidiazuron 50%)		0,40	kg	
Aplicación del defoliante (pulverizador)		1	pase	
Recolección	Recolección	Cosechadora	1	pase
		Apisonado en remolques y transporte	1	pase
		Arrancado y eliminación de restos de cultivo (grada)	1	pase

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de RAEA (2007) e IFAPA (2008).

▪ **Presiembra:**

Incluye las labores de preparación del terreno y los herbicidas de presiembra.

Se consideran dos pases de subsolador o chisel, con un pase de grada y otro de cultivador para controlar las malas hierbas.

Desaparece el abonado de fondo, salvo en suelos muy pobres, siendo lo más recomendable la siembra sobre terrenos donde se hubieran instaurado cultivos con altas demandas de fertilización como son el maíz o la remolacha.

Si se realiza alomado, no se incorporan herbicidas ni fertilizantes, incorporándose el herbicida de preemergencia (trifluralina 1 l/ha) mediante grada rotativa un mes antes de la siembra.

▪ **Siembra:**

Se realiza mediante sembradora neumática de precisión, incorporándose en el mismo pase el herbicida e insecticida. Se siembran 15 kg/ha de semilla desbarrada químicamente y desinfectada.

La siembra se realiza a poca profundidad, en tempero y con variedades de ciclo corto.

▪ **Crecimiento:**

En esta fase se consideran las labores de abonado, el riego, el control de las malas hierbas y los tratamientos fitosanitarios.

El abonado de cobertera se realiza con la aparición de los botones florales antes del primer riego hasta un máximo de 100 unidades de nitrógeno.

Se realiza una labor de aporcado con grada de discos para facilitar el riego que, sin contar el de presembrado, se realizará lo más tardío posible (sin que la planta sufra estrés hídrico) y levemente deficitario (lo que actuará como regulador del crecimiento).

El control de las malas hierbas se realiza mecánicamente mediante cultivador o escarda manual.

Los tratamientos fitosanitarios depende de la incidencia de plagas y enfermedades a lo largo del cultivo, pero teniendo en cuenta las limitaciones en el uso de materias activas que han entrado en vigor este periodo.

El uso de fitoreguladores se realiza en dos fases en función del vigor de la planta: el primero al aparecer los botones florales y el segundo cuando el quinto entrenudo a partir del ápice sobrepase los 5 centímetros de longitud.

Aunque algunos agricultores no utilizan defoliante, se recomienda su uso para no mermar en demasía la calidad del producto.

▪ **Recolección:**

La recolección incluye un pase con cosechadora, apisonado en remolque y transporte del mismo para un rendimiento de 2.056 kg/ha (rendimiento medio en el periodo 2006-2008 en condiciones de riego por superficie sin acolchado plástico). Mayoritariamente se emplea cosechadoras de tipo “stripper”¹¹, hecho que incide en un mayor número de impurezas. Sería necesaria una evaluación económica para realizar un segundo pase, pero mayoritariamente no se realiza.

También se consideran el arrancado y eliminación de restos de cultivo con grada de discos.

¹¹ Las cosechadoras tipo “stripper” (o de cápsulas) recogen las cápsulas de algodón mediante el “peinado” de las plantas, en una sola pasada. Posteriormente, las cápsulas se procesan para separar la fibra con la semilla de la cáscara (MARM, 2008).

4. Resultados

4.1. Requerimientos energéticos de las labores agrícolas

4.1.1. Itinerario pre-reforma 1: riego por superficie con acolchado plástico

En la Tabla 11 se muestra la energía primaria que requieren las labores agrícolas mecanizadas del cultivo del algodón en el itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico).

Los cálculos se han realizado a partir de los consumos energéticos unitarios propuestos por el IDAE para las distintas tareas agrícolas y un factor de conversión de 42,47 MJ/l de gasóleo, que incluye el consumo energético de su producción y transporte. Asimismo, se ha tenido en cuenta un rendimiento de algodón bruto de 3,732 t/ha (rendimiento en semilla de 1,940 t/ha) y un factor de producción de semilla de 1,0155.

Asimismo, en este apartado también se incluye el coste energético de la producción del plástico para el acolchado del cultivo, que es, de manera sustancial, el coste más importante de esta sección.

Tabla 11 Energía requerida para realizar las labores mecanizadas del itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico).

Etapa	Labor	Componente	l/ha	MJ/ha	MJ/t
Presiembra	Preparación del terreno	Subsolador	30,00	1.293,80	346,72
		Chisel	18,00	776,28	208,03
		Grada de discos	10,00	431,27	115,57
		Rulo	5,00	215,63	57,79
	Abonado de fondo	Abonadora centrífuga (distribución)	1,50	64,69	17,34
		Grada (enterrado) / Vertedera (alomado)	30,00	1.293,80	346,72
	Control de malas hierbas	Aplicación de fitoquímico (pulverizador)	1,10	47,44	12,71
		Vibrocultivador / Grada rotativa	18,00	776,28	208,03
Total (Presiembra)			113,60	4.899,18	1.312,91
Siembra	Siembra	Sembradora de semi-precisión	7,00	301,89	80,90
		Capa plástico (55 galgas)	---	5.925,44	1.669,14
	Total (Siembra)			7,00	6.227,33
Crecimiento	Abonado de cobertera	Transporte y distribución (grada)	5,00	215,63	57,79
		Transporte y distribución (grada)	5,00	215,63	57,79
	Control de malas hierbas	Cultivador	16,00	690,03	184,92
		Aporcado	9,00	388,14	104,02
	Tratamientos fitosanitarios	Aplicación del insecticida (pulverizador)	6,60	284,64	76,28
		Aplicación del fitoregulador (pulverizador)	2,20	94,88	25,43
		Aplicación del defoliante (pulverizador)	1,10	47,44	12,71
Total (Crecimiento)			44,90	1.936,38	518,92
Recolección	Recolección	Cosechadora	51,54	2.222,75	595,66
		Apisonado en remolques y transporte	5,00	215,63	57,79
		Arrancado y eliminación de restos de cultivo (grada disco)	10,00	431,27	115,57
	Total (Recolección)			66,54	2.869,64
TOTAL			232,04	15.932,54	4.350,89

El coste energético del acolchado plástico se ha tomado de Roselló y Oltra (2000), donde calculan el coste energético del acolchado en sandía (equivalente al del algodón) en 1.404.347 kcal/ha y año (lo que equivale a 5.875,79 MJ/ha y año).

El cálculo del consumo energético de la cosechadora (no incluido en la publicación del IDAE) se ha realizado considerando que el consumo medio de un tractor, cuando realiza trabajos que exigen alrededor del 50% de su potencia máxima es del orden de 0,2 l/h por CV desarrollado.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Itinerario pre-reforma 2: riego por superficie sin acolchado plástico

La Tabla 12 muestra la energía primaria que requieren las labores agrícolas mecanizadas del cultivo del algodón en el itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico).

Los cálculos se han realizado, como en el caso anterior, a partir de los consumos energéticos unitarios propuestos por el IDAE para las distintas tareas agrícolas y un factor de conversión de 42,47 MJ/l de gasóleo, que incluye el consumo energético de su producción y transporte.

Asimismo, se ha tenido en cuenta un rendimiento de algodón bruto de 3,518 t/ha (rendimiento en semilla de 1,829 t/ha) y un factor de producción de semilla de 1,0164.

Tabla 12 Energía requerida para realizar las labores mecanizadas del itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico).

