

La poda del olivar como fuente de energía renovable: obtención de biocombustible

M^a INMACULADA ROMERO PULIDO

MANUEL MOYA VILAR

CRISTÓBAL CARA CORPA

ENCARNACIÓN RUIZ RAMOS

EULOGIO CASTRO GALIANO

Universidad de Jaén

RESUMEN

La demanda energética mundial aumenta de manera continua. Actualmente, esta demanda se satisface principalmente mediante combustibles de origen fósil, cuya utilización plantea problemas medioambientales y que, además, se agotarán en un futuro próximo. Por estos motivos, la utilización de fuentes de energía renovable constituye una prioridad en todos los países. De las diferentes formas de energía renovable, el empleo de la biomasa presenta un futuro prometedor, especialmente al utilizar residuos agrícolas que deben ser eliminados. Entre los residuos agrícolas generados en Andalucía, destacan, por el volumen producido, los derivados de la poda del olivar. El aprovechamiento de esta biomasa puede dirigirse a la producción de etanol, un producto que se emplea como sustituto de la gasolina y como materia prima para la obtención de otros compuestos de interés industrial. El proceso de transformación consiste, básicamente, en la obtención de los azúcares contenidos en el residuo (hidrólisis) y su conversión en etanol (fermentación). El trabajo realizado en esta línea, según el estado actual de nuestra investigación, muestra que, a partir de la poda del olivar generada en un año en Andalucía, podrían obtenerse unas 200.000 tep (toneladas equivalentes de petróleo), lo que representa alrededor de una cuarta parte del potencial de este residuo.

ABSTRACT

The world energy demand increases continuously. At the present time, this demand is mainly satisfied by fossil fuels, which will be exhausted in the near future and whose use causes environmental concerns. Thus, the search for renewable energy resources constitutes a priority worldwide. Among the different renewable energy resources, the utilization of biomass has a promising future, especially when using agricultural residues that must be eliminated. Residues coming from olive tree pruning are of especial interest in Andalusia, because of the huge amount available. One way for taking advantage of them is the conversion into ethanol that can be used as a gasoline substitute as well as a raw material for the production of other valuable chemicals. Basically, the process implies releasing sugars from the residue (hydrolysis) and converting them into ethanol (fermentation). Research works carried out by our group on this subject show that, in the present state of the art, around 200.000 toe (tonnes of oil equivalent) might be produced from the yearly amount of olive pruning generated in Andalusia, representing a quarter of the maximum obtainable potential from this residue.

En el marco del Protocolo de Kyoto, que limita las emisiones de gases de efecto invernadero, se está desarrollando en la Unión Europea y en nuestro país, el Plan de Fomento de las Energías Renovables que plantea como objetivo, para 2010, un consumo de al menos un 12% de toda la energía primaria a partir de energías renovables. En la Tabla 1 se muestran los objetivos energéticos y económicos para el período 1999-2010.

Tabla 1.- Objetivos del Plan de Fomento de las Energías Renovables

Área Tecnológica	Unidad	Objet. energía	Inversiones (M)	Ayudas Públicas (M)
		1999-2010	1999-2010	1999-2010
Minihidráulica (<10 MW)	MW	720	878,4	
Hidráulica (10-50 MW)	MW	350	204,0	
Eólica	MW	8.140	6.156,0	
Biomasa: térmica	ktep	5.700	3.299,6	1.530
Biomasa: eléctrica	MW	1.703		
Biocarburantes	ktep	500	6019	
Biogás	MW	78	133,0	
Solar fotovoltaica	kWp	135	820,0	290
Solar termoeléctrica	MW	200	577,5	356
Solar térmica de baja temp.	m ²	4.496.500	1.509,0	498
Residuos sólidos	MW	168	555,6	24
		TOTALES:	14.735	2.698

Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2005.

1. IMPORTANCIA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Se define la energía como la capacidad de generar trabajo y calor y está íntimamente relacionada con la evolución y el bienestar de la sociedad. La energía primaria es aquella que se encuentra almacenada en la naturaleza y que no ha sufrido ninguna transformación técnica. Se consideran fuentes de energía primaria los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), los combustibles nucleares y las energías renovables.

