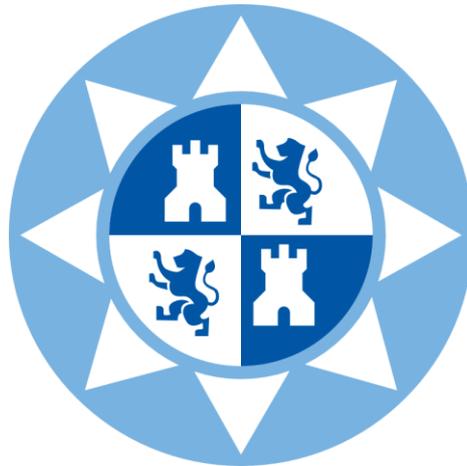
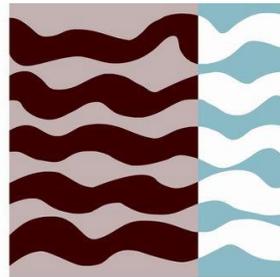


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA**



ETSia
Cartagena

PROYECTO FIN DE CARRERA

**ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LOS PRINCIPALES
CULTIVOS DE LA REGIÓN DE MURCIA**

Autor: **Miguel Ángel Martínez Maté**

Directores: **Bernardo Martín Górriz y Victoriano Martínez Álvarez**

Agradecimientos:

Quiero mostrar mi agradecimiento a aquellas personas que han contribuido a la realización del presente proyecto fin de carrera.

En primer lugar a mis directores, Bernardo Martín Górriz y Victoriano Martínez Álvarez, por su tiempo dedicado, su apoyo y su confianza.

A mis padres, Jose Manuel y Julia Purificación, por haber confiado en mí y enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa.

A todos gracias.

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DE MURCIA E IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA	2
1.2. SUPERFICIES Y PRODUCCIONES	3
1.3. DEMANDA Y RECURSOS HÍDRICOS	4
1.4. SISTEMA DE RIEGO	5
1.5. CONSUMO ENERGÉTICO	7
1.6. IMPACTO AMBIENTAL	7
1.7. RELACIÓN ENERGÍA-AGUA	8
2. OBJETIVO	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1. ZONA DE ESTUDIO	13
3.2. TOMA DE DATOS	15
3.3. ASPECTOS ENERGÉTICOS	15
3.3.1 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	15
3.3.1.1 LABOR HUMANA	16
3.3.1.2 MAQUINARIA	17
3.3.1.3 COMBUSTIBLE	17
3.3.1.4 ESTIÉRCOL	18
3.2.2.5 FERTILIZANTES	18
3.2.1.6 FITOSANITARIOS	20
3.2.1.7 ELECTRICIDAD	20
3.2.1.8 RIEGO	20
3.2.1.9 PRODUCCIÓN	21

3.3.2 FACTORES DE INFLUENCIA	21
3.3.3 BALANCE DE ENERGÍA Y EXPRESIONES	22
3.3.4 FORMAS DE ENERGÍA	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 CÍTRICOS	26
4.1.1 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA	26
4.1.2 EXPRESIONES	30
4.1.3 FORMAS DE ENERGÍA	31
4.1.4 COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS	32
4.2 FRUTALES	32
4.2.1 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA	33
4.2.2 EXPRESIONES	36
4.2.3 FORMAS DE ENERGÍA	37
4.2.4 COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS	38
4.3 HORTÍCOLAS	38
4.3.1 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA	39
4.3.2 EXPRESIONES	42
4.3.3 FORMAS DE ENERGÍA	43
4.3.4 COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS	44
5. CONCLUSIONES	45
6. BIBLIOGRAFÍA	47

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DE MURCIA E IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA

La Región de Murcia está ubicada en el sureste de la Península Ibérica y cuenta con una superficie de 11.317 km². Su situación geográfica es longitud 37° 23´-38° 45´ y latitud 0° 41´-2° 21´. El clima puede considerarse semiárido y las precipitaciones escasas e irregulares, estando el rango de las mismas entre 150 y 400 mm, con un valor medio de 325 mm. La temperatura media es de unos 18° C y la insolación puede superar las 2.800 horas anuales. Prácticamente la totalidad de la Región de Murcia (99% de la superficie) se encuentra en la cuenca hidrográfica del Segura, representando un 59% de la superficie total de la misma.

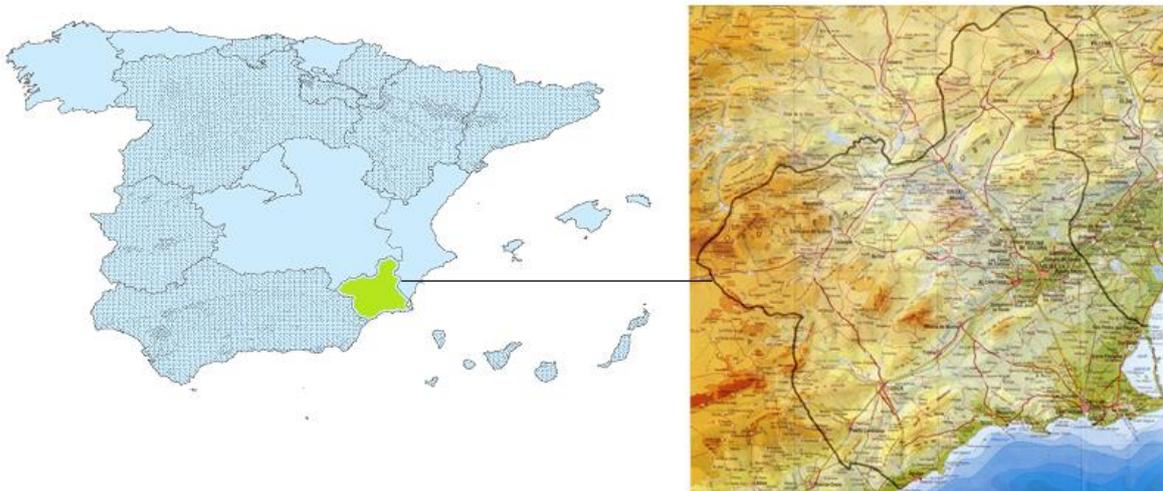


Figura 1. Mapa de España y localización de la Región de Murcia.

El territorio se divide en las comarcas Altiplano, Campo de Cartagena, Mula, Noroeste, Valle del Guadalentín y Vega del Segura.

El sector agrícola es uno de los pilares básicos del crecimiento de la economía regional. Prueba de ello es el índice de empleo agrario que asciende al 13,8% (76.100 personas), la aportación al PIB del 4.58% y las exportaciones (3.079 millones de euros), que superan en valor a las importaciones (1.392 millones de euros). Los productos más exportados son las hortalizas (882 millones de euros); seguido de otros productos agroalimentarios (825 millones); frutas (756 millones de euros); transformados vegetales (477 millones); y vino (129 millones).

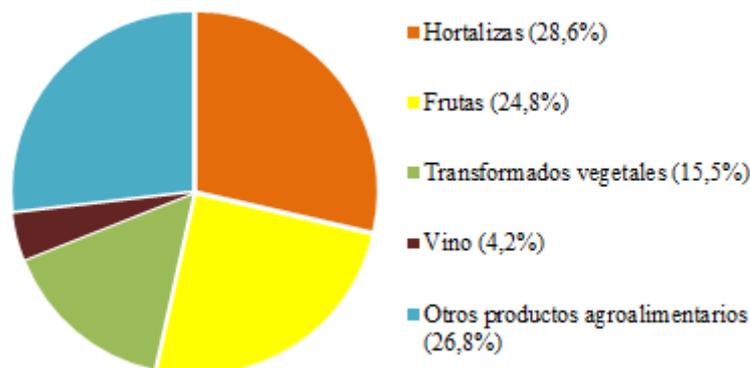


Figura 2. Distribución de las exportaciones por grupos de productos en 2011. Fuente: www.carm.es

1.2 SUPERFICIES Y PRODUCCIONES

La superficie dedicada al cultivo de alimentos en 2011 ascendió a 550.948 ha, representando el 48,68% de la superficie total de la Región de Murcia. Los cultivos herbáceos ocuparon un total de 115.546 ha, siendo los más predominantes en orden descendente: cereales grano (59.831 ha); hortalizas (52.133 ha); forrajeras (1.853 ha); industriales (1.094 ha); tubérculos (513 ha); y leguminosas grano (220 ha). Los cultivos extensivos llegaron a ocupar 247.969 ha gracias a la contribución de: frutales (143.742 ha); cítricos (40.858 ha); viñedo (31.315 ha); olivar (29.324 ha); viveros (609 ha); y otros (2.061 ha).

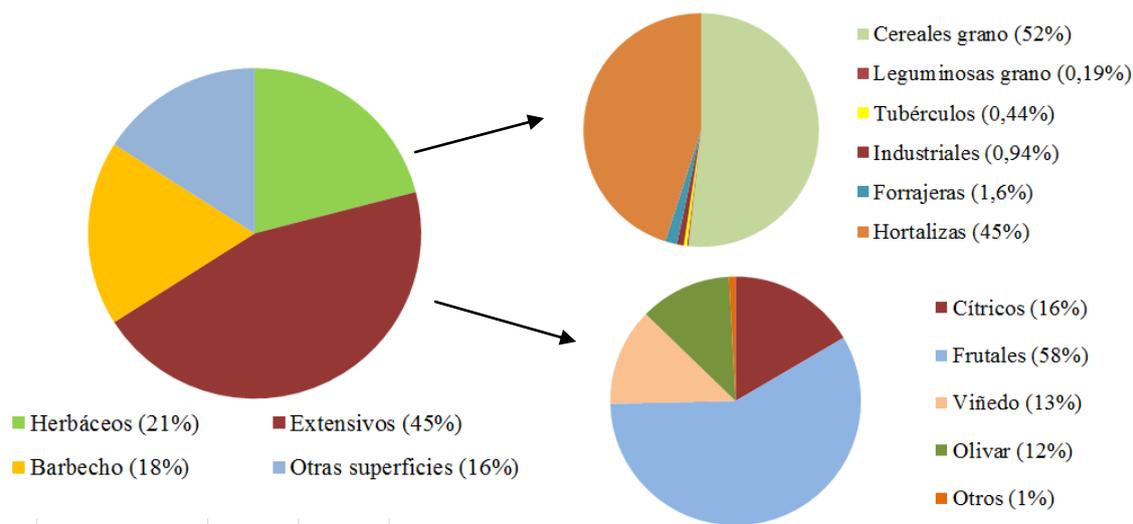


Figura 3. Distribución de la superficie agrícola. Fuente: www.carm.es

En la actualidad, la Región de Murcia es una de las zonas de mayor producción al aire libre y fuera de temporada, siendo conocida por ello a nivel mundial como la

Huerta de Europa. El grupo de cultivos de mayor producción anual es el de hortalizas con 1.504.684 toneladas en 2011, seguido de cítricos y frutales con una producción de 654.983 y 393.379 toneladas respectivamente.

Tabla 1. Producción de los cultivos de estudio en 2011.

Cultivo	Producción (t)	Cultivo	Producción (t)
Limonero	401,953	Melocotonero	241,842
Mandarino	72,022	Peral	30,319
Naranja	148,768	Alcachofa	78,320
Pomelo	31,630	Brócoli	164,579
Albaricoquero	59,823	Lechuga	333,102
Ciruelo	25,475	Melón	219,774

Los cultivos de alcachofa, brócoli, lechuga y melón producen el 52% de las hortalizas. En frutales, albaricoquero, ciruelo, melocotonero y peral el 90%.

Las comarcas más representativas en cuanto a producción de hortalizas son Campo de Cartagena y Valle del Guadalentín. En cítricos destacan las comarcas Valle del Guadalentín y Vega del Segura. Los frutales, a excepción de la comarca Campo de Cartagena, muestran una distribución más o menos uniforme.

1.3 DEMANDA Y RECURSOS HÍDRICOS

En la Región de Murcia, la demanda hídrica es superior a los recursos disponibles. Así pues, los 1.500 hm³ de que se dispone anualmente no son suficientes para cubrir la demanda de 1.960 hm³ año⁻¹, dándose por tanto un déficit de recursos hídricos que asciende a 460 hm³ año⁻¹.

Los recursos hídricos disponibles proceden de la Cuenca del Segura, que se abastece de aguas superficiales (640 hm³ año⁻¹), subterráneas (220 hm³ año⁻¹), del Trasvase Tajo-Segura (540 hm³ año⁻¹) y aguas de reutilización (100 hm³ año⁻¹). La demanda de agua se distribuye en: regadío (1.660 hm³ año⁻¹), urbana (217 hm³ año⁻¹), medioambiental (60 hm³ año⁻¹) e industrial (23 hm³ año⁻¹). El sector agrícola por si solo demanda más recursos hídricos de los 1.500 hm³ anuales disponibles.

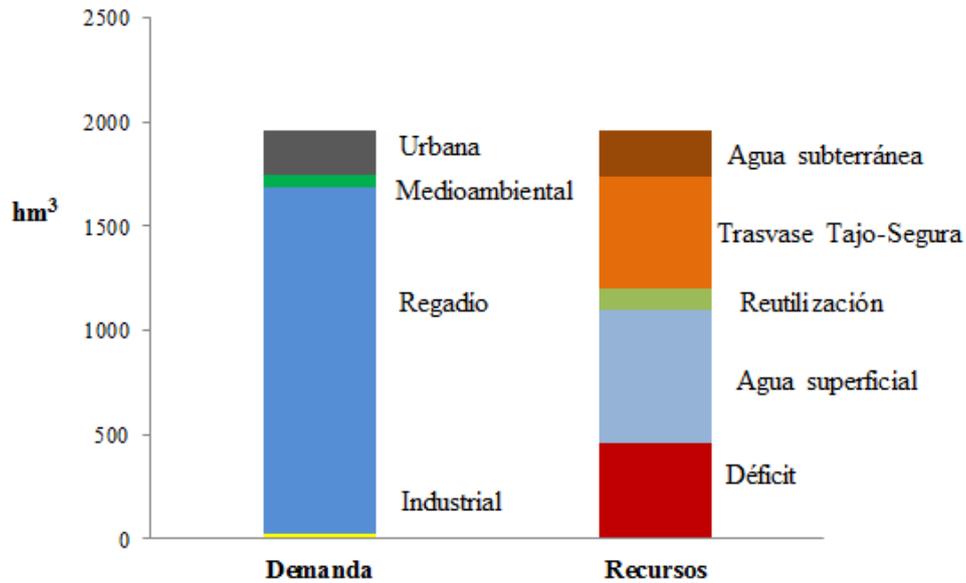


Figura 4. Balance de la cuenca del Segura. Fuente: Plan Hidrológico Cuenca del Segura.