Etapa	Labor	Componente	l/ha	MJ/ha	MJ/t
Presiembra	Preparación del terreno	Subsolador	30,00	1.295,00	368,13
		Chisel	18,00	777,00	220,88
		Grada de discos	10,00	431,67	122,71
		Rulo	5,00	215,83	61,35
	Abonado de fondo	Abonadora centrífuga (distribución)	1,50	64,75	18,41
		Grada (enterrado) / Vertedera (alomado)	30,00	1.295,00	368,13
	Control de malas hierbas	Aplicación de fitoquímico (pulverizador)	1,10	47,48	13,50
		Vibrocultivador / Grada rotativa	18,00	777,00	220,88
Total (Presiembra)			113,60	4.903,72	1.393,97
Siembra	Siembra	Sembradora de semi-precisión	7,00	302,17	85,90
	Total (Siembra)			7,00	302,17
Crecimiento	Abonado de cobertera	Transporte y distribución (grada)	5,00	215,83	61,35
		Transporte y distribución (grada)	5,00	215,83	61,35
	Control de malas hierbas	Cultivador	16,00	690,66	196,33
		Aporcado	9,00	388,50	110,44
	Tratamientos fitosanitarios	Aplicación del insecticida (pulverizador)	6,60	284,90	80,99
		Aplicación del fitoregulador (pulverizador)	2,20	94,97	27,00
		Aplicación del defoliante (pulverizador)	1,10	47,48	13,50
	Total (Crecimiento)			44,90	1.938,18
Recolección	Recolección	Cosechadora	51,54	2.224,80	632,44
		Apisonado en remolques y transporte	5,00	215,83	61,35
		Arrancado y eliminación de restos de cultivo (grada disco)	10,00	431,67	122,71
	Total (Recolección)			66,54	2.872,30
TOTAL			232,04	10.016,36	2.847,33

El cálculo del consumo energético de la cosechadora (no incluido en la publicación del IDAE) se ha realizado considerando que el consumo medio de un tractor, cuando realiza trabajos que exijan alrededor del 50% de su potencia máxima es del orden de 0,2 l/h por CV desarrollado.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Itinerario post-reforma: riego por superficie sin acolchado plástico

La Tabla 13 muestra la energía primaria que requieren las labores agrícolas mecanizadas en el cultivo del algodón en el itinerario post-reforma, caracterizado por ser al aire libre y presentar riego por superficie.

Los cálculos se han realizado, como en los dos casos anteriores, a partir del itinerario de cultivo considerado y los consumos energéticos unitarios propuestos por el IDAE para las distintas

labores agrícolas y un factor de conversión de 42,47 MJ/l de gasóleo, que incluye el consumo energético de su producción y transporte. Asimismo, se ha tenido en cuenta un rendimiento de algodón bruto de 2,056 t/ha (rendimiento en semilla de 1,069 t/ha) y un factor de producción de semilla de 1,0140.

Tabla 13 Energía requerida para realizar las labores mecanizadas del itinerario post-reforma (riego por superficie sin acolchado plástico).

Etapa	Labor	Componente	l/ha	MJ/ha	MJ/t
Presiembra	Preparación del terreno	Subsolador	30,00	1.291,97	628,29
		Chisel	18,00	775,18	376,97
		Grada de discos	10,00	430,66	209,43
		Cultivador	10,00	430,66	209,43
	Control de malas hierbas	Aplicación de herbicida presiembra (pulverizador)	1,10	47,37	23,04
		Vibrocultivador	6,00	258,39	125,66
Total (Presiembra)			75,10	3.234,24	1.572,81
Siembra	Siembra	Sembradora de precisión con aplicador de herbicida y de desinfectante	6,50	279,93	36,13
	Total (Siembra)			6,50	279,93
Crecimiento	Abonado de cobertera	Distribución abonado de cobertera (abonadora centrífuga)	1,50	64,60	31,41
		Enterrado (Vibrocultivador entre líneas)	6,00	258,39	125,66
	Control de malas hierbas	Cultivador binador (entre líneas)	9,00	387,59	188,49
		Aporcado con grada de disco entre líneas	9,00	387,59	188,49
	Tratamientos fitosanitarios	Aplicación de insecticida (pulverizador)	3,30	142,12	69,11
		Aplicación de fitoregulador (pulverizador)	2,20	94,74	46,07
		Aplicación de defoliante (pulverizador)	1,10	47,37	23,04
	Total (Crecimiento)			32,10	1.382,41
Recolección	Recolección	Cosechadora	25,77	1.109,80	539,70
		Apisonado en remolque y transporte	2,50	107,66	52,36
		Arrancado y eliminación de restos de cultivo (grada disco)	10,00	430,66	209,43
	Total (Recolección)			38,27	1.648,13
TOTAL			151,97	6.544,70	3.182,70

El cálculo del consumo energético de la cosechadora (no incluido en la publicación del IDAE) se ha realizado considerando que el consumo medio de un tractor, cuando realiza trabajos que exijan alrededor del 50% de su potencia máxima es del orden de 0,2 l/h por CV desarrollado.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Resumen de los requerimientos energéticos de las labores agrícolas de los itinerarios considerados

La Tabla 14 resume la energía primaria en megajulios por tonelada de algodón que requieren las tareas agrícolas mecanizadas en los tres itinerarios considerados en el estudio.

Tabla 14 Energía requerida para realizar las labores agrícolas mecanizadas en cada uno de los itinerarios considerados en el estudio.

Etapa	Labor	Itinerario pre-reforma		Itinerario post-reforma
		Riego por superficie con acolchado plástico MJ/t	Riego por superficie sin acolchado plástico MJ/t	Riego por superficie sin acolchado plástico MJ/t
Presiembra	Preparación del terreno	728,11	773,06	1.424,12
	Abonado de fondo	364,05	386,53	---
	Control de malas hierbas	220,74	234,37	148,69
	Total (Presiembra)	1.312,91	1.393,97	1.572,81
Siembra	Siembra	1.750,04	85,90	136,13
	Total (Siembra)	1.750,04	85,90	136,13
Crecimiento	Abonado de cobertera	115,57	122,71	157,07
	Control de malas hierbas	288,93	306,77	376,97
	Tratamientos fitosanitarios	114,42	121,48	138,22
	Total (Crecimiento)	518,92	550,96	672,27
Recolección	Recolección	769,02	816,50	801,49
	Total (Recolección)	769,02	816,50	801,49
TOTAL		4.350,89	2.847,33	3.182,70

Fuente: Elaboración propia.

La principal diferencia en los requerimientos energéticos de los dos itinerarios de pre-reforma considerados es la carga derivada del uso de acolchado plástico en el primero de ellos. Así, en el itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico) la carga energética del acolchado plástico supone el 38,36% del total de los requerimientos energéticos de las labores agrícolas. En el mismo sentido, en el itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico) la siembra supone el 40,22% de la totalidad de las necesidades energéticas de las tareas agrarias incluidas en el itinerario completo, mientras que en el itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico) supone apenas el 3,02%.

4.2. Requerimientos energéticos de la producción, envasado y transporte de los fertilizantes

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la estimación de la energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los fertilizantes utilizados en el cultivo de algodón para los tres itinerarios considerados.