Se dice que una energía es no renovable cuando su fuente lleva en la Tierra millones de años y sólo es capaz de generarse en estos períodos de tiempo tan largos. Por ello, se considera que para los tiempos limitados en los que vivimos no es capaz de regenerarse y sus recursos son finitos, además su reparto por la superficie terrestre es irregular. En cambio, una fuente de energía renovable es aquella cuyo ciclo de generación y consumo es corto. Ambas fuentes de energía primaria tienen su origen en la

energía solar que llega a la superficie terrestre, y es fijada por las plantas mediante la función fotosintética. Las energías renovables son inagotables desde el punto de vista de la existencia de la humanidad, ya que se obtienen a partir de la energía del sol que incide sobre la tierra y su consumo nunca es superior a la generación natural.

El uso actual de las energías fósiles presenta el problema de ser de carácter limitado, por lo que en un futuro cercano se agotarán, y además contribuyen al efecto invernadero siendo por tanto contrarias al Protocolo de Kyoto.

La energía nuclear, aunque no es renovable, puede ser utilizada casi indefinidamente aunque presenta el inconveniente de que debe contenerse la radiación y deben tratarse los residuos que genera, por ello actualmente, a falta de desarrollo tecnológico, su empleo es peligroso.

Por todo ello, deben desarrollarse vías que permitan utilizar las energías renovables de forma rentable y así poder reemplazar a las energías fósil y nuclear.

La Figura 1 muestra un esquema de las distintas fuentes de energía primaria. En la Tabla 2 se recoge el consumo de las diferentes energías en los años 2003 y 2004, en ella puede observarse como las energías renovables representan un 6,8% y un 6,3% del consumo total de energía en 2003 y en 2004, respectivamente, mientras que el consumo correspondiente a energía de biomasa representa un 3,1% del total. Este descenso en el consumo de energías renovables se debe al fuerte incremento energético total, que no ha sido correspondido en la misma medida para este tipo de energías. Considerando el Plan de Fomento de las Energías Renovables, cabe indicar que aún se está lejos de alcanzar el objetivo y por ello se requiere un mayor esfuerzo, por parte de todos, para lograrlo. Así, podría mencionarse la «Estrategia Española de Eficiencia Energética 2004-2012» con la que se pretende reducir el consumo energético, sin incidir negativamente en la actividad, mejorando las condiciones medioambientales y optimizando la distribución de energía. Se requiere un mayor compromiso de los organismos públicos para conseguir un incremento en el uso de energías renovables y a la vez debe fomentarse la investigación en materia energética con el fin de conseguir energías renovables competitivas.