1.4 SISTEMA DE RIEGO

El regadío es uno de los pilares fundamentales de la agricultura y en las últimas décadas ha experimentado un rápido crecimiento. La puesta en marcha del Trasvase Tajo-Segura y el intenso proceso de modernización y tecnificación del regadío ha contribuido a la expansión de la agricultura. Así en el año 2011, el 34% (187.064 ha) de las tierras de cultivo eran de regadío.

Una de las consecuencias del regadío es la conversión de la superficie regada por gravedad a riego localizado (Tabla 2).

Tabla 2. Superficie de cultivo (ha) en función del sistema de riego para el periodo 2004-2011.

Sistema de riego	Año							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Gravedad	42299	37613	33080	36935	36167	36868	34472	35422
Aspersión	2300	2654	1616	1626	966	1878	552	1523
Localizado	138227	136656	132073	129645	131660	127157	127297	140762
Total	182826	176923	166769	168206	168793	165903	162321	177707

A pesar del aumento de la superficie de cultivo con riego por gravedad y aspersión, la superficie dotada de riego localizado ha aumentado en mayor proporción. En el año 2011 el 79% de la superficie de cultivo de regadío estaba dotada de riego localizado, el 20% empleaba riego por gravedad y apenas el 1% disponía de riego por aspersión.

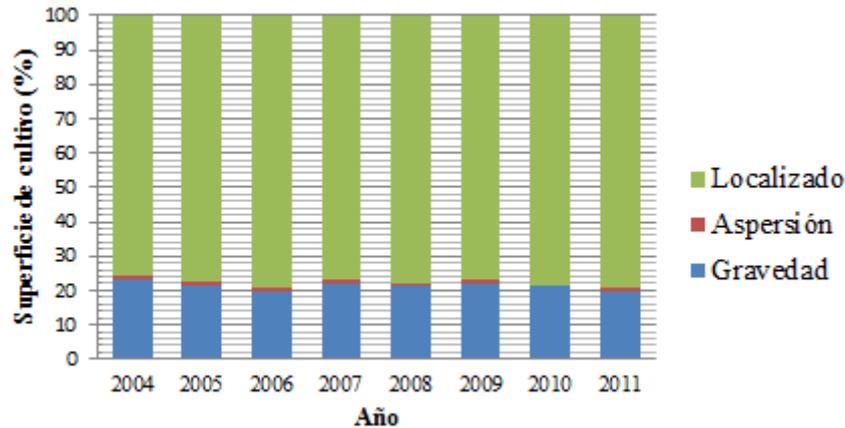


Figura 5. Distribución de la superficie de cultivo en regadío de la Región de Murcia por sistema de riego para el periodo 2004-2011. Elaboración propia con datos de ESYRCE.

La importancia del regadío se aprecia más si se compara en los principales cultivos de la Región de Murcia la superficie de cultivo en regadío y seco (Tabla 3).

Tabla 3. Superficie de cultivo de secano y regadío en 2012. Fuente: www.magrama.es

Cultivo	Secano (ha)	Regadío (ha)	Secano (%)	Regadío (%)
Limonero	1844	19797	8,52	91,48
Mandarino	69	4926	1,38	98,62
Naranja	513	12736	3,87	96,13
Pomelo	-	438	0,00	100,00
Albaricoquero	1566	8584	15,43	84,57
Ciruelo	59	1410	4,02	95,98
Melocotonero	378	17689	2,09	97,91
Peral	11	1144	0,95	99,05
Alcachofa	2	3803	0,05	99,95
Brócoli	56	883	5,96	94,04
Lechuga	-	486	0,00	100,00
Melón	331	10184	3,15	96,85
Total	4829	82080	5,56	94,44

Se observa como la superficie de cultivo de regadío es muy superior a la de secano en el caso de los cultivos a estudiar, pues el 94,44% de la superficie es de regadío. El cultivo de mayor superficie de cultivo en secano es el albaricoquero con un 15,43% y cultivos como lechuga y pomelo presentan el 100% de su superficie en regadío.

1.5 CONSUMO ENERGÉTICO

La agricultura pertenece al sector primario, el cual consume aproximadamente el 11% de energía de la Región de Murcia. Este consumo se distribuye entre los productos petrolíferos (70%) y la electricidad (30%). La primera fuente se emplea fundamentalmente en la maquinaria y la segunda en la instalación de pozos para extracción de agua subterránea y riego.

1.6 IMPACTO AMBIENTAL

En la actualidad, la agricultura emplea elevadas cantidades de agua, fertilizantes, productos fitosanitarios y maquinaria para la obtención de productos de primera calidad.

La continua e intensa extracción de agua subterránea provoca la reducción del nivel piezométrico, intrusión marina, así como degradación y salinización del agua. La salinización a su vez, contribuye a los procesos de erosión y desertización del suelo, así como modificación del equilibrio ecológico y aparición de problemas de salud humana y de las plantas.

El empleo de fertilizantes y productos fitosanitarios en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o su desplazamiento de la superficie del suelo por acción del viento y/o agua antes de ser absorbidos puede dar lugar a la contaminación de acuíferos así como a la eutrofización de embalses y estanques. De hecho, la mayor fuente de contaminación del agua son los nitratos y fosfatos derivados de fertilizantes y productos fitosanitarios.

Otro de los problemas que genera la actividad agrícola es el desprendimiento de gases de efecto invernadero como consecuencia del empleo de maquinaria y fertilizantes. Las emisiones más importantes son las de óxido nitroso (N₂O) producido en los suelos a partir de los fertilizantes nitrogenados, el metano (CH₄) generado en el proceso digestivo de los rumiantes y el dióxido de carbono (CO₂).

1.7 RELACIÓN ENERGÍA-AGUA

La creciente modernización de los sistemas de riego, así como el creciente aumento de superficie de regadío comentado anteriormente hace que se establezca una relación intensa entre el agua y la energía. Así pues, se requiere una gran cantidad de agua y el suministro, transporte y aplicación de la misma a su vez requiere de una gran cantidad de energía. Esta relación hace que el uso del agua afecte al uso de la energía y las decisiones de gestión del agua a las decisiones de gestión de la energía.

El continuo aumento de la población mundial, y por tanto de la demanda de alimentos; la mejora del nivel de vida de los habitantes, quienes demandan productos de calidad; la competencia de otros sectores por el agua unida a la escasez física de agua como consecuencia de las sequías y la sobreexplotación de acuíferos; el creciente uso de fertilizantes; y aumento en el precio del combustible hace necesario llevar a cabo mejoras técnicas y de gestión para obtener una mayor productividad del agua y la energía.

En cultivos de regadío, la energía asociada al agua hace referencia aquella necesaria para extraer, transportar y aplicar agua al cultivo, así como el agua necesaria para obtener un aumento de biomasa. En estos cultivos, en épocas de sequía se precisa la extracción de agua de pozos o el transporte de la misma desde un lugar lejano con el aumento de energía y por tanto aumento de la relación energía-agua. En el caso de cultivos de secano la relación energía-agua desaparece, ya que el agua que abastece los cultivos es de procedencia natural.

Por todos los motivos expuestos anteriormente, se precisa el estudio del consumo de energía, así como la evaluación de la eficiencia en el uso de la energía y agua. Numerosos estudios comparativos y de eficiencia en el uso de la energía han sido

realizados con éxito en otros países. La eficiencia en el uso de la energía ha sido evaluada en limonero, mandarino, naranjo [1], albaricoquero [30], algodón [13], remolacha [23] y tomate [24] de Turquía; patata [2], kiwi [14], uva [17], pepino [25], trigo [35], mandarino, naranjo [41], ciruelo [42], melocotonero [43] y peral [44] de Irán; caña de azúcar [36] de Marruecos; trigo, arroz [3] y soja [18] de India; melón [45] de Omán.

2. OBJETIVO

La viabilidad de un sistema agrícola depende en gran medida del uso y eficiencia de la energía que interviene en el mismo. La creciente demanda de productos hortofrutícolas, el agotamiento del suelo y la continua evolución de la agricultura generan la necesidad de emplear mayores cantidades de fertilizantes e instalar sistemas de riego localizado, entre otros, con la finalidad de obtener una mayor producción. Estos cambios en definitiva suponen una variación considerable en los flujos y balances de energía del sistema parcela. Cuantificar los flujos de energía es importante ya que permiten detectar posibles pérdidas de energía como pueden ser la pérdida de fertilizantes por escorrentía o percolación profunda y el empleo de mayor cantidad de agua de la necesaria. Se trata de pérdidas energéticas y económicas ya que la energía tiene un coste asociado, cada vez más elevado.

El objetivo principal del presente proyecto fin de carrera es caracterizar energéticamente los cultivos más representativos de la Región de Murcia, siendo necesario para ello cuantificar la entrada y salida de energía durante un periodo de tiempo determinado (duración del ciclo de cultivo en el caso de hortalizas y un año en el caso de cítricos y frutales). Una vez cuantificada la energía es posible, para cada cultivo, determinar el balance energético; calcular expresiones importantes como la eficiencia en el uso de la energía, productividad de la energía, energía específica, eficiencia energética del agua, productividad del agua y huella hídrica; saber cómo se distribuye la energía, en qué forma (renovable y no renovable) y de qué forma (directa e indirecta); así como comparar los distintos cultivos estudiados.

Con la información obtenida es posible aportar soluciones a posibles aumentos del precio de la energía, como puede ser el cambio de labores de cultivo; analizar cambios que se producen en el manejo del cultivo cuando por ejemplo se cambia el sistema de riego; y determinar los cultivos más eficientes energéticamente para una zona.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

Las parcelas de estudio se encuentran distribuidas entre las distintas comarcas de la Región de Murcia. La más representativa es la comarca Vega del Segura con 31 parcelas; seguida del Valle del Guadalentín con 15; Campo de Cartagena con 11; Mula con 5; y Altiplano y Noroeste con 3 cada una.



Figura 6. Comarcas de la Región de Murcia. Fuente: Consejería de Agricultura y Agua.

Los cultivos analizados pueden ser agrupados en cítricos, frutales y hortícolas. Por su importancia económica y su superficie de producción, los cultivos seleccionados han sido limonero (*Citrus limonum* Riso), mandarino (*Citrus nobilis*), naranjo (*Citrus bigardia* Riss) y pomelo (*Citrus paradisi*) en cítricos; albaricoquero (*Prunus armeniaca*), ciruelo (*Prunus domestica*), melocotonero (*Prunus pérsica*) y peral (*Pyrus communis*) en frutales; alcachofa (*Cynara scolymus*), brócoli (*Brassica oleracea*), lechuga (*Lactuca sativa*) y melón (*Cucumis melo*) en hortícolas.

El grupo de cultivo de mayor número de parcelas representativas es el de frutales con 29, seguido de hortícolas con 21 y cítricos con 18. El cultivo más representativo en

cítricos es el limonero con 8, en frutales el melocotonero con 11 y en hortícolas la lechuga con 9.

Para cada especie de cultivo se han seleccionado distintas variedades distribuidas en las distintas comarcas de la Región de Murcia (Tabla 4).

Tabla 4. Cultivos y variedades de los mismos estudiados en cada comarca.

Comarca	Especie	Variedades
Altiplano	Melocotonero	Melocotonero Fortune
	Peral	Ercolini
Campo de Cartagena	Alcachofa	Blanca de Tudela
	Brócoli	Marathon
	Lechuga	Iceberg, Romana y Baby
	Melón	Galia y Amarillo
	Limonero	Fino
	Mandarino	Mandarino Fortuna
Mula	Albaricoquero	Búlida y Real Fino
	Limonero	Fino
Noroeste	Lechuga	Iceberg
	Albaricoquero	Búlida
Valle del Guadalentín	Alcachofa	Blanca de Tudela
	Brócoli	Marathon
	Lechuga	Iceberg
	Melón	Galia
	Melocotonero	Florida
	Limonero	Verna y Fino
	Mandarino	Marisol
	Naranja	Navelina
	Pomelo	Roja
Vega del Segura	Alcachofa	Blanca de Tudela
	Brócoli	Marathon
	Lechuga	Iceberg
	Albaricoquero	Búlida, Valenciano y Pepito
	Ciruelo	Santa Rosa, Black-Ambar y Royal Garden
	Melocotonero	Florida, Caterine, Queen-Crest, Baby-Gold 6, Candor, Flor Astar, Sudanell y Paraguay
	Limonero	Verna y Fino
	Mandarino	Marisol y Afourer
	Naranja	Valencia-Late y Navelina
	Pomelo	Río Rojo

3.2 TOMA DE DATOS

Para la elaboración del estudio se tomaron datos procedentes de encuestas realizadas por la AMOPA en el año 2006. En total se han tomado datos de 68 explotaciones. Para cada una de ellas se tomaron datos referentes a: jornadas de trabajo (h) realizadas por personal propio o ajeno a la explotación; tiempo de uso (h) y combustible (l) empleado en maquinaria; estiércol (kg); cantidad (kg) y tipo de fertilizantes; cantidad de fitosanitarios (kg); cantidad de agua (m³); y producción obtenida (kg). Estos datos han sido introducidos en Excel y convertidos en unidades de energía (MJ) mediante el correspondiente factor de conversión asociado a cada variable. Los factores de conversión han sido extraídos de numerosos estudios realizados.

3.3 ASPECTOS ENERGÉTICOS

A fin de poder conocer la contribución que presentan las distintas variables al sistema parcela, realizar los correspondientes balances de energía, determinar las distintas expresiones y en definitiva comparar las distintas parcelas entre sí, es preciso expresar el valor de las variables en términos energéticos (MJ).

3.3.1 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

Las variables de entrada a considerar son: (a) labor humana; (b) maquinaria; (c) combustible; (d) estiércol; (e) fertilizantes; (f) fitosanitarios; (g) electricidad; y (h) riego. Las variables fertilizantes y fitosanitarios pueden descomponerse en tres subvariables cada una de ellas, debido a que cada una presenta un valor energético diferente. La variable fertilizantes se descompone en: (ea) nitrógeno, (eb) fósforo y (ec) potasio. La variable fitosanitarios, por su parte, puede descomponerse en: (fa) herbicidas, (fb) fungicidas y (fc) plaguicidas. La única variable de salida a tener en cuenta en el sistema parcela es (i) producción (del cultivo implantado en la parcela en cuestión).

La unidad de medida y la equivalencia energética en MJ, así como los artículos en los que se hace referencia a las variables de salida y entrada consideradas se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Unidades, factores de conversión y referencias de las distintas variables.