4.2.1. Itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico) e itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico)

Las necesidades del cultivo se cubren con 600 kg/ha de abono complejo N-P-K (8:15:15) aplicados en la fertilización de fondo y 171 kg de N en un abonado de cobertera en dos fases (300 kg de nitrato amónico y 150 kg de urea), por lo que la energía primaria estimada se ha calculado como la suma de la energía necesaria para la producción, envasado y transporte del nitrógeno, fósforo y potasio fertilizantes en las proporciones pertinentes.

En la Tabla 15 se muestran los resultados de los cálculos realizados para el abonado de fondo y en la Tabla 16 los resultados del abonado de cobertera.

Tabla 15 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los fertilizantes (nitrógeno, fósforo y potasio) empleados en el abonado de fondo de los dos itinerarios pre-reforma.

Energía requerida para la producción, envasado y transporte de fertilizantes		MJ/kg fertilizante	MJ/ha	Itinerario pre-reforma	
				Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Nitrógeno fertilizante	Producción	69,53	3.337,44	908,21	964,29
	Envasado	2,60	124,80	33,96	36,06
	Transporte	4,50	216,00	58,78	62,41
	Total	76,63	3.678,24	1.000,95	1.062,75
Fósforo fertilizante	Producción	7,70	304,92	82,98	88,10
	Envasado	2,60	102,96	28,02	29,75
	Transporte	5,70	225,72	61,42	65,22
	Total	16,00	633,60	172,42	183,07
Potasio fertilizante	Producción	6,40	478,08	130,10	138,13
	Envasado	1,80	134,46	36,59	38,85
	Transporte	4,60	343,62	93,51	99,28
	Total	12,80	956,16	260,20	276,26
N-P-K (8:15:15) 600 kg			5.268,00	1.433,57	1.522,08

Para el cálculo de la energía primaria requerida para la producción de los distintos elementos que componen el abono utilizado se han considerado los valores propuestos por Gellings y Parmenter (2004). Asimismo, se han considerado los factores de producción de semilla y los rendimientos medios establecidos para ambos itinerarios que se incluyen en la Tabla 7.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los fertilizantes (nitrógeno, fósforo y potasio) empleados en el abonado de cobertera de los dos itinerarios pre-reforma.

Energía requerida para la producción, envasado y transporte de fertilizantes		MJ/kg fertilizante	MJ/ha	Itinerario pre-reforma	
				Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Nitrógeno fertilizante	Producción	69,53	7.092,06	1.929,95	2.049,11
	Envasado	2,60	265,20	72,17	76,62
	Transporte	4,50	459,00	124,91	132,62
	Total	76,63	7.816,26	2.127,02	2.258,35
Nitrato amónico 300 kg (34-0-0)			7.816,26	2.127,02	2.258,35
Energía requerida para la producción, envasado y transporte de fertilizantes		MJ/kg fertilizante	MJ/ha	Itinerario pre-reforma	
				Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Nitrógeno fertilizante	Producción	69,53	4.797,57	1.305,55	1.386,16
	Envasado	2,60	179,40	48,82	51,83
	Transporte	4,50	310,50	84,50	89,71
	Total	76,63	5.287,47	1.438,87	1.527,71
Urea 150 kg (46-0-0)			5.287,47	1.438,87	1.527,71

Para el cálculo de la energía primaria requerida para la producción de los distintos elementos que componen el abono utilizado se han considerado los valores propuestos por Gellings y Parmenter (2004). Asimismo, se han considerado

los factores de producción de semilla y los rendimientos medios establecidos para ambos itinerarios que se incluyen en la Tabla 7.

Fuente: Elaboración propia.

De las tablas anteriores cabe destacar que mientras para los casos del fósforo y potasio fertilizante, los requerimientos energéticos para la producción, el envasado y el transporte suponen aproximadamente un 48%, un 16% y un 36% respectivamente del total, en el caso del nitrógeno fertilizante, estos suponen respectivamente un 91%, un 3% y un 6%.

En resumen, la energía requerida para la producción, envasado y transporte de los fertilizantes utilizados en los dos itinerarios pre-reforma considerados en el estudio serían los recogidos en la Tabla 17.

Tabla 17 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los fertilizantes (nitrógeno, fósforo y potasio) empleados en el abonado de los itinerarios pre-reforma.

Energía requerida para la producción, envasado y transporte de fertilizantes		MJ/ha	Itinerario pre-reforma	
			Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Nitrógeno fertilizante	Producción	15.227,07	4.143,71	4.399,55
	Envasado	569,40	154,95	164,52
	Transporte	985,50	268,18	284,74
	Total	16.781,97	4.566,84	4.848,81
Fósforo fertilizante	Producción	304,92	82,98	88,10
	Envasado	102,96	28,02	29,75
	Transporte	225,72	61,42	65,22
	Total	633,60	172,42	183,07
Potasio fertilizante	Producción	478,08	130,10	138,13
	Envasado	134,46	36,59	38,85
	Transporte	343,62	93,51	99,28
	Total	956,16	260,20	276,26
TOTAL ABONO		18.371,73	4.999,46	5.308,14

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Itinerario post-reforma (riego por superficie sin acolchado plástico)

En el itinerario post-reforma no se está realizando abonado potásico ni fosfórico, y el abonado de cobertera, exclusivamente nitrogenado, se ha reducido de forma drástica, realizándose sólo un abonado de cobertera con 300,00 kg de nitrato amónico. En la Tabla 18 se muestra la energía requerida en la producción, envasado y transporte de dicho fertilizante.

Tabla 18 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los fertilizantes (nitrógeno) empleados en el abonado del itinerario post-reforma (riego por superficie sin acolchado plástico).

Energía requerida para la producción, envasado y transporte de fertilizantes		MJ/kg fertilizante	MJ/ha	Itinerario post-reforma
				Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Nitrógeno fertilizante	Producción	69,53	7.092,06	3.497,26
	Envasado	2,60	265,20	130,78
	Transporte	4,50	459,00	226,34
	Total	76,63	7.816,26	3.854,38
Nitrato amónico 300 kg (34-0-0)			7.816,26	3.854,38

Para el cálculo de la energía primaria requerida para la producción de los distintos elementos que componen el abono utilizado se han considerado los valores propuestos por Gellings y Parmenter (2004). Asimismo, se ha considerado el factor de producción de semilla y el rendimiento medio establecido para este itinerario incluido en la Tabla 7.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Resumen de los requerimientos energéticos de la producción, envasado y transporte de los fertilizantes utilizados en el conjunto de itinerarios considerados

La Tabla 14 resume la energía primaria en megajulios por tonelada de cosecha que requiere la producción, envasado y transporte de los fertilizantes empleados en los tres itinerarios de cultivo del algodón considerados en el estudio.

Tabla 19 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los fertilizantes (nitrógeno, fósforo y potasio) empleados en el abonado de los itinerarios de pre-reforma y post-reforma.

Energía requerida para la producción, envasado y transporte de fertilizantes		Itinerario pre-reforma		Itinerario post-reforma
		Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Nitrógeno fertilizante	Producción	4.143,71	4.399,55	3.497,26
	Envasado	154,95	164,52	130,78
	Transporte	268,18	284,74	226,34
	Total	4.566,84	4.848,81	3.854,38
Fósforo fertilizante	Producción	82,98	88,10	---
	Envasado	28,02	29,75	---
	Transporte	61,42	65,22	---
	Total	172,42	183,07	---
Potasio fertilizante	Producción	130,10	138,13	---
	Envasado	36,59	38,85	---
	Transporte	93,51	99,28	---
	Total	260,20	276,26	---
TOTAL ABONO		4.999,46	5.308,14	----

Fuente: Elaboración propia.

Mientras en el itinerario post-reforma del algodón (riego por superficie sin acolchado plástico), el 100% del abonado es nitrogenado, en el caso de los dos itinerarios pre-reforma (riego con superficie, con y sin acolchado plástico) el abonado nitrogenado representa el 91,35% del total, mientras que el fosforado y el potásico representan el 3,45% y el 5,20% respectivamente.

4.3. Requerimientos energéticos de la producción, envasado y transporte de los fitosanitarios

En este apartado se recoge el consumo de energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de cada uno de los componentes de los tratamientos fitosanitarios que se emplean a lo largo del cultivo.

En función del tipo de fitosanitario nos encontramos distintas situaciones. Mientras el empleo de herbicidas está más o menos estandarizado, el uso de insecticidas depende mucho de las condiciones climáticas del año, produciéndose variaciones sensibles en el número de aplicaciones necesarias y en las materias activas utilizadas cada campaña según la incidencia y severidad de unas u otras plagas.

Con esta premisa, se han realizado los cálculos teniendo en cuenta los tratamientos tipo realizados en los ensayos de la Red Andaluza de Experimentación Agraria (RAEA), así como la información suministrada por las casas de agroquímicos sobre los productos y cantidades empleados en cada campaña.

A continuación se presentan las principales materias activas empleadas usualmente y que se han tomado de referencia para realizar los itinerarios. Asimismo, a título orientativo, se recoge la dosificación usual de cada uno de estos productos, si bien ésta puede variar bastante dependiendo de las formulaciones comerciales empleadas, de las necesidades del cultivo y, en el periodo post-reforma, del coste.

- En los tratamientos contra *Heliothis*, la principal de las plagas del algodón en Andalucía, se suele emplear Endosulfán o Metomilo (a razón de 3 y 1 l/ha respectivamente). En menor medida se emplean Clorpirifos y Tiodicarb a razón de 1,5 y 0,75 l/ha respectivamente.
- Contra *Earias* son igualmente efectivos los productos anteriores, aunque también se puede emplear Carbanil, Clorpirifos o Tiodicarb. Es usual aplicar 1,5 l/ha de Clorpirifos.
- Contra el *gusano rosado* se emplean productos piretroides, entre otras materias activas Cipermetrina (0,5 l/ha) o Deltametrina (0,5 kg/ha).
- En lo que respecta a la *Prodenia* y la *Gardama*, son útiles los Clorpirifos, el Endosulfán o el Metomilo, en cantidades similares a las comentadas anteriormente.
- Contra los *pulgones* se emplean sustancias como Benfuracarb o Carbosulfán. Una aplicación habitual es aplicar 1 kg/ha de Carbosulfán.
- En el tratamiento de la *mosca blanca* se emplea Buprofezin y Piriproxifen.
- La *araña roja* se combate con acaricidas como la Abamectina (0,5 l/ha).

4.3.1. Itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico) e itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico)

En las siguientes tablas se indica la energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los tratamientos fitosanitarios empleados en los dos itinerarios de pre-reforma.

Tabla 20 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los tratamientos fitosanitarios empleado en el cultivo del algodón (itinerario pre-reforma 1).

Tipo de insumo		Producto	Energía requerida por tipo de insumo (MJ/kg insumo)	Ud/ha	Cantidad principio activo (kg)	MJ/ha	MJ/t
Herbicida		Fluometurón 50%	265,00	2,00	1,00	269,10	72,11
		Terbutilazina 48%		2,00	0,96	258,33	69,23
Insecticida		Carbosulfán 25%	214,00	1,00	0,25	54,33	14,56
		Cipermetrina 10%		0,50	0,05	10,87	2,91
		Clorpirifos 48%		1,50	0,72	156,46	41,93
		Endosulfán 35%		3,00	1,05	228,17	61,15
		Metomilo 20%		1,00	0,20	43,46	11,65
		Tiodicarb 37,5%		0,75	0,28	61,12	16,38
Pesticida		Carbofurano 20%	269,00	2,00	0,40	109,26	29,28
Otros agroquímicos	Defoliante	Tidiazuron 50%	230,50	0,30	0,15	35,11	9,41
	Fitorregulador	Mepicuat-Cloruro 3,8%		0,50	0,02	4,45	1,19
TOTAL				14,55	5,08	1.230,66	329,80

Para el cálculo de la energía primaria requerida para la producción de los distintos elementos que componen los itinerarios considerados en el estudio se han tenido en cuenta los valores propuestos por NNFCC (2009). Para el defoliante y el fitorregulador, categorías no incluidas en NNFCC (2009), se ha tomado como valor la media de los valores propuestos para cada una de las categorías.

En el cálculo de la cantidad de cada componente de fitosanitario utilizado se ha considerado una densidad estándar de 1.000 kg/m³. Asimismo, se han considerado los rendimientos medios y los factores de producción de semilla para ambos itinerarios que se recogen en la Tabla 7.

Fuente: Elaboración propia.

Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los tratamientos fitosanitarios empleado en el cultivo del algodón (itinerario pre-reforma 2).

Tipo de insumo		Producto	Energía requerida por tipo de insumo (MJ/kg insumo)	Ud/ha	Cantidad principio activo (kg)	MJ/ha	MJ/t
Herbicida		Fluometurón 50%	265,00	2,00	1,00	269,35	76,57
		Terbutilazina 48%		2,00	0,96	258,57	73,50
Insecticida		Carbosulfán 25%	214,00	1,00	0,25	54,38	15,46
		Cipermetrina 10%		0,50	0,05	10,88	3,09
		Clorpirifos 48%		1,50	0,72	156,61	44,52
		Endosulfán 35%		3,00	1,05	228,39	64,92
		Metomilo 20%		1,00	0,20	43,50	12,37
		Tiodicarb 37,5%		0,75	0,28	61,17	17,39
Pesticida		Carbofurano 20%	269,00	2,00	0,40	109,36	31,09
Otros agroquímicos	Defoliante	Tidiazuron 50%	230,50	0,30	0,15	35,14	9,99
	Fitorregulador	Mepicuat-Cloruro 3,8%		0,50	0,02	4,45	1,27
TOTAL				14,55	5,08	1.231,80	350,16

Para el cálculo de la energía primaria requerida para la producción de los distintos elementos que componen los itinerarios considerados en el estudio se han tenido en cuenta los valores propuestos por NNFFCC (2009). Para el defoliante y el fitorregulador, categorías no incluidas en NNFFCC (2009), se ha tomado como valor la media de los valores propuestos para cada una de las categorías.

En el cálculo de la cantidad de cada componente de fitosanitario utilizado se ha considerado una densidad estándar de 1.000 kg/m³. Asimismo, se han considerado los rendimientos medios y los factores de producción de semilla para ambos itinerarios que se recogen en la Tabla 7.

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se muestra la tabla resumen por tipo de insumo, diferenciando el coste energético por producción para cada variante.

Tabla 21 Tabla resumen de la energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los tratamientos fitosanitarios empleados en el cultivo del algodón (itinerarios pre-reforma).

Tipo de insumo	Itinerario pre-reforma	
	Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Herbicidas	141,34	150,07
Insecticidas	148,57	157,75
Pesticidas	29,28	31,09
Otros agroquímicos (defoliante, fitorregulador)	10,60	11,26
TOTAL	329,80	350,16

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Itinerario post-reforma (riego por superficie sin acolchado plástico)

En el itinerario post-reforma los tratamientos fitosanitarios se han visto reducidos tanto en el número de aplicaciones como en las dosis utilizadas. Asimismo, se ha modificado el uso de las materias activas empleadas con motivo de la normativa de producción integrada.