Variable	Unidad	MJ/unidad	Referencia
Entradas			
Labor humana	h	1,96	[1,4,6,10,13,16,18,19]
Maquinaria	h	62,7	[1,4,6,7,16,22]
Combustible	l	56,31	[2,7,11,16]
Estiércol	kg	0,3	[4,6,10,14,16,20,25]
Nitrógeno	kg	66,14	[2,8,12,14,15,17,23,24]
Fósforo	kg	12,44	[2,8,12,14,15,17,23,24]
Potasio	kg	11,15	[2,8,12,14,15,17,23,24]
Insecticida	kg	199	[1,9]
Fungicida	kg	92	[1,9]
Herbicida	kg	238	[1,9]
Electricidad	kWh	11,93	[1,7,11]
Riego	m ³	20% Electricidad	[27]
Salidas			
Limonero	kg	1,9	[1,21]
Mandarino	kg	1,9	[1,21]
Naranja	kg	1,9	[1,21]
Pomelo	kg	1,9	[1]
Albaricoquero	kg	3,36	[3]
Ciruelo	kg	1,9	[4]
Melocotonero	kg	1,9	[4]
Peral	kg	1,9	[4,5]
Alcachofa	kg	0,9	[26]
Brócoli	kg	1,42	[26]
Lechuga	kg	0,58	[26]
Melón	kg	1,9	[16]

3.3.1.1 LABOR HUMANA

Es una forma de energía directa y renovable que incluye tanto las tareas realizadas por trabajadores de la propia explotación como las realizadas por trabajadores externos a la misma. Abarca tareas tan diversas como plantar, colocación de gomas de riego, tratamiento foliar o herbicida con mochila, poda, escarda manual y recolección manual entre otras.

La unidad de esta variable es la hora (h), siendo el valor energético de la misma 1,96 MJ. Este valor no varía en función de la labor ni de la persona que la haya realizado (hombre o mujer).

3.3.1.2 MAQUINARIA

Se trata de una variable indirecta y no renovable que hace referencia a las distintas tareas (abonado de fondo o de cobertera, labrar, vna mecánica, tratamiento foliar, tratamiento herbicida, recolección, retirada de restos de cultivo...) realizadas por la maquinaria (tractor, remolque, arado de vertedera, fresadora, abonadora centrífuga, grada de discos, atomizador...).

Al igual que la variable anterior, su unidad de medida es la hora (h), en este caso de valor energético 62,7 MJ. Este valor se mantiene constante para las distintas labores y maquinaria empleada.

3.3.1.3 COMBUSTIBLE

Variable directa y no renovable. Su unidad es el litro (l), considerándose que se requiere de 56,31 MJ para la obtención del mismo. Para la determinación del combustible empleado se ha estimado un consumo de combustible diésel en la superficie de una hectárea para cada equipo empleado.

Tabla 6. Consumo de combustible diésel estimado por diferentes equipos agrícolas. Fuente: [27].

Equipo	Consumo (l/ha)
Arado de disco	22
Arado de vertedera	25
Azada giratoria	4
Centrífuga de fertilizantes	2
Cinzel	13
Cultivador ligero	8
Cultivador pesado	10
Cultivador rotatorio	20
Grada de discos mediana	7
Equipo combinado de arado y preparación del lecho de siembra	24
Pulverizador arrastrado	3
Recolección	9
Remolque	7

El valor energético del combustible diesel resulta de sumar el contenido energético del mismo y coste energético de su transporte hasta la parcela donde será empleado.

3.3.1.4 ESTIÉRCOL

Es la única variable indirecta y renovable. Abarca el abono de procedencia animal que es empleado en la explotación. Su unidad es el kilogramo (kg), cuyo valor energético varía significativamente entre distintas especies e incluso entre animales de la misma especie. Esto es debido a las diferencias en alimentación, edad, gestión, estado sanitario y de manejo de los mismos que dan lugar a variaciones importantes en la composición del estiércol y por tanto en su valor energético. No obstante, se ha estimado un valor de 0,3 MJ por cada kg de estiércol independientemente del animal del que proceda.

El estiércol es un producto natural de bajo coste energético y su empleo como abono contribuye al aumento de la producción además de resolver el problema que conlleva su gestión. Sin embargo, el abusivo empleo del mismo puede tener repercusiones graves en el medio ambiente, tales como emisión de amoníaco durante su aplicación en campo; escorrentía de sus componentes hacia el agua superficial; y lavado de nitratos y fósforo que contribuyen a la contaminación de aguas subterráneas. Existe la posibilidad de emplear el estiércol en la obtención de biomasa y ser sustituido, en agricultura, por cultivos de abono verde (*green manure crops*) como leguminosas y gramíneas que protegen el suelo de la erosión, mantienen la estructura y aportan tanto materia orgánica como nitrógeno.

3.3.1.5 FERTILIZANTES

Los fertilizantes son considerados una variable de entrada indirecta y no renovable. Suponen una gran parte de la energía aportada al sistema, llegando en países desarrollados a representar cerca del 40% de la energía empleada. No obstante, la producción de fertilizantes es cada vez más eficiente energéticamente, en particular la de los fertilizantes nitrogenados, los más empleados y costosos energéticamente.

Dado que cada fertilizante presenta una composición química diferente, el valor energético de cada uno de ellos dependerá de su riqueza en N, K₂O y P₂O₅ (Tabla 7), así como de la cantidad empleada del mismo. Su unidad de medida es el kg, siendo la equivalencia energética muy superior en nitrógeno (66,14 MJ) que en fósforo (12,44 MJ) y potasio (11,15 MJ).

La cantidad de fertilizante empleado está estrechamente relacionado con el sistema de riego. Mientras que en riego por gravedad se requiere de una mayor cantidad de fertilizantes como consecuencia del proceso de lixiviación, en riego localizado se requiere menos cantidad debido a que sólo se incorpora a una parte del suelo (bulbo húmedo) y las pérdidas se ven reducidas.

Tabla 7. Riqueza en N, P₂O₅ y K₂O de los abonos empleados.

Abono	Riqueza en N	Riqueza en P₂O₅	Riqueza en K₂O
Nitrato amónico	0,335	-	-
Nitrato potásico	0,13	-	0,46
Urea	0,45	-	-
Fosfato monoamónico	0,11	0,61	-
Sulfato potásico	-	-	0,5
Sulfato amónico	0,21	-	-
Ácido fosfórico	-	0,52	-
Ácidos Húmicos	0,04	-	-
Nitrato de calcio	0,155	-	-
Ácido nítrico	0,126	-	-
Nitrato de magnesio	0,11	-	-
Complejo 20-10-5	0,2	0,1	0,05
Fosfato monopotásico	-	0,53	0,34
Complejo 15-15-15	0,15	0,15	0,15
Complejo 0-0-14	-	-	0,14
Complejo 8-24-8	0,08	0,24	0,08
Complejo 18-46-0	0,18	0,46	-
Superfosfato 18	-	0,18	-
Complejo 8-15-15	0,08	0,15	0,15
Nitrógeno 21%	0,21	-	-
Complejo 6-4-12	0,06	0,04	0,12
Complejo 12-8-30	0,12	0,08	0,3
Complejo N-P-K	0,15	0,15	0,15
Complejo NITROFOS	0,12	0,12	0,17
Solución nitrogenada 20%	0,2	-	-
Solución nitrogenada 32%	0,32	-	-
Complejo 9-6-6	0,09	0,06	0,06
Complejo 3-3-12	0,03	0,03	0,12
Complejo 10-4-6	0,1	0,04	0,06
Complejo 12-24-08	0,12	0,24	0,08
Complejo 8-0-0	0,08	-	-
Complejo 9-3-8	0,09	0,03	0,08
Complejo 8-4-10	0,08	0,04	0,1
Complejo 13-40-13	0,13	0,4	0,13

3.3.1.6 FITOSANITARIOS

El término fitosanitarios engloba a herbicidas, fungicidas y plaguicidas. Se trata de productos de elevado coste energético de producción (mayor aún que fertilizantes) pero que se emplean relativamente en pequeña cantidad. Su unidad de medida es el kg y su equivalencia energética es de: 199 MJ/kg para herbicidas; 92 MJ/kg para fungicidas; y 238 MJ/kg para plaguicidas.

Su empleo da como resultado un aumento en la cantidad de energía que sale del sistema (aumento en la producción) debido a reducción de la incidencia de plagas y enfermedades. No obstante, esta reducción puede conseguirse mediante el empleo de plantas modificadas genéticamente y/o la lucha integrada. El empleo de plantas modificadas genéticamente con el fin de ser resistentes a ciertas plagas y enfermedades, así como el empleo de elementos naturales para combatirlas repercute en una disminución del uso de agroquímicos y por consiguiente de ahorro de energía. En este sentido se puede obtener un beneficio doble: ahorro de energía y conservación del medio ambiente.

3.3.1.7 ELECTRICIDAD

La electricidad es una variable energética directa y no renovable. Su unidad de medida es el kWh, que equivale a 11,93 MJ.

Para su determinación se ha diferenciado entre energía directa e indirecta. La componente directa es función del consumo de agua, estimándose el consumo energético de bombear 1 m³ de agua en 1,17 kWh. La componente indirecta se ha considerado el 18% de la directa.

3.3.1.8 RIEGO

La variable riego es considerada como forma de energía indirecta y no renovable. Se ha considerado como el 20% del consumo eléctrico.

Esta variable engloba la energía necesaria para la fabricación, instalación y mantenimiento de infraestructuras y maquinaria de suministro como embalses de regulación, estaciones de filtrado, agrupaciones de hidrantes, cabezales de riego y centros de control.

3.3.1.9 PRODUCCIÓN

Es la única variable de salida y su unidad de medida es el kg. La cantidad final de producto obtenido depende de la cantidad de energía aportada, de la forma en que se haya empleado y de la interacción de las distintas formas de energía. El valor energético de una producción dada depende del cultivo en cuestión (Tabla 8).

Tabla 8. Equivalencia energética de los cultivos estudiados.

Cultivo	Equivalencia energética (MJ/kg)	Cultivo	Equivalencia energética (MJ/kg)
Limonero	1,9	Melocotonero	1,9
Mandarino	1,9	Peral	1,9
Naranja	1,9	Alcachofa	0,9
Pomelo	1,9	Brócoli	1,42
Albaricoquero	3,36	Lechuga	0,58
Ciruelo	1,9	Melón	1,9

3.3.2 FACTORES DE INFLUENCIA

Independientemente del empleo de energía de forma directa o indirecta, hay diversos factores que influyen en el consumo y distribución de la misma, como las condiciones climáticas; la estación o época del año; prácticas culturales del riego; sistema de riego; proporción de la población dedicada a la agricultura; proporción de tierras de cultivo de regadío; formación y capacitación de los agricultores; y políticas gubernamentales en materia de energía.

Las condiciones climáticas condicionan la cantidad de agua a aportar a los cultivos, viéndose reducida en aquellos casos en que se aporte agua en forma de precipitaciones y aumentada cuando tenga lugar un período de sequía. En aquellos casos en que se reduzca la cantidad de agua que se ha de aportar a un cultivo se verá reducida la cantidad de energía a aportar al sistema.

La estación o época del año también influye en el consumo de energía, siendo las variaciones mensuales, semanales e incluso diarias. En aquellos momentos en que sea preciso emplear agua subterránea para compensar la escasez en el suministro de agua de superficie o los aportes naturales de agua, tendrá lugar un aumento en el consumo de energía. Por tanto, el consumo de energía es mayor en épocas de sequía.

En países en vía de desarrollo, por lo general, una alta proporción de la población dedicada a la agricultura lleva asociado un bajo nivel de mecanización de las instalaciones de riego, siendo por tanto el consumo de energía asociado al combustible, maquinaria y electricidad menor. Este menor consumo corresponde con un aumento del aporte de energía al sistema en forma de labor humana.

La proporción de tierras de regadío, así como los diferentes sistemas de riego empleados tienen un impacto en la cantidad de agua utilizada. En cultivos de regadío, al consumo indirecto correspondiente de la construcción de las infraestructuras hay que añadir el consumo directo asociado al combustible. A medida que aumenta la proporción de tierras de regadío aumenta el consumo de energía asociado al agua. >Por tanto, es importante conseguir una elevada eficiencia en el uso del agua a fin de disminuir la cantidad de energía aportada al sistema.

La política gubernamental también es uno de los factores que influyen en el consumo de energía y en la eficiencia energética de los sistemas de riego. En este sentido juegan un papel importante las subvenciones y ayudas energéticas que puedan implantarse, pues éstas fomentan el uso de energía.

3.3.3 BALANCE DE ENERGÍA Y EXPRESIONES

Conocido el valor energético de todas las variables que intervienen en el sistema se ha establecido el correspondiente balance energético (1). Este viene determinado por la diferencia entre la producción obtenida y la suma de las restantes variables, en términos energéticos.

$$\text{Balance energético (MJ)} = \sum \text{Energía salida (MJ)} - \sum \text{Energía entrada (MJ)} \quad (1)$$

Además se han determinado otras expresiones como: eficiencia en el uso de la energía (2), productividad (3), energía específica (4), eficiencia energética del agua (5), productividad del agua (6) y huella hídrica (7).

La eficiencia en el uso de la energía relaciona la energía aportada al sistema con la obtenida en el mismo mediante la expresión:

$$\text{Eficiencia en el uso de la energía} = \frac{\text{Energía salida (MJ)}}{\text{Entrada entrada (MJ)}} \quad (2)$$

Cuando el balance energético resulte positivo el valor de la eficiencia en el uso de la energía será mayor a 1 y cuando resulte negativo su valor será inferior a 1.

Por productividad se entiende el nivel de producción obtenido (kg) por unidad de energía empleada (MJ). Por medio de la productividad se pone a prueba la capacidad del sistema de producción y el nivel en el cual se aprovechan los recursos disponibles. Es preciso señalar que una mayor productividad supone un aumento de la rentabilidad.

$$\text{Productividad de la energía (kg/MJ)} = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Entrada energía (MJ)}} \quad (3)$$

La energía específica se define como la energía (MJ) que entra al sistema por unidad de producción (kg). Esta expresión es inversamente proporcional a la productividad de la energía de tal forma que a mayor cantidad de energía requerida para producir un kg de producto mayor será la energía específica.

$$\text{Energía específica (MJ/kg)} = \frac{\text{Entrada energía (MJ)}}{\text{Producción (kg)}} \quad (4)$$

La eficiencia energética del agua se expresa como la relación entre la energía asociada a la producción obtenida (MJ) y el agua en términos energéticos (MJ). A mayor cantidad de producción obtenida para una misma energía asociada al agua mayor eficiencia.

$$\text{Eficiencia energética del agua} = \frac{\text{Salida energía (MJ)}}{\text{Agua (MJ)}} \quad (5)$$

La productividad del agua se expresa mediante la relación entre la producción obtenida (kg) y el agua empleada (m³) en su obtención. A menor cantidad de agua necesaria para producir un kg de un determinado producto mayor será la productividad de la misma.

$$\text{Productividad del agua (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Agua (m}^3\text{)}} \quad (6)$$

La huella hídrica se define como el volumen de agua dulce necesario (m³) por unidad de producto obtenido (kg). Esta expresión es inversamente proporcional a la productividad del agua.

$$\text{Huella hídrica (m}^3/\text{kg)} = \frac{\text{Agua (m}^3\text{)}}{\text{Producción (kg)}} \quad (7)$$

3.3.4 FORMAS DE ENERGÍA

La energía considerada en el sistema de producción agrícola ha sido clasificada en directa e indirecta, así como renovable y no renovable [38,39,40]. Las fuentes de energía directa son aquellas que extraen la energía empleada directamente, como es el caso de la labor humana, el combustible diésel y la electricidad. Las fuentes de energía indirectas, por el contrario, desprenden la energía de forma gradual y engloban las variables maquinaria, estiércol, fertilizantes (nitrógeno, fósforo y potasio), productos fitosanitarios y riego. La energía renovable engloba las variables de labor humana y estiércol. La energía considerada como no renovable es aquella asociada a combustible diésel, electricidad, productos fitosanitarios, fertilizantes, maquinaria y riego.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CÍTRICOS

Los cultivos de cítricos estudiados han sido limonero, mandarino, naranjo y pomelo. En total se han seleccionado 18 parcelas representativas. En 8 de ellas el cultivo implantado ha sido limonero (4 de la variedad Verna y 4 de la variedad Fino); en 4 mandarino (2 de la variedad Marisol y 1 para las variedades Afourer y Mandarino Fort) y naranjo (2 de la variedad Valencia-Late y 2 de la variedad Navelina); y en 2 pomelo (de las variedades Río Rojo y Roja).

4.1.1 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA

Tabla 9. Cantidad aportada de las distintas variables en una superficie de 1 ha de cítricos.

Inputs	Limonero	Mandarino	Naranjo	Pomelo	Promedio	
Labor humana (h)	283	214	183	126	201	
Maquinaria (h)	31	22	11	10	18	
Combustible (l)	14	35	12	17	19	
Estiércol (kg)	0	1475	0	0	369	
Fertilizantes (kg)	Nitrógeno (N)	297	470	235	141	286
	Fósforo (P₂O₅)	131	112	84	140	117
	Potasio (K₂O)	140	182	160	120	150
	Insecticidas	10	17	8	9	11
Fitosanitarios (kg)	Fungicidas	1	6	2	5	4
	Herbicidas	42	6	3	2	13
Electricidad (kWh)	8187	9122	6824	7847	7995	
Riego (m³)	1637	1824	1365	1569	1599	
Outputs						
Producción (kg)	40131	34054	32446	43985	37654	

Tabla 10. Valores energéticos (MJ) asociados a cada variable, para una superficie de 1 ha de cítricos.

Inputs	Limonero	Mandarino	Naranjo	Pomelo	Promedio	
Labor humana	554	419	358	246	395	
Maquinaria	1920	1380	685	618	1151	
Combustible	802	1957	676	929	1091	
Estiércol	0	443	0	0	111	
Fertilizantes	Nitrógeno (N)	19647	31109	15572	9358	18922
	Fósforo (P₂O₅)	1634	1394	1044	1743	1454
	Potasio (K₂O)	1556	2032	1780	1339	1677
	Insecticidas	2017	3318	1612	1831	2195
Fitosanitarios	Fungicidas	115	506	221	460	325
	Herbicidas	9901	1517	809	357	3146
Electricidad	98246	109469	81887	94160	95940	
Riego	19649	21894	16377	18832	19188	
Outputs						
Producción	76248	64702	61648	83572	71542	

La energía de entrada total utilizada en los cultivos de limonero, mandarino, naranjo y pomelo ha sido 156.042 MJ ha⁻¹, 175.439 MJ ha⁻¹, 121.021 MJ ha⁻¹ y 129.873 MJ ha⁻¹ respectivamente. El promedio para estos cultivos es de 145.594 MJ ha⁻¹.

Esta cantidad de energía demandada se debe fundamentalmente a las variables de electricidad, fertilizantes (nitrógeno, fósforo y potasio en su conjunto) y riego en mayor medida, tal y como puede apreciarse en los gráficos 7-11. El resto de variables presentan una contribución relativamente baja al total de energía demandada por los cultivos.

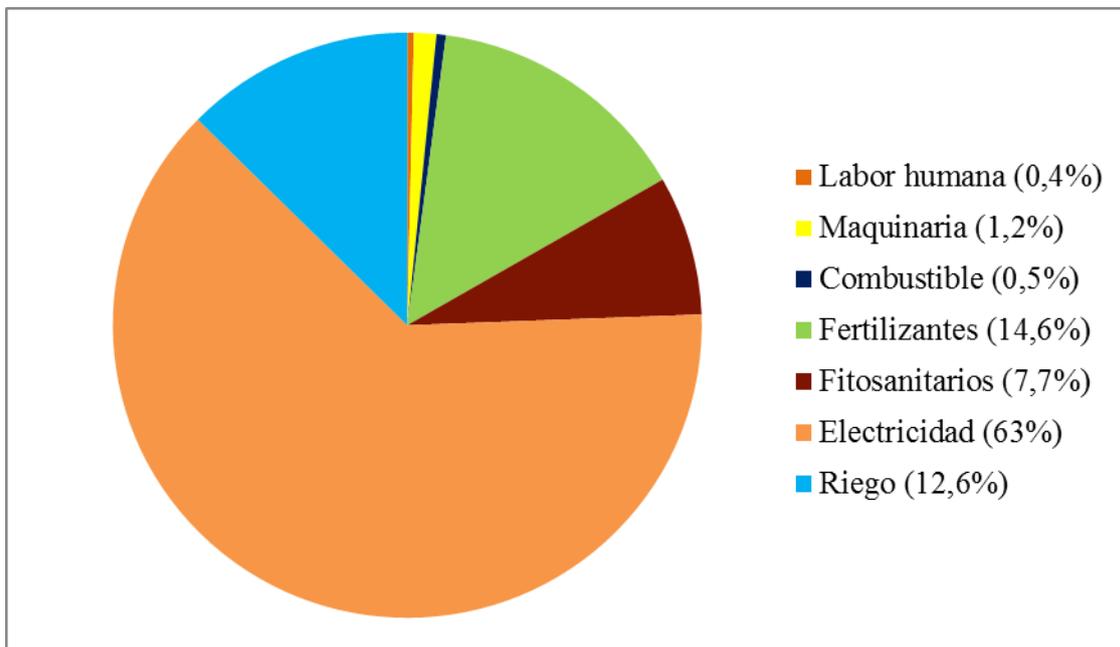


Figura 7. Distribución del consumo energético en limonero.

En limonero el 63% de la energía utilizada corresponde a la electricidad; el 14,6% a los fertilizantes; y el 12,6% a riego. Los fertilizantes nitrogenados, por si solos, contribuyen en un 12,6% al total de energía. Estas tres variables demandan el 90,2% de la energía de entrada. Los productos fitosanitarios suponen el 7,7% de la energía empleada y el resto de variables presentan una contribución próxima o menor a 1%. El limonero, es el cultivo de los cítricos en el que se ha empleado mayor energía en forma de labor humana, maquinaria y fitosanitarios (fundamentalmente herbicidas).

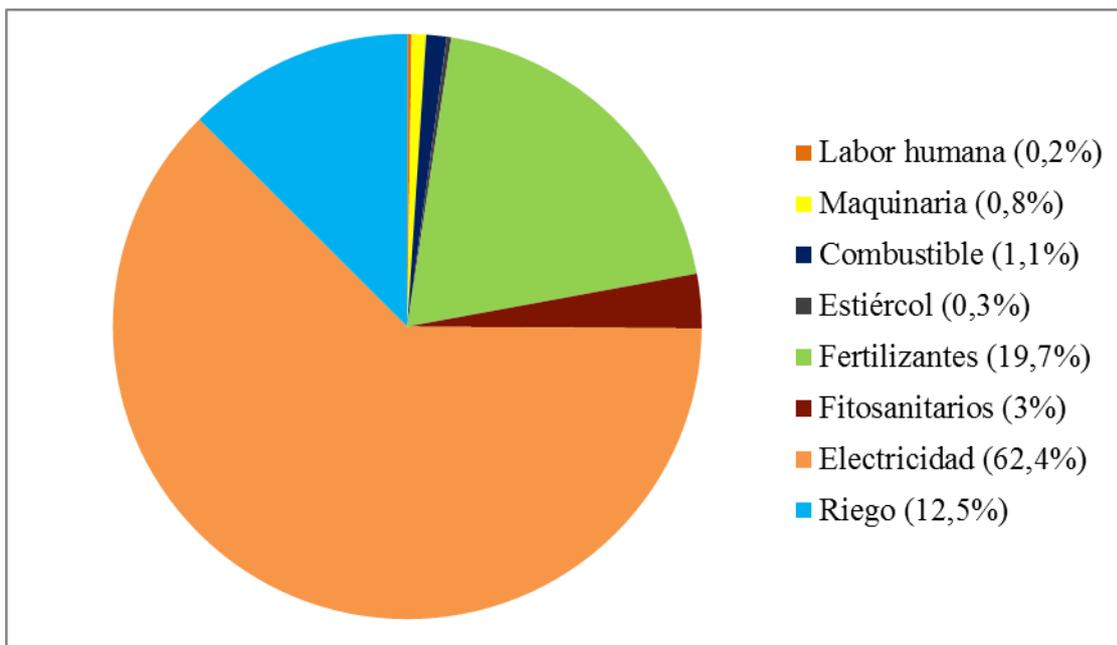


Figura 8. Distribución del consumo energético en mandarina.

En mandarina la variable que mayor energía demanda es la electricidad con un 62,4% seguida de fertilizantes y riego con 19,7 y 12,5% respectivamente. Estas variables demandan más del 94,6% de la energía. Es el único cultivo de cítricos en el que se ha empleado estiércol, así como en el que mayor cantidad de combustible y fertilizantes (nitrógeno) se ha empleado.

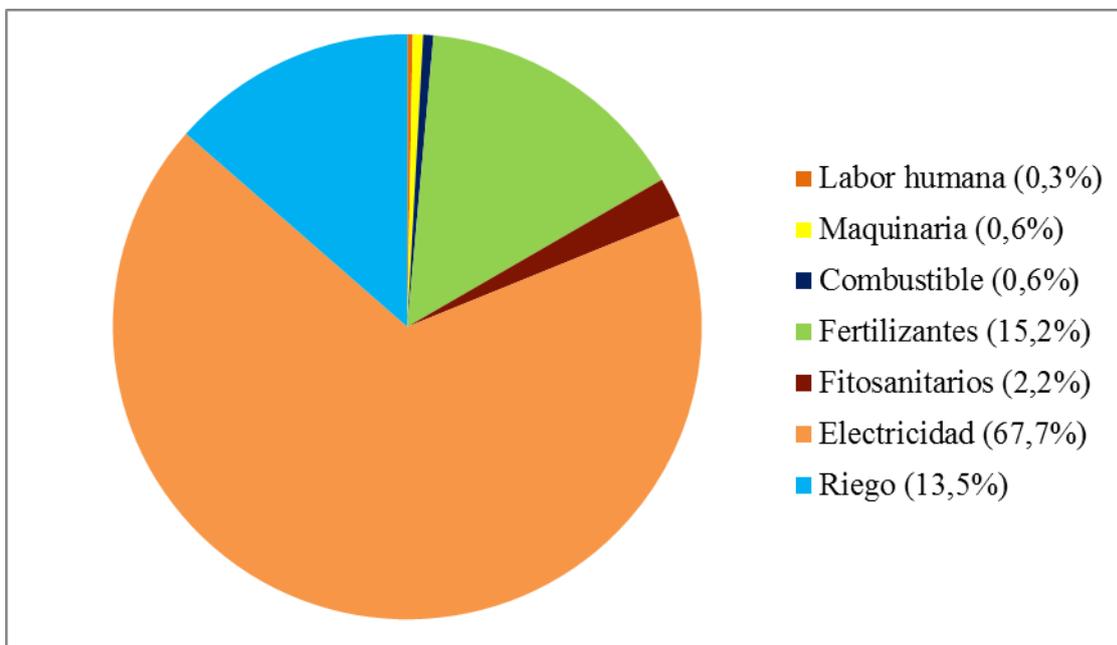


Figura 9. Distribución del consumo energético en naranja.

En naranjo, la mayor parte de la energía demandada corresponde a: electricidad (67,7%), fertilizantes (15,2%) y riego (13,5%), que supone el 96,4% de la energía total.

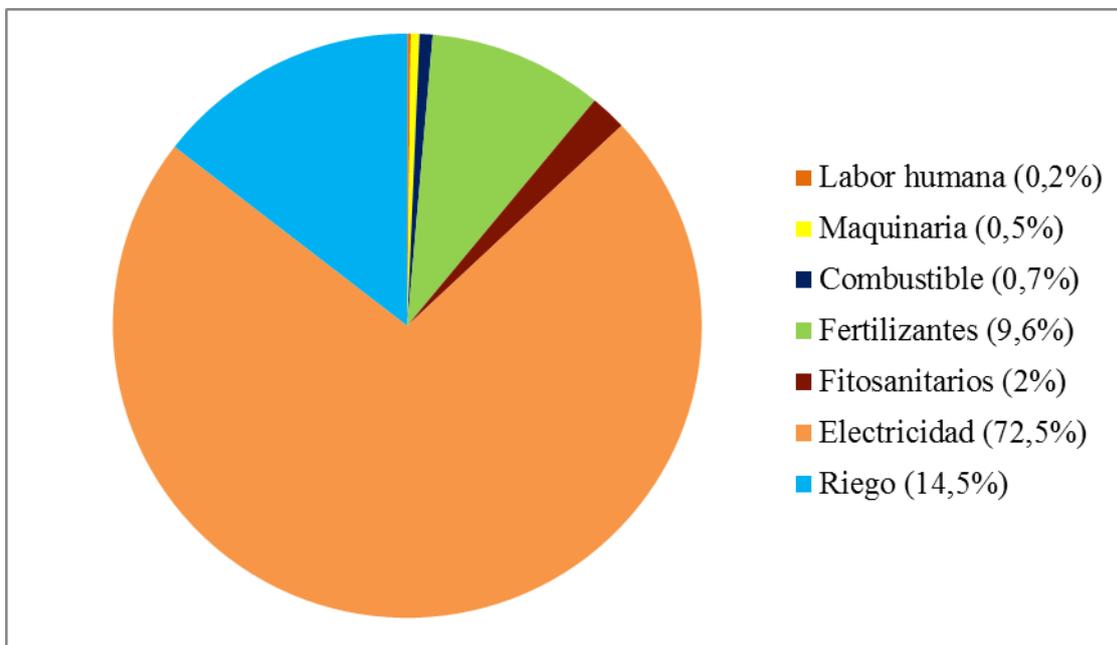


Figura 10. Distribución del consumo energético en pomelo.