Al igual que en el apartado anterior, se muestra la tabla con el coste energético por producto utilizado (Tabla 22) y otra tabla que resume el coste energético por tipo de insumo (Tabla 23).

Tabla 22 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los tratamientos fitosanitarios empleados en el cultivo del algodón (itinerario post-reforma).

Tipo de insumo		Producto	Energía requerida por tipo de insumo (MJ/kg insumo)	Ud/ha	Cantidad principio activo (kg)	MJ/ha	MJ/t
Herbicida		Fluometurón 50%	265,00	3,00	1,50	403,08	196,02
		Trifluralina 48%		1,50	0,72	193,48	94,09
Insecticida		Alpha Cipermetrina 10%	214,00	1,00	0,10	21,70	10,55
		Cipermetrina 10%		2,00	0,20	43,40	21,11
		Clorpirifos 48%		1,00	0,48	104,16	50,65
		Metomilo 20%		3,00	0,60	130,20	63,32
Pesticida		Carbofurano 5%	269,00	8,00	0,40	109,11	53,06
Otros agroquímicos	Defoliante	Tidiazuron 50%	230,50	0,30	0,15	35,06	17,05
	Fitorregulador	Mepicuat-Cloruro 3,8%		0,50	0,02	4,44	2,16
TOTAL				20,30	4,17	1.044,63	508,00

Para el cálculo de la energía primaria requerida para la producción de los distintos elementos que componen los itinerarios considerados en el estudio se han tenido en cuenta los valores propuestos por NNFFCC (2009). Para el defoliante y el fitorregulador, categorías no incluidas en NNFFCC (2009), se ha tomado como valor la media de los valores propuestos para cada una de las categorías.

En el cálculo de la cantidad de cada componente de fitosanitario utilizado se ha considerado una densidad estándar de 1.000 kg/m³. Asimismo, se han considerado el rendimiento medio y el factor de producción de semilla para este itinerario, ambos incluidos en la Tabla 7.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23 Tabla resumen de la energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los tratamientos fitosanitarios empleados en el cultivo del algodón (post-reforma).

Tipo de insumo	Itinerario post-reforma
	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Herbicidas	290,10
Insecticidas	145,63
Pesticidas	53,06
Otros agroquímicos (defoliante, fitorregulador)	19,21
TOTAL	508,00

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Resumen de los requerimientos energéticos de la producción, envasado y transporte de los fitosanitarios utilizados

En la siguiente tabla se resume la energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los fitosanitarios utilizados en los tres itinerarios de cultivo del algodón que se han tenido en cuenta en el estudio.

Tabla 24 Energía primaria requerida para la producción, envasado y transporte de los fitosanitarios utilizados en los itinerarios de pre-reforma y post-reforma.

Tipo de insumo	Itinerario pre-reforma		Itinerario post-reforma
	Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Herbicidas	141,34	150,07	290,10
Insecticidas	148,57	157,75	145,63
Pesticidas	29,28	31,09	53,06
Otros agroquímicos (defoliante, fitorregulador)	10,60	11,26	19,21
TOTAL	329,80	350,16	508,00

Fuente: Elaboración propia.

Si bien, como se ha comentado anteriormente, en el itinerario post-reforma se ha visto reducido el uso de fitosanitarios en comparación a los itinerarios pre-reforma considerados, la energía primaria expresada en megajulios por tonelada de cosecha es mayor debido a los distintos rendimientos obtenidos en ambos casos, mayores en el caso de pre-reforma y menores en el caso de post-reforma.

Finalmente, cabe indicar que mientras en el caso de los dos itinerarios de pre-reforma considerados en el estudio, los herbicidas, los insecticidas y los pesticidas representan el 42,86%, el 45,05% y el 8,88% respectivamente de la energía primaria requerida, en el caso del itinerario post-reforma representan el 57,11%, el 28,67% y el 10,44%.

4.4. Requerimientos energéticos para los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos

4.4.1. Itinerario pre-reforma 1: riego por superficie con acolchado plástico

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la estimación de la energía primaria necesaria para desplazar la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén a la parcela de cultivo para el itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico).

Tabla 25 Energía primaria requerida para los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén a la parcela de cultivo (itinerario pre-reforma 1).

Desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos						
Número de aplicaciones	Sembradora	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
1	Cargada	0,55	3,50	1,93	22,25	38,02
	Sin carga	0,39	3,50	1,37	15,77	
Número de aplicaciones	Abonadora	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
1	Cargado	0,52	3,50	1,82	21,03	36,00
	Sin carga	0,37	3,50	1,30	14,97	
Número de aplicaciones	Maquinaria para el tratamiento herbicida	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
10	Cargado	0,52	3,50	18,20	210,33	359,98
	Sin carga	0,37	3,50	12,95	149,65	
Número de aplicaciones	Maquinaria para apisonado y transporte en remolques	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
2	Sin carga	0,37	3,50	2,59	29,93	72,00
	Cargado	0,52	3,50	3,64	42,07	
Total (desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos)					505,99	
Desplazamientos resto de maquinaria agrícola						
Número de labores agrícolas realizadas	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t		
17	0,37	3,50	44,03	508,83		
Total (desplazamientos resto de maquinaria agrícola)					508,83	
TOTAL					1.014,82	

Para el cálculo del consumo energético se han utilizado los valores unitarios de consumo de gasóleo de los desplazamientos definidos por el IDAE (2005) y un factor de conversión de 42,47 MJ/l de gasóleo, que incluye el consumo energético de su producción y transporte. Asimismo, se ha tenido en cuenta el rendimiento de 3,732 t/ha y el factor de semilla de 1,0155 correspondientes al itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico).

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Itinerario pre-reforma 2: riego por superficie sin acolchado plástico

La Tabla 15 presenta los requerimientos energéticos correspondientes a los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén a la parcela de cultivo para el itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico).

Tabla 26 Energía primaria requerida para los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén a la parcela de cultivo (itinerario pre-reforma 2).

Desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos						
Número de aplicaciones	Sembradora	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
1	Cargada	0,55	3,50	1,93	23,62	40,37
	Sin carga	0,39	3,50	1,37	16,75	
Número de aplicaciones	Abonadora	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
1	Cargado	0,52	3,50	1,82	22,33	38,22
	Sin carga	0,37	3,50	1,30	15,89	
Número de aplicaciones	Maquinaria para el tratamiento herbicida	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
10	Cargado	0,52	3,50	18,20	223,32	382,22
	Sin carga	0,37	3,50	12,95	158,90	
Número de aplicaciones	Maquinaria para apisonado y transporte en remolques	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
2	Sin carga	0,37	3,50	2,59	31,78	76,44
	Cargado	0,52	3,50	3,64	44,66	
Total (desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos)					537,25	
Desplazamientos resto de maquinaria agrícola						
Número de labores agrícolas realizadas	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t		
17	0,37	3,50	44,03	540,26		
Total (desplazamientos resto de maquinaria agrícola)					540,26	
TOTAL					1.077,51	

Para el cálculo del consumo energético se han utilizado los valores unitarios de consumo de gasóleo de los desplazamientos definidos por el IDAE (2005) y un factor de conversión de 42,47 MJ/l de gasóleo, que incluye el consumo energético de su producción y transporte. Asimismo, se ha tenido en cuenta el rendimiento de 3,518 t/ha y el factor de semilla de 1,0164 correspondientes al itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico).