En el cultivo de pomelo, el consumo de energía se debe fundamentalmente a las variables de electricidad (72,5%), riego (14,5%) y fertilizantes (9,6%), siendo la suma de las tres variables el 96,6%. Es el cultivo de los cítricos que presenta mayor consumo de energía asociado a las variables de electricidad y riego.

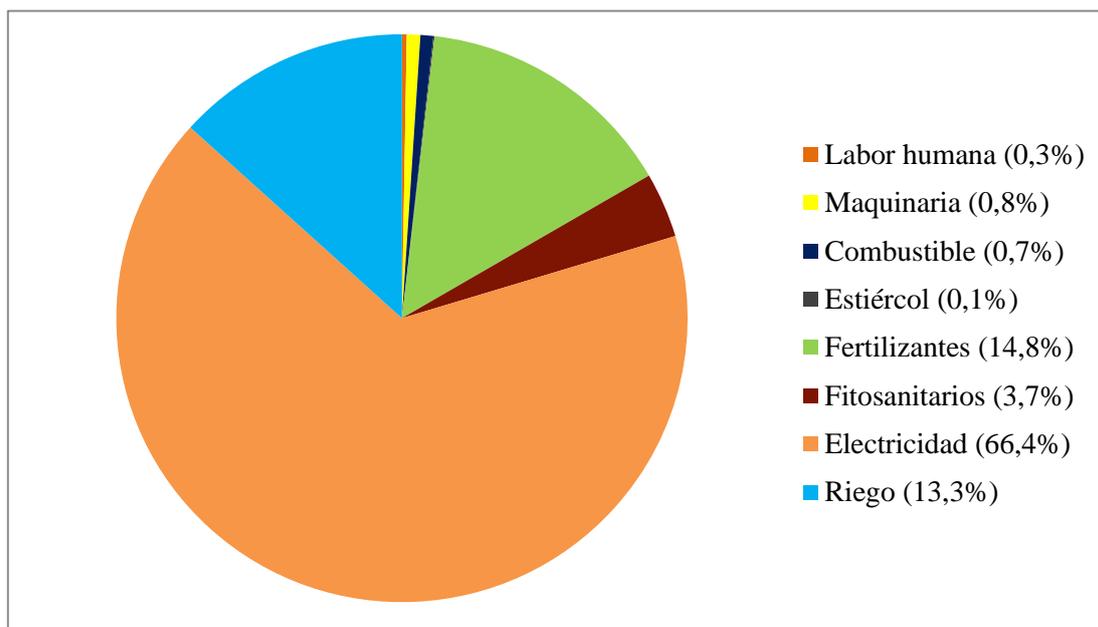


Figura 11. Distribución del consumo energético promedio en cítricos.

Así pues, en cítricos el consumo energético promedio asociado a la electricidad, riego y nitrógeno es de 66,4%, 13,3% y 12,6% respectivamente. A excepción de los productos fitosanitarios, el resto de variables suponen una contribución menor del 1% al total de energía demandada.

Respecto a la energía equivalente a la producción obtenida, esta se ha estimado en 76.248 MJ ha⁻¹, 64.702 MJ ha⁻¹, 61.648 MJ ha⁻¹ y 83.572 MJ ha⁻¹ para los cultivos de limonero, mandarino, naranjo y pomelo respectivamente, siendo el valor promedio para estos cultivos de 71.542 MJ ha⁻¹.

4.1.2 EXPRESIONES

En la Tabla 11 se muestra el valor de las distintas expresiones calculadas para cítricos.

Tabla 11. Valor de las expresiones en cítricos.

Expresiones	Limonero	Mandarino	Naranjo	Pomelo	Promedio
Balance energético (MJ)	-79794	-110737	-59373	-46301	-74051
Eficiencia en el uso de la energía	0,49	0,37	0,51	0,64	0,49
Productividad de la energía (kg/MJ)	0,26	0,19	0,27	0,34	0,26
Energía específica (MJ/kg)	3,89	5,15	3,73	2,95	3,93
Eficiencia energética del agua (MJ/MJ)	3,88	2,96	3,76	4,44	3,76
Productividad del agua (kg/m³)	6,77	5,15	6,56	7,74	6,56
Huella hídrica (m³/kg)	0,15	0,19	0,15	0,13	0,16

El balance energético resulta negativo en todos los casos, siendo el cultivo de mandarino el que presenta el valor más bajo (-110.737 MJ) y el cultivo de pomelo el que presenta un valor más próximo a cero (-46.301 MJ). Por tanto, la mayor eficiencia en el uso de la energía se ha obtenido para el cultivo de pomelo, seguido de naranjo, limonero y mandarino.

En cuanto a productividad, el cultivo de pomelo es aquel que presenta el valor más elevado (0,34 kg MJ⁻¹), seguido de naranjo (0,27 kg MJ⁻¹), limonero (0,26 kg MJ⁻¹) y mandarino (0,19 kg MJ⁻¹). Dado que la energía específica es la inversa de la productividad, el valor más alto se presenta en mandarino (5,15 MJ kg⁻¹), seguido de limonero (3,89 MJ kg⁻¹), naranjo (3,73 MJ kg⁻¹) y pomelo (2,95 MJ kg⁻¹).

Respecto a la eficiencia energética del agua, el valor más elevado corresponde a pomelo (4,44) seguido de limonero (3,88), naranjo (3,76) y mandarino (2,96). Por tanto,

en pomelo se requiere de una menor cantidad de agua por unidad de producción y en mandarino mayor cantidad.

El cultivo en el que se ha obtenido mayor producción por m³ de agua empleada es el pomelo (7,74 kg m⁻³) seguido de limonero (6,77 kg m⁻³), naranjo (6,56 kg m⁻³) y mandarino (5,15 kg m⁻³).

4.1.3 FORMAS DE ENERGÍA

En todos los cultivos cítricos estudiados hay una tendencia a emplear energía no renovable y de forma directa, tal y como puede apreciarse en la tabla 12 y figura 12.

Tabla 12. Formas de energía en cítricos.

Energía (MJ/ha)	Limonero	Mandarino	Naranjo	Pomelo	Promedio
Energía directa	99603 (63,83%)	111845 (63,75%)	82921 (68,52%)	95335 (73,41%)	97426 (67,38%)
Energía indirecta	56439 (36,17%)	63594 (36,25%)	38100 (31,48%)	34538 (26,59%)	48168 (32,62%)
Energía renovable	554 (0,36%)	862 (0,49%)	358 (0,30%)	246 (0,19%)	505 (0,33%)
Energía no renovable	155488 (99,64%)	174577 (99,51%)	120662 (99,70%)	129626 (99,81%)	145088 (99,67%)

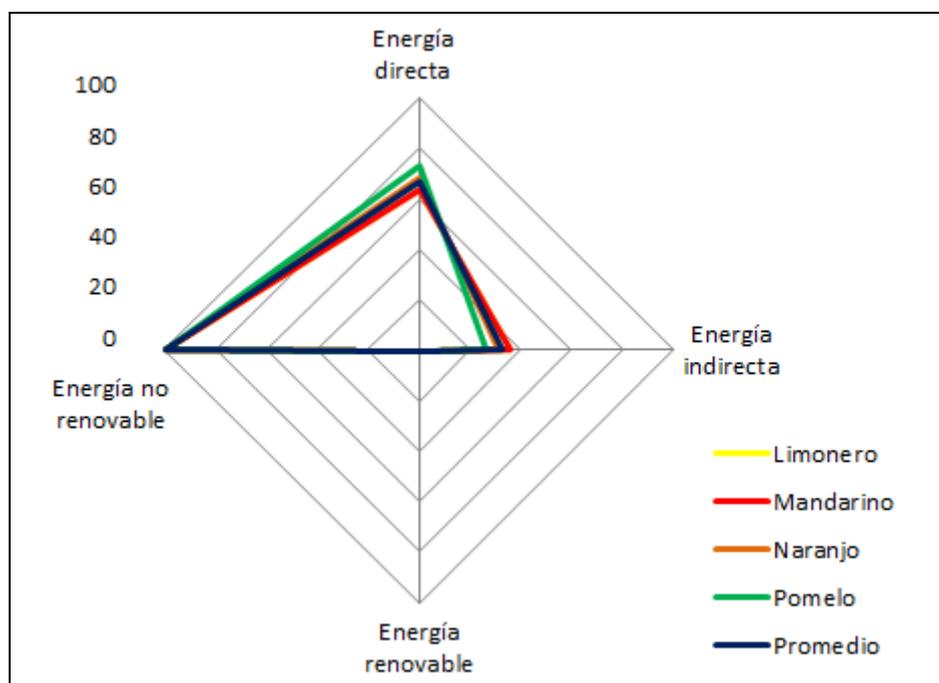


Figura 12. Formas de energía en cítricos (% del total de energía).

Se observa, para todos los cultivos de cítricos, como predomina el empleo de energía no renovable y de forma directa. Mientras que la energía no renovable supone más del 99% de la energía, la energía directa representa entre el 63 y 73%. Esto es debido a la gran cantidad de energía empleada en forma de electricidad (directa y no renovable), fertilizantes y riego (indirecta y no renovable).

4.1.4 COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS

Estudios similares, basados en la misma metodología, han sido realizados en cultivos cítricos de Irán [41] y Turquía [1].

En Irán, a pesar de obtener una producción por unidad de superficie muy similar a la obtenida en la Región de Murcia, el balance energético en cultivos de mandarina y naranjo resulta más favorable debido al menor gasto de energía asociado a electricidad y fertilizantes nitrogenados fundamentalmente. A diferencia de los cultivos estudiados en el presente proyecto, la eficiencia en el uso de la energía es próxima a la unidad y se emplea mayor cantidad de energía de forma indirecta (entorno al 40%) y renovable (alrededor del 30%).

En los cultivos de limonero, mandarina y naranjo de Turquía, el balance energético resulta positivo, siendo por tanto la eficiencia en el uso de la energía mayor a la unidad y por tanto mayor que la obtenida en el presente proyecto. En los cultivos de Turquía el consumo de energía directa es muy similar al de energía indirecta y el consumo de energía renovable es prácticamente nulo tal y como sucede con los cultivos cítricos de la Región de Murcia.

4.2 FRUTALES

El número de parcelas representativas de frutales es de 29, siendo los cultivos implantados albaricoquero (7 de variedad Búlida, 1 Valenciano, 2 Pepito y 2 Real Fino), ciruelo (2 de variedad Santa Rosa, 1 Black-Ambar y 1 Royal Garden), melocotonero (2 de variedad Florida, 2 Catherine, 1 Queen-Crest, 1 Baby-Gold 6, 1 Candor, 1 Flor Astar, 1 Melocotonero Fortune, 1 Sudanell y 1 Paraguayo) y peral (2 de variedad Ercolini).

4.2.1 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA

Para los cultivos de frutales no se han calculado valores promedio debido a las mayores diferencias entre los cultivos estudiados así como la diferencias en cuanto a valores de la variable producción, viéndose por tanto dificultado el manejo de los datos en su conjunto.

Tabla 13. Cantidad aportada de las distintas variables en una superficie de 1 ha de frutales.

Inputs	Albaricoquero	Ciruelo	Melocotonero	Peral
Labor humana (h)	421	572	578	913
Maquinaria (h)	53	23	23	115
Combustible (l)	79	36	29	97
Estiércol (kg)	2583	2000	717	9500
Fertilizantes (kg)	Nitrógeno (N)	107	138	127
	Fósforo (P₂O₅)	70	167	206
	Potasio (K₂O)	111	176	219
Fitosanitarios (kg)	Insecticidas	5	9	6
	Fungicidas	17	56	15
	Herbicidas	2	10	2
Electricidad (kWh)	7802	7622	7985	9152
Riego (m³)	1560	1524	1597	1830
Outputs				
Producción (kg)	21165	15740	26192	34516

Tabla 14. Valores energéticos (MJ) asociados a cada variable, para una superficie de 1 ha de frutales.

Inputs	Albaricoquero	Ciruelo	Melocotonero	Peral
Labor humana	826	1121	1133	1790
Maquinaria	3317	1445	1435	7218
Combustible	4453	1999	1653	5434
Estiércol	775	600	215	2850
Fertilizantes	Nitrógeno (N)	7076	9142	13138
	Fósforo (P₂O₅)	868	2073	2567
	Potasio (K₂O)	1239	1960	2447
Fitosanitarios	Insecticidas	910	1711	1244
	Fungicidas	1523	5182	1421
	Herbicidas	555	2398	552
Electricidad	93619	91469	95824	109825
Riego	18724	18294	19165	21965
Outputs				
Producción	71114	29906	49765	65581

La energía de entrada total utilizada en los cultivos de albaricoquero, ciruelo, melocotonero y peral ha sido 133.886 MJ ha⁻¹, 137.394 MJ ha⁻¹, 141.673 MJ ha⁻¹ y 163.491 MJ ha⁻¹ respectivamente. Estos valores son muy superiores a los obtenidos en la producción, tal y como sucedía en cítricos.

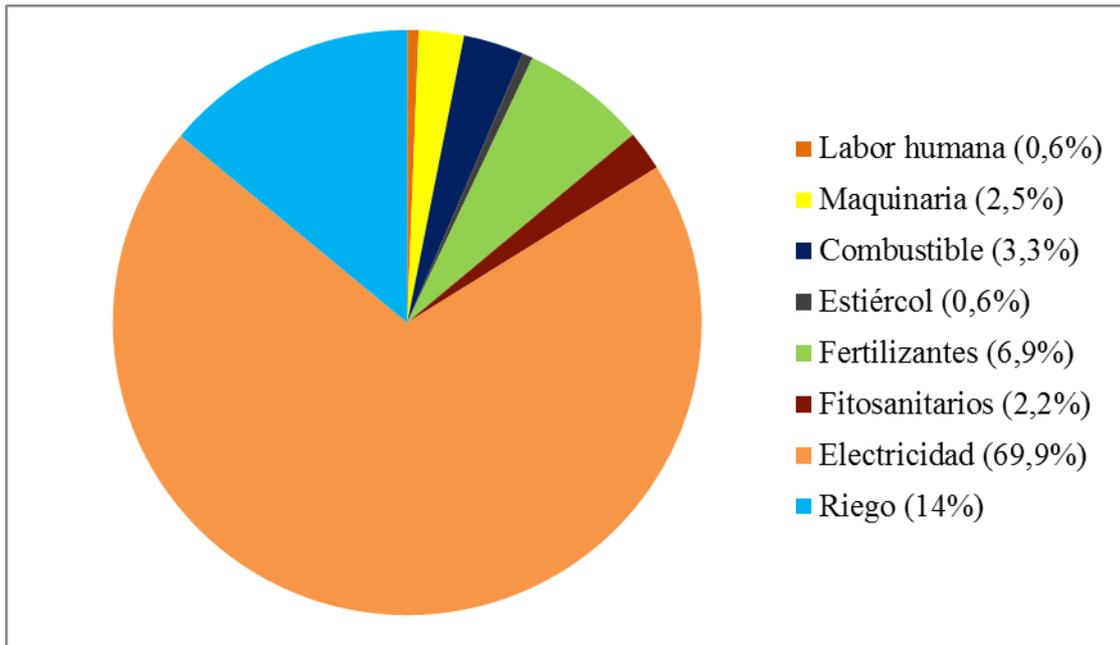


Figura 13. Distribución del consumo energético en albaricoquero.

En el cultivo de albaricoquero el consumo de energía se debe fundamentalmente a la electricidad (69,9%), riego (14%) y fertilizantes (6,9%).

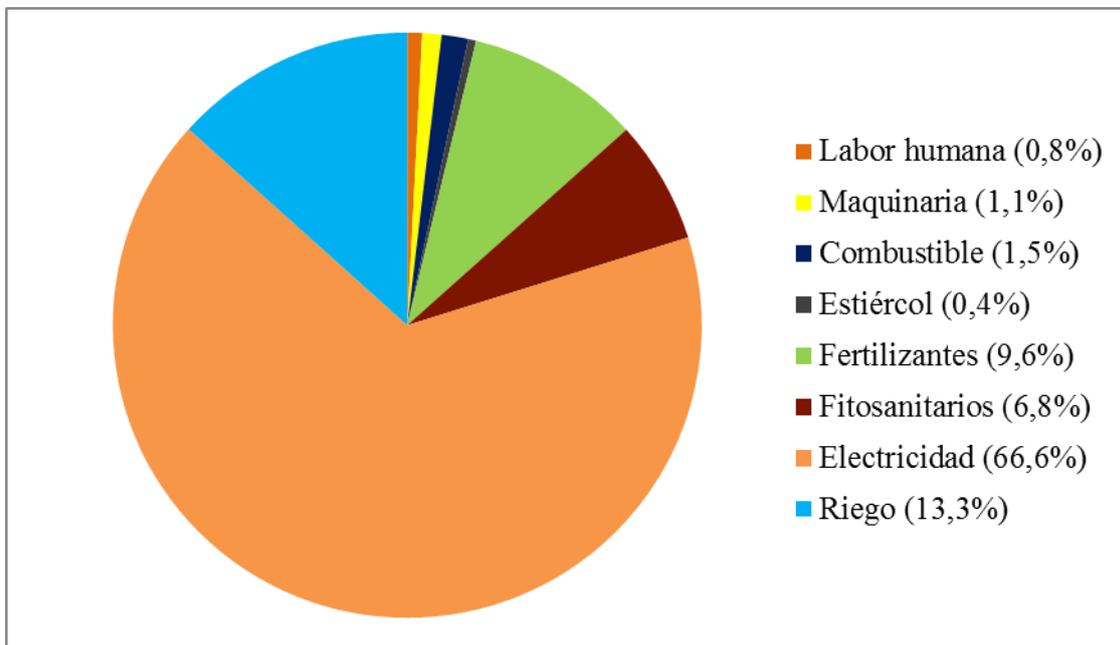


Figura 14. Distribución del consumo energético en ciruelo.

En ciruelo, las variables electricidad (66,6%), riego (13,3%), fertilizantes (9,6%) y fitosanitarios (6,8%) suponen el 96,3% de la energía demandada por este cultivo.

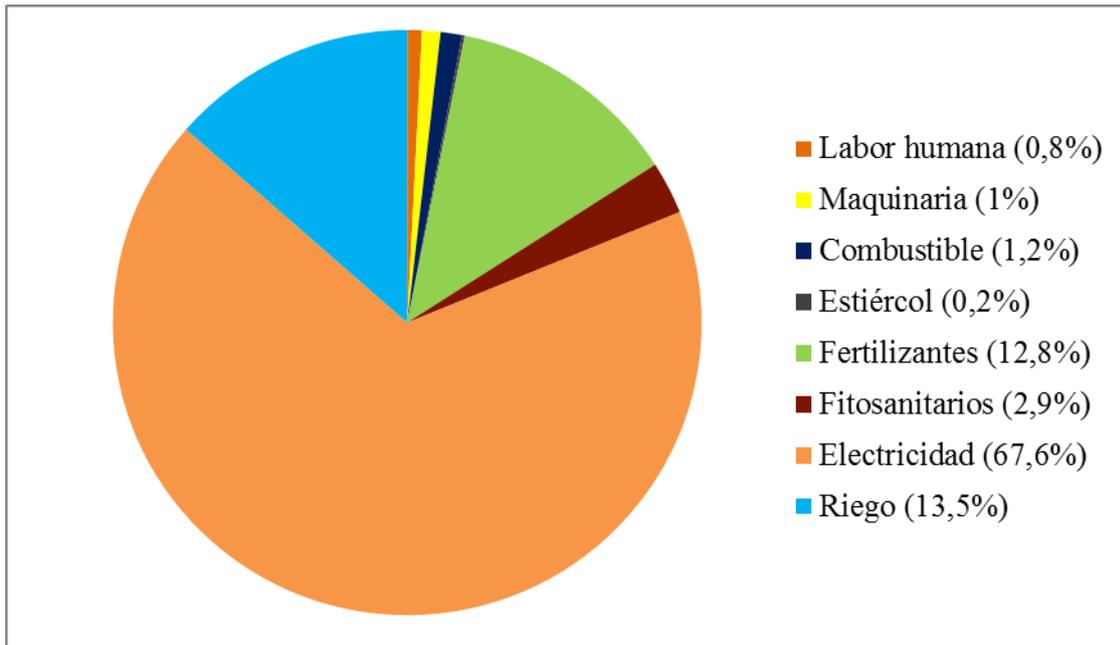


Figura 15. Distribución del consumo energético en melocotonero.

En melocotonero las variables electricidad (67,7%), riego (13,5%) y fertilizantes (12,8%) suponen el 94% del total de energía demandada.

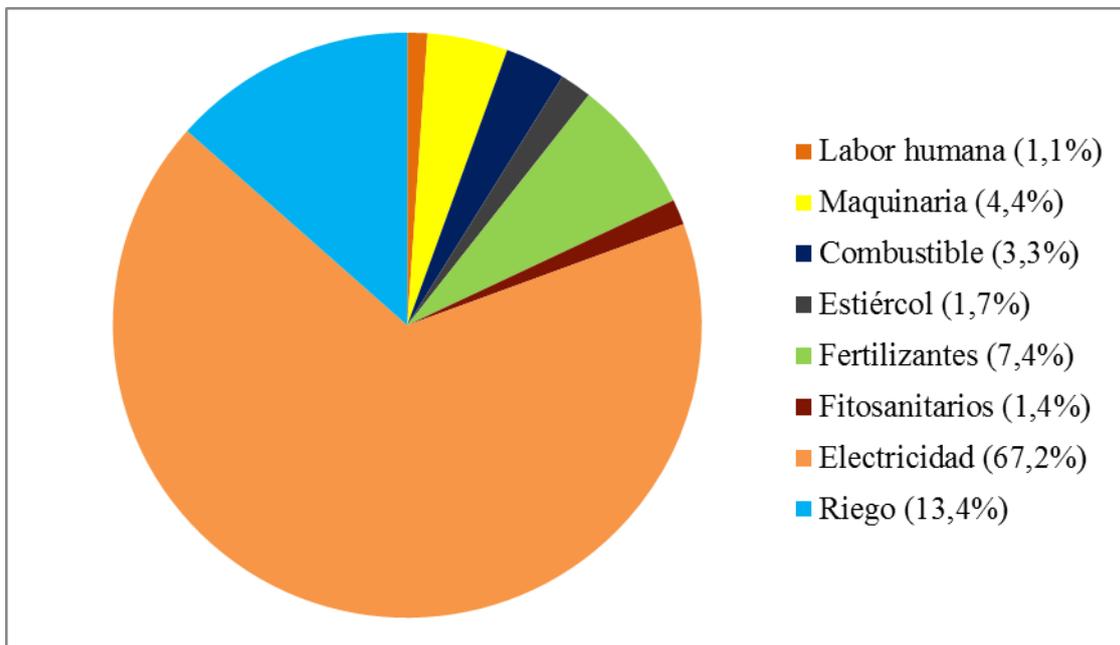


Figura 16. Distribución del consumo energético en peral.

Las variables labor humana, maquinaria, combustible, estiércol y fitosanitarios en peral suponen un 12%, contribuyendo al total de energía demandada en mayor medida que el resto de cultivos. No obstante, las variables electricidad (67,2%), riego

(13,4%) y fertilizantes (7,4%) como en los cultivos anteriores siguen siendo las más empleadas, pues en suponen el 88%.

El valor energético de la producción obtenida ha sido de 71.114 MJ ha⁻¹, 29.906 MJ ha⁻¹, 49.765 MJ ha⁻¹ y 65.581 MJ ha⁻¹ en albaricoquero, ciruelo, melocotonero y peral respectivamente.

4.2.2 EXPRESIONES

El valor de las distintas expresiones calculadas se muestra a continuación.

Tabla 15. Valor de las expresiones en frutales.

Expresiones	Albaricoquero	Ciruelo	Melocotonero	Peral
Balance energético (MJ)	-62772	-107489	-91908	-97910
Eficiencia en el uso de la energía	0,53	0,22	0,35	0,40
Productividad de la energía (kg/MJ)	0,16	0,11	0,18	0,21
Energía específica (MJ/kg)	6,33	8,73	5,41	4,74
Eficiencia energética del agua (MJ/MJ)	3,80	1,63	2,60	2,99
Productividad del agua (kg/m³)	3,75	2,85	4,53	5,21
Huella hídrica (m³/kg)	0,27	0,35	0,22	0,19

El balance energético resulta negativo en todos los casos, siendo el cultivo de ciruelo el que presenta el valor más bajo (-107.489 MJ) y albaricoquero el que presenta un valor más próximo a cero (-62.772 MJ). La mayor eficiencia en el uso de la energía ha sido obtenida en el cultivo de albaricoquero (0,53), seguido de peral (0,4), melocotonero (0,35) y ciruelo (0,22).

El cultivo que presenta una mayor productividad de la energía es peral (0,21 kg MJ⁻¹), seguido de melocotonero (0,18 kg MJ⁻¹), albaricoquero (0,16 kg MJ⁻¹) y ciruelo (0,11 kg MJ⁻¹).

El valor más elevado de eficiencia energética del agua se presenta en albaricoquero (3,80), seguido con un valor muy inferior de peral (2,99), melocotonero (2,60) y ciruelo (1,63).

En frutales el valor de la productividad del agua varía de 5,21 kg m⁻³ en peral a 2,85 kg m⁻³ en ciruelo. En los cultivos de albaricoquero y melocotonero los valores son de 3,75 kg m⁻³ y 4,53 kg m⁻³ respectivamente.

4.2.3 FORMAS DE ENERGÍA

Como sucedía en cultivos de cítricos, se observa una tendencia a emplear energía de forma directa y no renovable (Tabla 16).

Tabla 16. Formas de energía en frutales.

Energía (MJ/ha)	Albaricoquero	Ciruelo	Melocotonero	Peral
Energía directa	98898 (73,25%)	94589 (68,84%)	98611 (69,60%)	117050 (71,59%)
Energía indirecta	34988 (26,13%)	42805 (31,16%)	43063 (30,40%)	46441 (28,41%)
Energía renovable	1601 (1,20%)	1721 (1,25%)	1348 (0,95%)	4640 (2,84%)
Energía no renovable	132285 (98,80%)	135674 (98,75%)	140325 (99,05%)	158851 (97,16%)

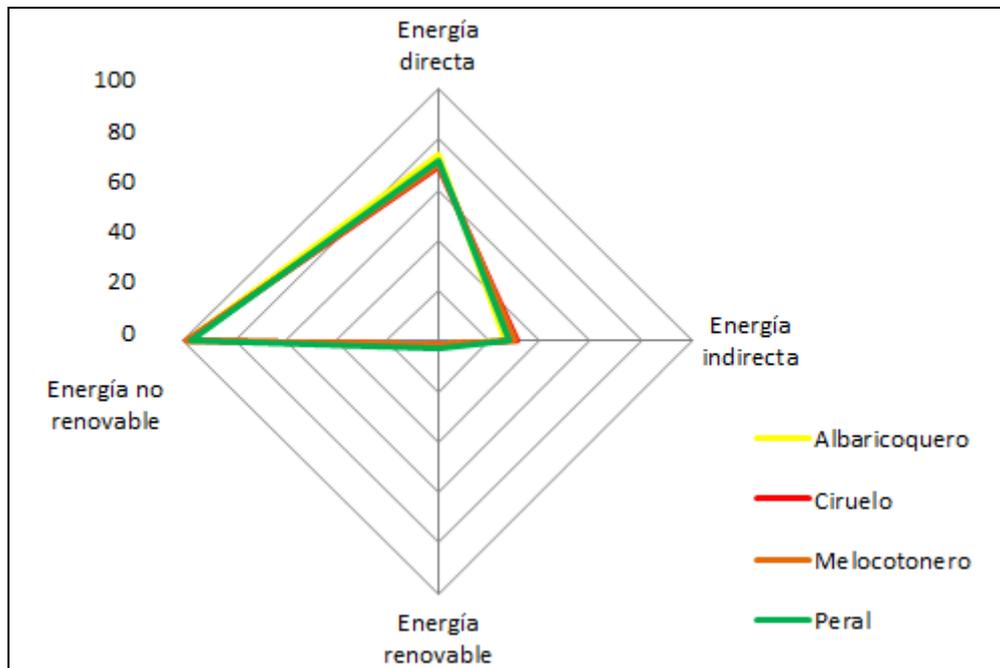


Figura 17. Formas de energía en frutales (% del total de energía).

El mayor porcentaje de energía directa frente a la indirecta se debe a la contribución por parte de la variable electricidad, que es una variable directa. La diferencia entre energía no renovable y renovable se debe, igual que en cítricos, al reducido empleo de energía no renovable como son el estiércol y la labor humana que no suponen más de un 3% de la energía.

4.2.4 COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS

Cultivos como albaricoquero en Turquía [30], ciruelo [42], melocotonero [43] y peral [44] en Irán han sido objeto de estudio.

Los resultados obtenidos para el cultivo de albaricoquero en Turquía difieren con los obtenidos en el presente proyecto, debido fundamentalmente al menor consumo de energía asociada a la electricidad y riego, dando lugar a un balance energético positivo y empleo de mayor proporción de energía renovable (23%). A pesar del mayor consumo de agua, la energía empleada en el riego es menor debido a que éste se realiza por gravedad.

Los estudios realizados sobre ciruelo en Irán muestran la baja eficiencia en el uso de la energía. A pesar de obtener mayor producción por unidad de superficie y por tanto mayor energía de salida, la energía aportada al sistema es muy superior a la aportada en la Región de Murcia. Esta mayor cantidad de energía aportada al sistema se debe en mayor parte a la electricidad y riego que suponen del orden del 80% y 10% respectivamente. Los resultados obtenidos en cuanto a formas de energía son muy similares a los obtenidos en el presente estudio, siendo la energía directa y no renovable la predominante.