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Itinerario post-reforma: riego por superficie sin acolchado plástico

En la tabla siguiente se presentan las necesidades energéticas correspondientes a los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén hasta la parcela de cultivo para el itinerario post-reforma (riego por superficie sin acolchado plástico).

Tabla 27 Energía primaria requerida para los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos desde el almacén a la parcela de cultivo (itinerario post-reforma).

Desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos						
Número de aplicaciones	Sembradora	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
1	Cargada	0,55	3,50	1,93	40,32	68,91
	Sin carga	0,39	3,50	1,37	28,59	
Número de aplicaciones	Maquinaria para el tratamiento herbicida	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
7	Cargado	0,52	3,50	12,74	266,85	456,72
	Sin carga	0,37	3,50	9,07	189,87	
Número de aplicaciones	Maquinaria para apisonado y transporte en remolques	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t	
1	Sin carga	0,37	3,50	1,30	27,12	65,25
	Cargado	0,52	3,50	1,82	38,12	
Total (desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos)					590,88	
Desplazamientos resto de maquinaria agrícola						
Número de labores agrícolas realizadas	Consumo de gasóleo (l/km)	Distancia almacén-parcela (km)	Consumo de gasóleo (l)	MJ/t		
13	0,37	3,50	33,67	705,25		
Total (desplazamientos resto de maquinaria agrícola)					705,25	
TOTAL					1.296,13	

Para el cálculo del consumo energético se han utilizado los valores unitarios de consumo de gasóleo de los desplazamientos definidos por el IDAE (2005) y un factor de conversión de 42,47 MJ/l de gasóleo, que incluye el consumo energético de su producción y transporte. Asimismo, se ha tenido en cuenta el rendimiento de 2,056 t/ha y el factor de semilla de 1,0140 correspondientes al itinerario post-reforma (riego por superficie sin acolchado plástico).

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Resumen de los requerimientos energéticos para los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos en el conjunto de itinerarios considerados

La Tabla 28 resume las necesidades energéticas para los desplazamientos de la maquinaria agrícola e insumos en los tres itinerarios considerados.

Tabla 28 Energía requerida para realizar las labores mecanizadas en los tres itinerarios considerados.

	Itinerario pre-reforma		Itinerario post-reforma
	Riego por superficie con acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)	Riego por superficie sin acolchado plástico (MJ/t)
Desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos	505,99	537,25	590,88
Desplazamientos resto de maquinaria agrícola	508,83	540,26	705,25
Total	1.014,82	1.077,51	1.296,13

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Requerimientos energéticos totales de la producción de algodón

Las siguientes tablas y gráficos muestran de forma sintética el consumo energético que produce cada uno de los elementos que componen el sistema analizado (el cultivo del algodón) según los itinerarios considerados, así como su contribución relativa al consumo de energía primaria total.

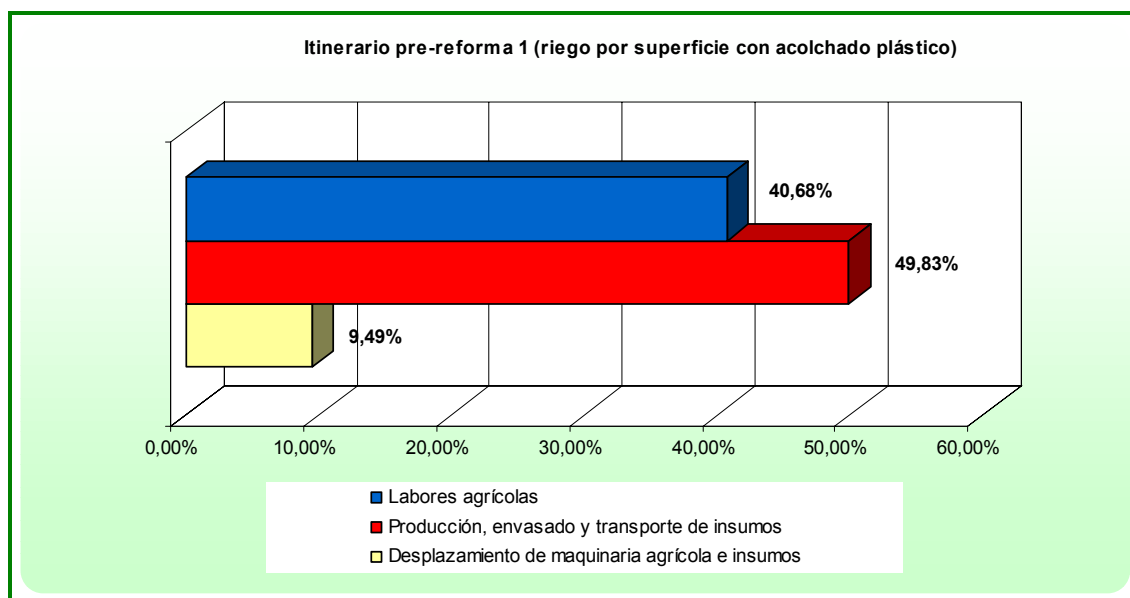
Tabla 29 Energía primaria total necesaria para la producción de algodón (itinerario pre-reforma 1, riego por superficie con acolchado plástico).

Componente	MJ/t	Contribución respecto a los subapartados (%)	Contribución respecto al total (%)
Labores agrícolas	4.350,89	100,00%	40,68%
Subsolador	346,72	7,97%	3,24%
Chisel	208,03	4,78%	1,95%
Grada de discos	115,57	2,66%	1,08%
Rulo	57,79	1,33%	0,54%
Abonadora centrífuga (distribución abonado de fondo)	17,34	0,40%	0,16%
Grada (enterrado) / Vertedera (alomado)	346,72	7,97%	3,24%
Pulverizador (aplicación de fitoquímico)	12,71	0,29%	0,12%
Vibrocultivador / Grada rotativa	208,03	4,78%	1,95%
Sembradora de semi-precisión	80,90	1,86%	0,76%
Capa plástico (55 galgas)	1.669,14	38,36%	15,61%
Grada (transporte y distribución)	57,79	1,33%	0,54%
Grada (transporte y distribución)	57,79	1,33%	0,54%
Cultivador	184,92	4,25%	1,73%
Grada de discos entre líneas (aporcado)	104,02	2,39%	0,97%
Pulverizador (aplicación de insecticida)	76,28	1,75%	0,71%
Pulverizador (aplicación de fitoregulador)	25,43	0,58%	0,24%
Pulverizador (aplicación de defoliante)	12,71	0,29%	0,12%
Cosechadora	595,66	13,69%	5,57%
Apisonado en remolque y transporte	57,79	1,33%	0,54%
Grada disco (arrancado y eliminación de restos de cultivo)	115,57	2,66%	1,08%
Producción, envasado y transporte de insumos	5.329,25	100,00%	49,83%
Fertilizantes	4.999,46	93,81%	46,75%
Nitrógeno	4.566,84	85,69%	42,70%

Componente	MJ/t	Contribución respecto a los subpartados (%)	Contribución respecto al total (%)
Fósforo	172,42	3,24%	1,61%
Potasio	260,20	4,88%	2,43%
Herbicidas	141,34	2,65%	1,32%
Insecticidas	148,57	2,79%	1,39%
Pesticidas	29,28	0,55%	0,27%
Otros agroquímicos	10,60	0,20%	0,10%
Desplazamientos de maquinaria agrícola e insumos	1.014,82	100,00%	9,49%
Desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos	505,99	49,86%	4,73%
Desplazamientos resto de maquinaria agrícola	508,83	50,14%	4,76%
TOTAL	10.694,96	100,00%	100,00%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6 Contribución de las labores agrícolas, de la producción, envasado y transporte de insumos y de los desplazamientos de la maquinaria agrícolas e insumos en el cultivo del algodón para el itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico).