En el cultivo de melocotonero de Irán también se obtiene un balance energético negativo y baja eficiencia en el uso de la energía, sin embargo, la distribución de la energía de entrada es muy diferente a la que tiene lugar en la Región de Murcia. En Irán se emplea mayor cantidad de energía asociada a la labor humana, maquinaria, combustible y estiércol, pero menor cantidad asociada a fertilizantes, fitosanitarios, electricidad y riego. Esta distribución de energía se traduce en el uso de energía indirecta similar a energía directa, así como en el mayor consumo de energía de forma no renovable frente a renovable (18%).

4.3 HORTÍCOLAS

Para el estudio de los cultivos hortícolas se han seleccionado un total de 21 explotaciones. El cultivo más representativo es el de lechuga con un total de 9 explotaciones (6 de variedad Iceberg, 2 Romana y 1 Baby). Los cultivos de alcachofa

(variedad Blanca de Tudela), brócoli (variedad Marathon) y melón (3 variedad Galia y 1 Amarillo) han sido implantados en 4 explotaciones cada uno de ellos.

La duración del ciclo de cultivo (Tabla 17) varía entre los distintos cultivos hortícolas.

Tabla 17. Duración del ciclo de cultivo de hortícolas

Cultivo	Ciclo de cultivo
Alcachofa	Agosto – Mayo
Brócoli	Agosto – Noviembre
Lechuga	Septiembre – Diciembre
Melón	Mayo – Julio

4.3.1 FORMAS DE ENERGÍA

Tabla 18. Cantidad aportada de las distintas variables en una superficie de 1 ha de hortícolas.

Inputs	Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón	
Labor humana (h)	347	333	537	284	
Maquinaria (h)	23	32	34	28	
Combustible (l)	75	55	98	100	
Estiércol (kg)	2475	8713	14000	7088	
Fertilizantes (kg)	Nitrógeno (N)	408	258	251	350
	Fósforo (P₂O₅)	350	177	200	303
	Potasio (K₂O)	405	163	83	375
	Insecticidas	29	4	5	3
Fitosanitarios (kg)	Fungicidas	11	1	10	10
	Herbicidas	14	2	5	1
Electricidad (kWh)	16817	7901	6719	4354	
Riego (m³)	3363	1580	1344	871	
Outputs					
Producción (kg)	19662	15942	29446	80040	

Tabla 19. Valores energéticos (MJ) asociados a cada variable, para una superficie de 1 ha de hortícolas.

Inputs	Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón	
Labor humana	681	652	1052	556	
Maquinaria	1429	1997	2110	1756	
Combustible	4209	3111	5500	5603	
Estiércol	743	2614	4200	2126	
Fertilizantes	Nitrógeno (N)	26979	17055	16617	23144
	Fósforo (P₂O₅)	4359	2207	2486	3772
	Potasio (K₂O)	4515	1816	930	4185
	Insecticidas	5761	706	1064	597
Fitosanitarios	Fungicidas	973	92	883	890
	Herbicidas	3338	375	1111	214
Electricidad	201798	94807	80629	52245	
Riego	40360	18961	16126	10449	
Outputs					
Producción	17696	22637	17079	152075	

El sumatorio de las variables de entrada es de 295.144 MJ ha⁻¹, 144.393 MJ ha⁻¹, 132.707 MJ ha⁻¹ y 105.537 MJ ha⁻¹ para los cultivos de alcachofa, brócoli, lechuga y melón respectivamente.

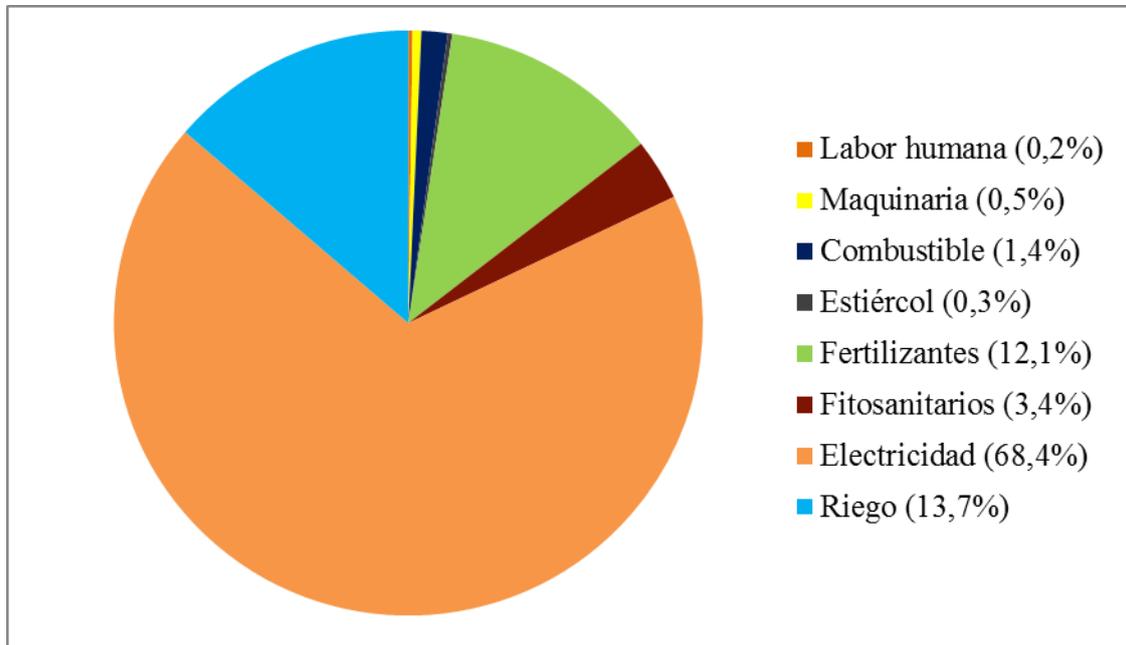


Figura 18. Distribución del consumo energético en alcachofa.

En alcachofa el consumo de energía se debe fundamentalmente a electricidad (68,4%), riego (13,7%) y fertilizantes (12,1%) que supone el 94,1% de la energía total de entrada.

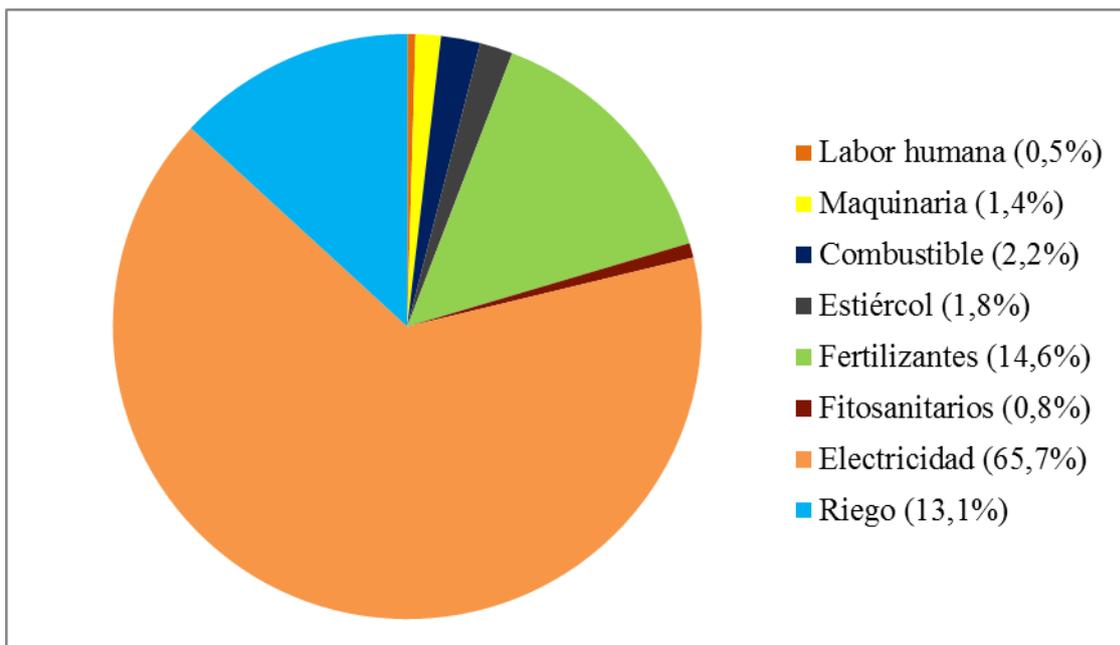


Figura 19. Distribución del consumo energético en brócoli.

En brócoli, el consumo de energía asociado a electricidad (65,7%), fertilizantes (14,6%) y riego (13,1%) supone el 93,4% del total de la energía de entrada.

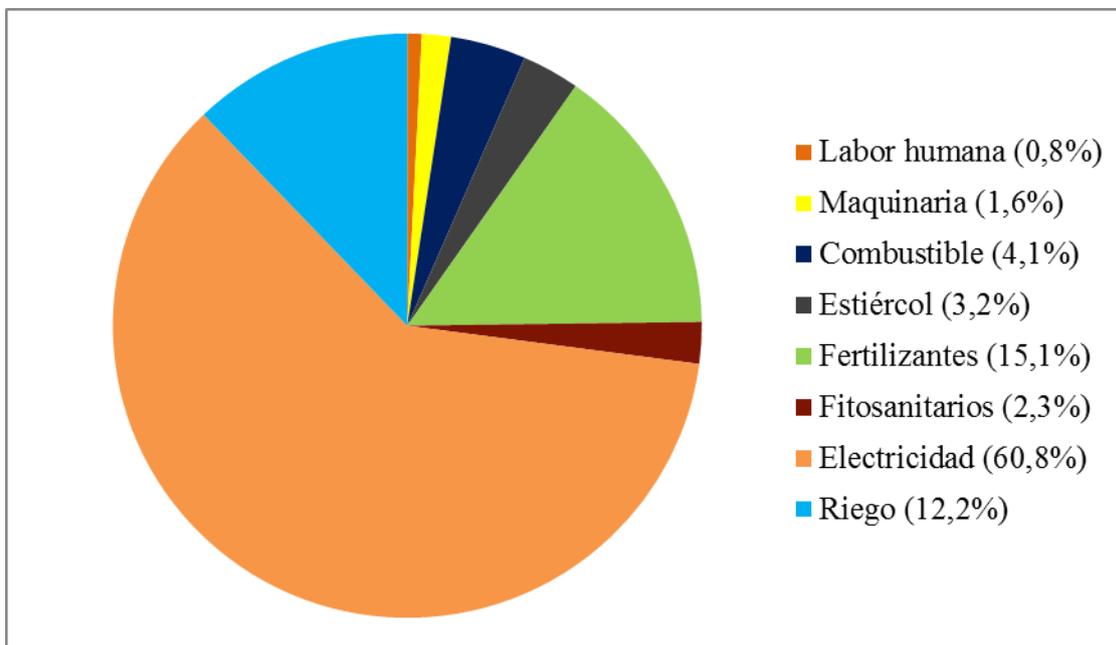


Figura 20. Distribución del consumo energético en lechuga.

En lechuga las variables de electricidad (60,8%), fertilizantes (15,1%) y riego (12,2%) suponen el 88% del total de energía de entrada.

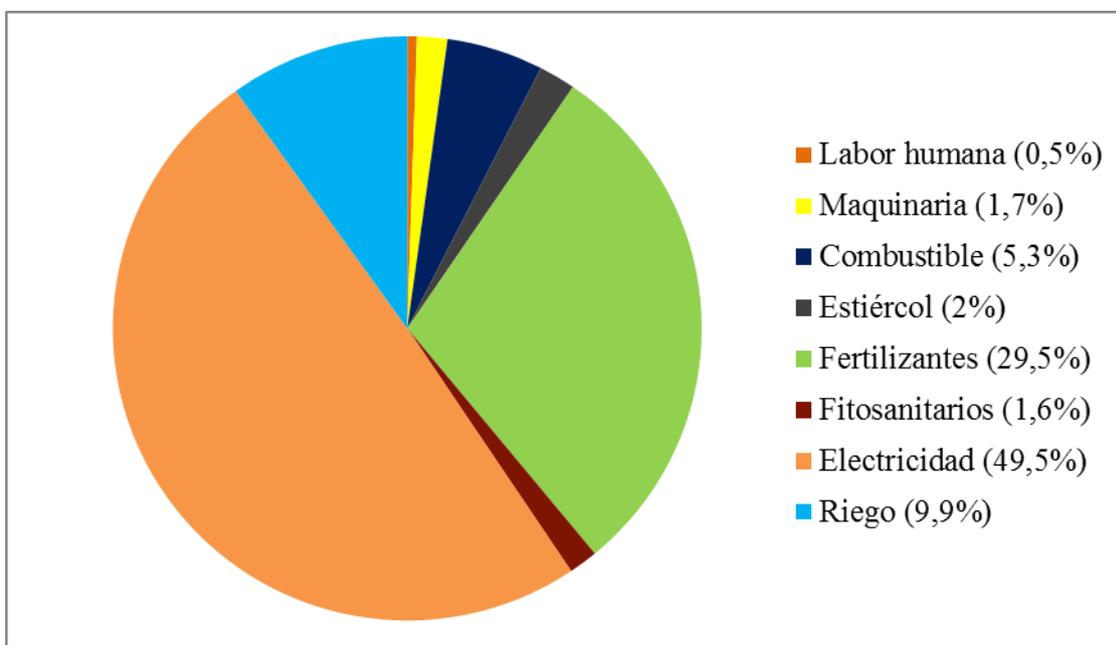


Figura 21. Distribución del consumo energético en melón.

En melón, la energía debida a los fertilizantes es muy superior al resto de cultivos y la energía asociada a la electricidad muy inferior. No obstante, las variables fertilizantes (29,5%), electricidad (49,5%) y riego (9,9%) suponen el 88,9%.

El valor energético de la producción obtenida ha sido de 17.696 MJ ha⁻¹, 22.637 MJ ha⁻¹, 34.158 MJ ha⁻¹ y 152.075 MJ ha⁻¹ en alcachofa, brócoli, lechuga y melón respectivamente.

4.3.2 EXPRESIONES

Tabla 20. Valor de las expresiones en hortalizas.