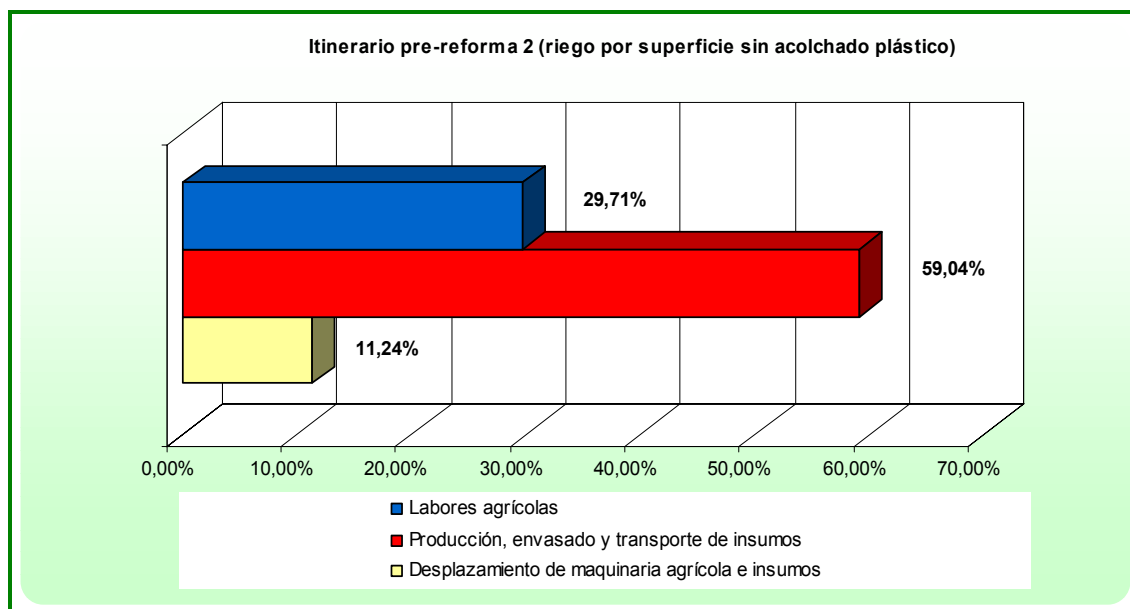
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30 Energía primaria total necesaria para la producción de algodón (itinerario pre-reforma 2, riego por superficie sin acolchado plástico).

Componente	MJ/t	Contribución respecto a los subapartados (%)	Contribución respecto al total (%)
Labores agrícolas	2.847,33	100,00%	29,71%
Subsolador	368,13	12,93%	3,84%
Chisel	220,88	7,76%	2,30%
Grada de discos	122,71	4,31%	1,28%
Rulo	61,35	2,15%	0,64%
Abonadora centrífuga (distribución abonado de fondo)	18,41	0,65%	0,19%
Grada (enterrado) / Vertedera (alomado)	368,13	12,93%	3,84%
Pulverizador (aplicación de fitoquímico)	13,50	0,47%	0,14%
Vibrocultivador / Grada rotativa	220,88	7,76%	2,30%
Sembradora de semi-precisión	85,90	3,02%	0,90%
Grada (transporte y distribución)	61,35	2,15%	0,64%
Grada (transporte y distribución)	61,35	2,15%	0,64%
Cultivador	196,33	6,90%	2,05%
Grada de discos entre líneas (aporcado)	110,44	3,88%	1,15%
Pulverizador (aplicación de insecticida)	80,99	2,84%	0,85%
Pulverizador (aplicación de fitoregulador)	27,00	0,95%	0,28%
Pulverizador (aplicación de defoliante)	13,50	0,47%	0,14%
Cosechadora	632,44	22,21%	6,60%
Apisonado en remolque y transporte	61,35	2,15%	0,64%
Grada disco (arrancado y eliminación de restos de cultivo)	122,71	4,31%	1,28%
Producción, envasado y transporte de insumos	5.658,31	100,00%	59,04%
Fertilizantes	5.380,14	93,81%	55,39%
Nitrógeno	4.848,81	85,69%	50,60%
Fósforo	183,07	3,24%	1,91%
Potasio	276,26	4,88%	2,88%
Herbicidas	150,07	2,65%	1,57%
Insecticidas	157,75	2,79%	1,65%
Pesticidas	31,09	0,55%	0,32%
Otros agroquímicos	11,26	0,20%	0,12%
Desplazamientos de maquinaria agrícola e insumos	1.077,51	100,00%	11,24%
Desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos	537,25	49,86%	5,61%
Desplazamientos resto de maquinaria agrícola	540,26	50,14%	1,75%
TOTAL	9.583,15	100,00%	100,00%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7 Contribución de las labores agrícolas, de la producción, envasado y transporte de insumos y de los desplazamientos de la maquinaria agrícolas e insumos en el cultivo del algodón para el itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico).



Fuente: Elaboración propia.

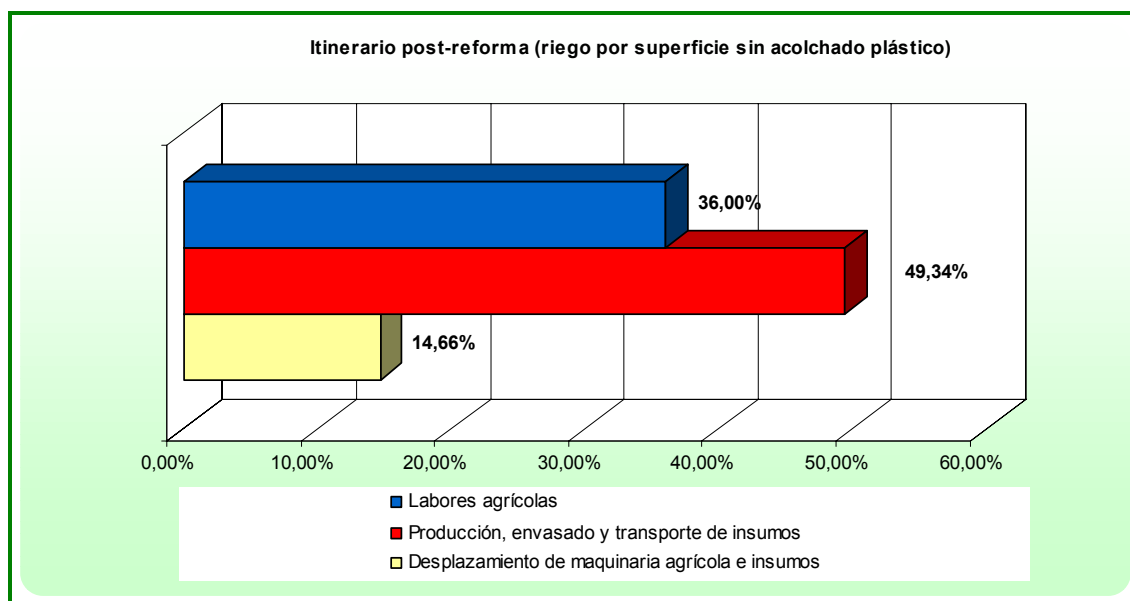
Tabla 31 Energía primaria total necesaria para la producción de algodón (itinerario post-reforma, riego por superficie sin acolchado plástico).

Componente	MJ/t	Contribución respecto a los subapartados (%)	Contribución respecto al total (%)
Labores agrícolas	3.182,70	100,00%	36,00%
Subsolador	628,29	19,74%	7,11%
Chisel	376,97	11,84%	4,26%
Grada de discos	209,43	6,58%	2,37%
Cultivador	209,43	6,58%	2,37%
Pulverizador (aplicación de herbicida presiembra)	23,04	0,72%	0,26%
Vibrocultivador	125,66	3,95%	1,42%
Sembradora de precisión con aplicador de herbicida y desinfectante	36,13	1,14%	0,41%
Abonadora centrífuga (distribución abonado de cobertera)	31,41	0,99%	0,36%
Vibrocultivador entre líneas (enterrado)	125,66	3,95%	1,42%
Cultivador binador (entre líneas)	188,49	5,92%	2,13%
Grada de discos entre líneas (aparcado)	188,49	5,92%	2,13%
Pulverizador (aplicación de insecticida)	69,11	2,17%	0,78%
Pulverizador (aplicación de fitoregulador)	46,07	1,45%	0,52%
Pulverizador (aplicación de defoliante)	23,04	0,72%	0,26%
Cosechadora	539,70	16,96%	6,10%
Apisonado en remolque y transporte	52,36	1,65%	0,59%
Grada disco (arrancado y eliminación de restos de cultivo)	209,43	6,58%	2,37%
Producción, envasado y transporte de insumos	4.362,38	100,00%	49,34%
Fertilizantes	3.854,38	88,35%	43,60%
Nitrógeno	3.854,38	88,35%	43,60%

Componente	MJ/t	Contribución respecto a los subapartados (%)	Contribución respecto al total (%)
Fósforo	---	---	---
Potasio	---	---	---
Herbicidas	290,10	6,65%	3,28%
Insecticidas	145,63	3,34%	1,65%
Pesticidas	53,06	1,22%	0,60%
Otros agroquímicos	19,21	0,44%	0,22%
Desplazamientos de maquinaria agrícola e insumos	1.296,13	100,00%	14,66%
Desplazamientos de maquinaria para la distribución de insumos	598,88	45,59%	6,68%
Desplazamientos resto de maquinaria agrícola	705,25	54,41%	7,98%
TOTAL	8.841,21	100,00%	100,00%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8 Contribución de las labores agrícolas, de la producción, envasado y transporte de insumos y de los desplazamientos de la maquinaria agrícolas e insumos en el cultivo del algodón para el itinerario post-reforma (riego por superficie sin acolchado plástico).



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 32 resume la energía primaria requerida en el cultivo del algodón en los tres itinerarios considerados en el estudio.

Tabla 32 Tabla resumen de la energía primaria requerida en el cultivo del algodón en los itinerarios pre-reforma y post-reforma.

	Itinerario pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico) MJ/t	Itinerario pre-reforma 2 (riego por superficie sin acolchado plástico) MJ/t	Itinerario post-reforma (riego por superficie sin acolchado plástico) MJ/t
Labores agrícolas	4.350,89	2.847,33	3.182,70
Producción, envasado y transporte de insumos	5.329,25	5.658,31	4.362,38
Desplazamiento de maquinaria agrícola e insumos	1.014,82	1.077,51	1.296,13
TOTAL	10.694,96	9.583,15	8.841,21

Fuente: Elaboración propia.

Los requerimientos energéticos en las dos variantes del itinerario pre-reforma se diferencian en el coste energético del acolchado plástico (5.925 MJ/ha), partida que supone el 38,36% del coste energético de las labores mecanizadas y el 15,61% del total del itinerario con acolchado, siendo el incremento del rendimiento igual a 5,73%.

Finalmente, cabe señalar que el itinerario post-reforma tiene un coste energético sustancialmente menor respecto a los itinerarios utilizados antes de la reforma. En concreto, supone una reducción de un 17,33% de energía primaria total si se compara con el itinerario pre-reforma 1 y de un 7,74% si se compara con el itinerario pre-reforma 2.

5. Conclusiones

- Los requerimientos energéticos del cultivo varían sustancialmente según el itinerario realizado, siendo notablemente mayores cuanto mayor es el número de insumos utilizados.
- Tomando como referencia el itinerario más costoso energéticamente, el de pre-reforma 1 (riego por superficie con acolchado plástico), la no utilización del acolchado plástico supone un ahorro de un 10,40% de la energía (si se compara con el itinerario pre-reforma 2).
- El itinerario post-reforma, que supone una disminución drástica en el uso de insumos, muestra una reducción muy importante en relación al consumo energético. La energía primaria empleada se reduce en un 12,80% respecto a la media del itinerario pre-reforma, y un 17,33% respecto al itinerario energéticamente más costoso (itinerario pre-reforma 1).
- El cultivo del algodón siguiendo las indicaciones de producción integrada puede garantizar su producción con un menor coste energético, pero puede darse una merma de la calidad si el productor reduce indiscriminadamente los insumos y/o la efectividad de los mismos no es la adecuada, tal y como el sector desmotador ha puesto de manifiesto en la "Evaluación del impacto de la reforma del algodón en España".

Bibliografía

- CAP (2009). **“Base de datos de gestión de ayudas”**. Dirección General de Fondos Agrarios – FAGA. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- Gellings, C. W., Parmenter, K. E. (2004). **“Energy efficiency in fertilizer production and use”** en **“Efficient Use and Conservation of Energy”**.
- Guerrero García, A. (1999). **“Cultivos herbáceos extensivos”**. 6ª edición. Ediciones Mundi-Prensa, S.A. ISBN. 84-7114-797-1.
- IDAE (2005a). **“Consumos energéticos en las operaciones agrícolas en España”**. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (actualmente Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino) y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- IEA (2007). **“Manual de Estadísticas Energéticas”**. Agencia Internacional de la Energía (OCDE – EUROSTAT).
- IFAPA (2008). **“Evaluación del impacto de la reforma del algodón en España”**. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- MARM (2008). **“Cosechadoras de algodón”**. Plataforma de conocimiento para el medio rural y pesquero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- NNFFC (2008). **“Environmental Assessment Tools for Biomaterials (NF0614)”**. National Non-Food Crops Centre (<http://www.nnfcc.co.uk/>).
- Ortiz-Cañavate, J. (2003). **“Las máquinas agrícolas y su aplicación”**. 6ª edición. Ediciones Mundi-Prensa, S.A. ISBN. 978-84-8476-117-4.
- Roselló-Oltra, J, A. Domínguez Gento, A.V. Gascón. (2000). **“Comparación del balance energético y de los costos económicos en cítricos y hortícolas valencianas en cultivo ecológico y convencional”**. En Actas de IV Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Córdoba, de septiembre- de 2000. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. http://www.uib.es/catedra_iberamericana/publicaciones/seae/
- West, T. O., Marland G. (2001). **“A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States”**. Agriculture, Ecosystems and Environment. Nº 91 (2002), pp 217-232. ISSN. 0167-8809.