Expresiones	Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón
Balance energético (MJ)	-277449	-121756	-115627	46538
Eficiencia en el uso de la energía	0,06	0,16	0,13	1,44
Productividad de la energía (kg/MJ)	0,07	0,11	0,22	0,76
Energía específica (MJ/kg)	15,01	9,06	4,51	1,32
Eficiencia energética del agua (MJ/MJ)	0,44	1,19	1,06	14,55
Productividad del agua (kg/m³)	1,61	2,79	6,32	25,38
Huella hídrica (m³/kg)	0,62	0,36	0,16	0,04

A excepción del cultivo de melón (46.538 MJ), el balance de energía resulta negativo, tal y como ha sucedido en cítricos y frutales. El cultivo con un balance más bajo es el de alcachofa (-277.449 MJ), seguido de brócoli (-121.756 MJ) y lechuga (-115.627 MJ). Por tanto, mientras que en melón se obtiene una eficiencia en el uso de la energía superior a la unidad (1,44) y en los cultivos de brócoli (0,16), lechuga (0,13) y alcachofa (0,06) se obtiene un valor inferior a la unidad.

El cultivo que presenta mayor productividad es melón (0,76 kg MJ⁻¹), seguido de lechuga (0,22 kg MJ⁻¹), brócoli (0,11 kg MJ⁻¹) y alcachofa (0,07 kg MJ⁻¹).

El valor más elevado de eficiencia energética del agua se presenta en melón (14,55), seguido con un valor muy inferior de brócoli (1,19), lechuga (1,06) y alcachofa (0,44).

El valor de la productividad del agua varía de 25,38 kg m⁻³ en melón a 1,61 kg m⁻³ en alcachofa. En los cultivos de lechuga y brócoli los valores son de 6,32 kg m⁻³ y 1,61 kg m⁻³ respectivamente.

4.3.3 FORMAS DE ENERGÍA

En hortalizas el cultivo de melón presenta una distribución de la energía diferente al resto de cultivos. Mientras que en los cultivos de alcachofa, brócoli y lechuga la mayor parte de la energía es empleada de forma directa, en melón viene a suponer del orden del 55,34%. En lo que respecta a energía renovable y no renovable, es ésta última la que predomina como sucedía en cítricos y frutales. El cultivo que mayor porcentaje de energía no renovable emplea es la alcachofa (99,52%), seguida de brócoli (97,74%), melón (97,46%) y lechuga (96,04%).

Tabla 21. Formas de energía en hortalizas.

Energía (MJ/ha)	Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón
Energía directa	206688 (70,03%)	98570 (68,27%)	87180 (65,69%)	58404 (55,34%)
Energía indirecta	88456 (29,97%)	45823 (31,73%)	45526 (34,31%)	47134 (44,66%)
Energía renovable	1423 (0,48%)	3266 (2,26%)	5252 (3,96%)	2682 (2,54%)
Energía no renovable	293721 (99,52%)	141127 (97,74%)	127454 (96,04%)	102855 (97,46%)

Las diferencias entre el melón y el resto de cultivos se deben a la mayor cantidad de energía empleada como fertilizantes y menor cantidad empleada en forma de electricidad respecto al resto de cultivos.

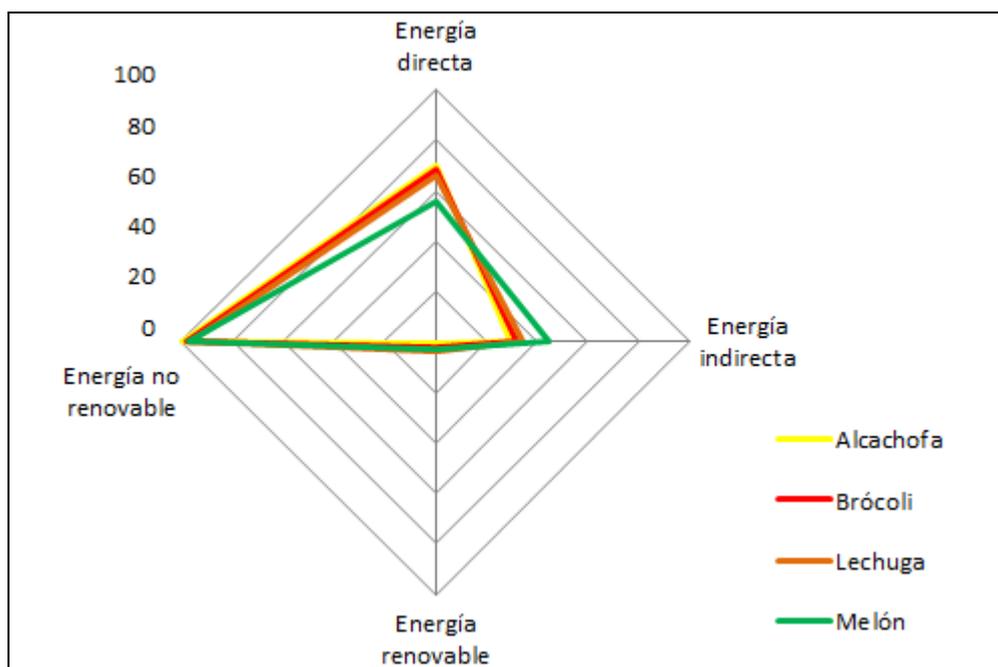


Figura 22. Formas de energía en hortalizas (% del total de energía).

4.3.4 COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS

Existen pocos estudios cuyo objeto sea el análisis energético en cultivos hortícolas. No obstante, la productividad del agua ha sido estudiada en Omán para el cultivo de melón [45], donde se ha obtenido un valor de $5,7 \text{ kg m}^{-3}$. Este valor es muy inferior al obtenido en la Región de Murcia para el cultivo del melón y que se aproxima en mayor medida al resto de cultivos.

5. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se extraen las siguientes conclusiones:

- 1- El balance energético resulta negativo (a excepción del cultivo de melón) debido a la aportación al sistema parcela de una mayor cantidad de energía de la que posteriormente es extraída. Se obtiene por tanto una baja eficiencia en el uso de la energía, siendo los cítricos el grupo de cultivo con un valor más elevado (0,49), seguido de hortícolas (0,44) y frutales (0,375). Los cultivos con mayor eficiencia en el uso de la energía son pomelo (0,64) en cítricos, albaricoquero (0,53) en frutales y melón (1,44) en hortícolas.
- 2- Las variables de electricidad, riego y fertilizantes (fundamentalmente nitrogenados) son aquellas con mayor cantidad de energía asociada, llegando a suponer en cítricos el 92,3%, en hortícolas el 91,5% y frutales el 90,7% de la energía aportada al sistema. Es importante destacar que la electricidad supone más del 50% de la energía de entrada.
- 3- Predomina el empleo de energía no renovable y de forma directa debido a la elevada cantidad de energía aportada en forma de electricidad (directa y no renovable), riego (indirecta y no renovable) y fertilizantes (indirecta y no renovable). La energía no renovable representa, del total de energía aportada, el 99,67% en cítricos, 98,44% en frutales y 97,69% en hortícolas. La energía directa representa una menor proporción debido a la contribución de las variables riego y fertilizantes a la energía indirecta. No obstante, la energía directa supone alrededor del 67,38% de la energía total en cítricos, 70,81% en frutales y 64,83% en hortícolas.
- 4- Se precisa una mejora de la eficiencia en el uso del agua a fin de conseguir una mayor eficiencia energética del agua, mayor productividad del agua y menor valor de huella hídrica. Con la mejora de la eficiencia se consigue reducir la cantidad de energía aportada al sistema en forma de electricidad y riego. Respecto a la energía asociada a los fertilizantes, ésta se puede ver reducida sustituyendo el empleo de fertilizantes de síntesis por la aportación de estiércol, consiguiendo por tanto un aumento de la proporción de energía renovable.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ozkan B, Akcaoz H, Karadeniz F (2004a). Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion Manage.*, 45: 1821-1830.
- [2] Mohammai A, Tabatabaeefar A, Shahin Sh, Rafiee Sh, Keyhani A (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion Manage.*, 49: 3566-3570.
- [3] Pathak BS, Binning AS. Energy use pattern and potential for energy saving in rice-wheat cultivation. *Agric Energy* 1985;4:271–8.
- [4] Singh S, Mittal JP. *Energy in production agriculture*. New Delhi: Mittol Pub.; 1992.
- [5] Ozkan B, Akcaoz H, Fert C. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *Renew Energy* 2004;29:39-51.
- [6] Yaldiz O, Ozturk HH, Zeren, Y, Bascetincelik A. Energy use in field crops of Turkey. V International congress of agricultural machinery and energy; 12–14 October 1993, Kusadası-Turkey in Turkish.
- [7] Singh H, Mishra D, Nahar NM. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in Arid Zone India—Part I. *Energ Convers Manage* 2002;43(16):2275–86.
- [8] Shrestha, DS. Energy use efficiency indicator for agriculture, 1998. Available from: <http://www.usaskca/agriculture/caedac/PDF/mcrae.PDF,10/10/2002>.
- [9] Helsel ZR. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: Fluck RC, editor. *Eng in World Agriculture*, vol. 6. Elsevier Science Publishing; 1992. p. 177– 210.
- [10] Heidari MD, Omid M, Mohammadi A. Measuring productive efficiency of horticultural greenhouses in Iran: a data envelopment analysis approach. *Expert Syst Appl* 2012;39:1040–5.
- [11] Omid M, Ghojabeige F, Delshad M, Ahmadi H. Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis. *Energy Convers Manage* 2011;52:153–62.
- [12] Ozkan B, Ceylan RF, Kizilay H. Comparison of energy inputs in glasshouse double crop (fall and summer crops) tomato production. *Renew Energy* 2011;36:1639–44.

- [13] Yilmaz I, Akcaoz H, Ozkan B. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renew Energy* 2005;30:145-55.
- [14] Mohammadi A, Rafiee S, Mohtasebi SS, Rafiee H. Energy inputs-yield relationship and cost analysis of kiwifruit production in Iran. *Renew Energy* 2010;35:1071-5.
- [15] Shrestha DS. Energy use efficiency indicator for agriculture. Available from: [accessed 10.10.02] <http://www.usaskca/agriculture/caedac/PDF/mcrae.PDF>; 1998.
- [16] Singh JM. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. Germany: Master of Science, International Institute of Management, University of Flensburg; 2002.
- [17] Rajabi Hamedani S, Keyhani A, Alimardani R. Energy use patterns and econometric models of grape production in Hamadan province of Iran. *Energy* 2011;36:6345-51.
- [18] Mandal KG, Saha KP, Gosh PL, Hati KM, Bandyopadhyay KK. Bioenergy and economic analyses of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass Bioenerg* 2002;23:337-45.
- [19] De D, Singh S, Chandra H. Technological impact an energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Appl Energy* 2001;70:193-213.
- [20] Shresta DS. Energy input-output and their cost analysis in Nepalese Agriculture Available from: [http:// www.public.iastate.edu/~dev/pdfdocs/Energy.PDF](http://www.public.iastate.edu/~dev/pdfdocs/Energy.PDF).
- [21] Chandra H, Dipanker D, Singh RS. Spatial variation in energy use pattern for addy cultivation in India, Proc. of National Workshop on Energy and Environment Management for Sustainable Development of Agriculture and Agro Industrial Sector (July 8-9, 2001), pp. 48-51.
- [22] Canakci M, Topakci M, Akinci I, Ozmerzi A. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. *Energy Convers Manage* 2005;46:655-6.
- [23] Erdal G, Esengun K, Erdal H, Gunduz O. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy* 2007;32:35-41.

- [24] Cetin B, Vardar A. Economic analysis of energy requirements and input costs for tomato production in Turkey. *Renewable Energy* 2008;33:428-33.
- [25] Mohammadi A, Omid M. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Appl Energy* 2010;87:191-6.
- [26] USDA-ARS Nutrient data laboratory. Composition of foods, raw, processed, prepared. USDA national nutrient database for standard reference, Release 21. Available from: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>; 2008.
- [27] CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume V: Energy and Biomass Engineering. Osamu Kitani. Nihon University, Japan.
- [28] Tamara M. Jackson, Shahbaz Khanc, Mohsin Hafeez. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agricultural Water Management*.
- [29] Nita Kuswardhani, Peeyush Soni, Ganesh P. Shivakoti. Comparative energy input-output and financial analyses of greenhouse and open field vegetables production in West Java, Indonesia. *Energy* vol. 53 May 1, 2013. p. 83-92
- [30] Kemal Esengun, Orhan Gündüz, Gülistan Erdal. Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. Gaziosmanpasa University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, 60240 Tokat, Turkey.
- [31] Stout BA. *Handbook of energy for World agriculture*. London: Elsevier Applied Science; 1990.
- [32] Singh H, Mishra D, Nahar NM. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India: part I. *Energy Conversion and Management* 2002;43(16):2275-86.
- [33] Alam MS, Alam MR, Islam KK. Energy flow in agriculture: Bangladesh. *American Journal of Environmental Sciences* 2005;1(3):213-20.
- [34] Iqbal T. Energy input and output for production of boro rice in Bangladesh. *Electronic Journal of Environmental Agriculture and Food Chemistry* 2007;6(5): 2144-9.

- [35] Shahan S, Jafari A, Mobil H, Rafiee S, Karimi M. Energy use and economical analysis of wheat production in Iran: a case study from Ardabil province. *Journal of Agricultural Technology* 2008;4(1):77-88.
- [36] Mrini M, Senhaji F, Pimentel D. Energy analysis of sugarcane production in Morocco. *Environment Development and Sustainability* 2001;3(2):109-26.
- [37] Yadav RN, Singh RKP, Prasad S. An economic analysis of energy requirements in the production of potato crop in Bihar Sharif Block of Nalanda District (Bihar). *Economic Affairs* 1991;36:112-9.
- [38] Singh S, Mittal JP. *Energy in production agriculture*. New Delhi:Mittal Publ; 1992.
- [39] Ozkan B, Ferta Cemal, Karadeniza CF. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy* 2007;32(8):1500-4.
- [40] Hatirli SA, Ozkan Burhan, Fer Cemal. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy* 006;31(4):427-38.
- [41] Majid Namdari1, Ali Asadi Kangarshahi, Negin Akhlaghi Amiri. Input-output energy analysis of citrus production in Mazandaran province of Iran.
- [42] Seyed Mohammad Hossein Tabatabaie, Shahin Rafiee, Alireza Keyhani. Energy consumption flow and econometric models of two plum cultivars productions in Tehran province of Iran.
- [43] Mahsa Royan a, Mehdi Khojastehpour a, Bagher Emadi a, Hassan Ghasemi Mobtaker b. Investigation of energy inputs for peach production using sensitivity analysis in Iran.
- [44] Seyed Mohammad Hossein Tabatabaie, Shahin Rafiee, Alireza Keyhani, Mohammad Davoud Heidari. Energy use pattern and sensitivity analysis of energy inputs and input costs for pear production in Iran.
- [45] F. A. Al-Said, M. Ashfaq, M. Al-Barhi, Munir A. Hanjra and I. A. Khan. Water productivity of vegetables under modern irrigation methods in Oman. *Irrig. and Drain.* 61: 477–489 (2012).