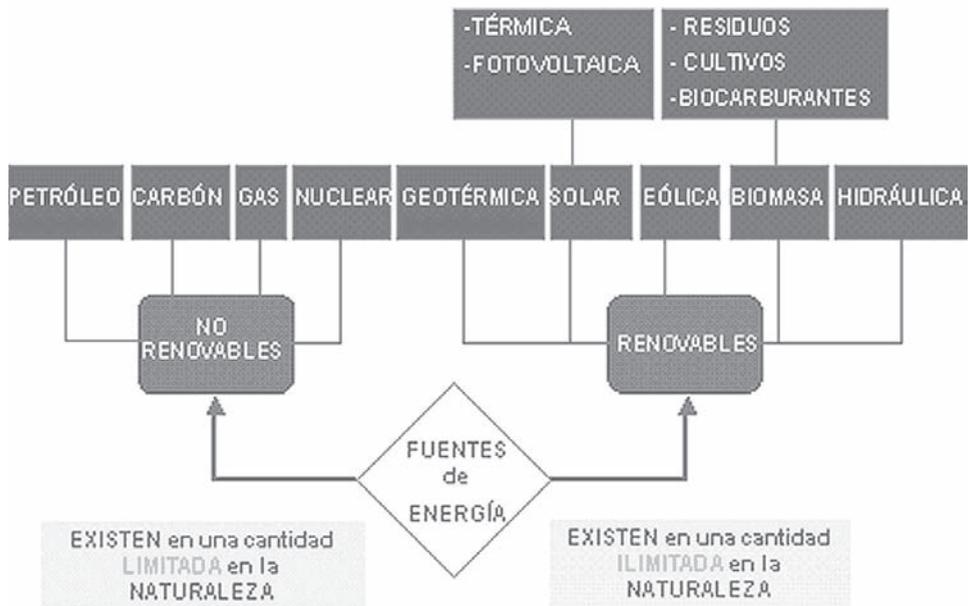


Figura 1.- Esquema de las fuentes de energía

Tabla 2.- Consumo de energía primaria

	2003		2004		%2004/03
	ktep.	Estruct. %	ktep.	Estruct. %	
CARBON	20.461	15,0	21.081	14,9	3,0
PETROLEO	69.313	50,8	70.769	50,0	2,1
GAS NATURAL	21.255	15,6	24.550	17,3	15,5
NUCLEAR	16.125	11,8	16.554	11,7	2,7
HIDRAULICA	3.532	2,6	2.709	1,9	-23,3
OTRAS ENERGIAS RENOVABLES	5.687	4,2	6.164	4,4	8,4
- Eólica	1.043	0,8	1.304	0,9	25,0
- Biomasa	4.176	3,1	4.337	3,1	3,9
- Otras energías renovables	469	0,3	524	0,4	11,7
SALDO INTERN. ELECTR.(Imp.-Exp.)	109		-261		
TOTAL	136.482		141.565		3,7
CONSUMO PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA		36,3%		37,0%	
PESO DE LAS ENERGIAS RENOVABLES		6,8%		6,3%	

2. ENERGÍA DE BIOMASA

Se denomina biomasa al conjunto de materiales orgánicos generados por fotosíntesis o que han sido producidos en la cadena biológica. Según esta definición, la biomasa puede ser vegetal o residual, Figura 2.

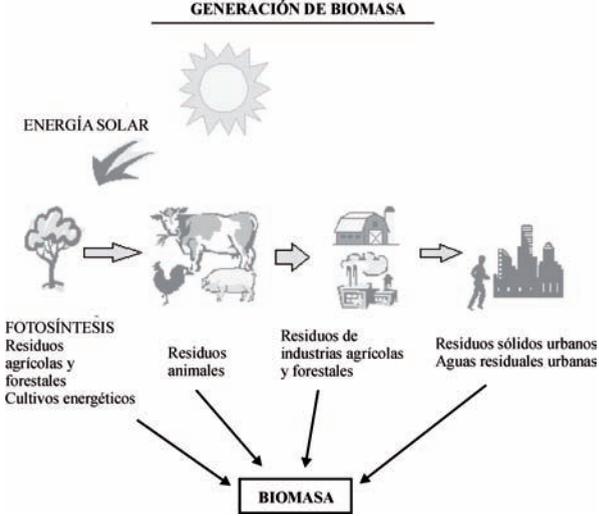


Figura 2.- Fuentes de biomasa

Por ello, toda la energía de biomasa cumple con el criterio de balance de carbono nulo, ya que sólo el CO_2 que se fija en la planta por la función fotosintética puede liberarse al obtener su contenido energético, Figura 3.

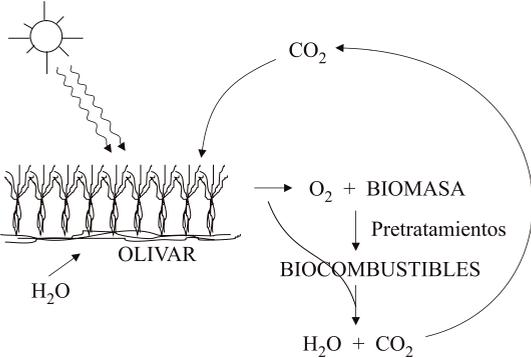


Figura 3.- Ciclo del carbono

Considerando el bajo contenido energético de la biomasa residual, se hace necesario desarrollar tecnologías que permitan obtener productos de alto poder calorífico sin los inconvenientes de los combustibles fósiles. Además, los biocombustibles presentan las siguientes ventajas:

- Bajo contenido en azufre, por lo que no contribuyen a la generación de lluvia ácida.
- No producen cenizas.

- Contribuyen a preservar el medioambiente, ya que no favorecen el efecto invernadero.

Los tratamientos a los que puede someterse la biomasa residual (Figura 4) son los siguientes:

- extracción, para obtener aceites e hidrocarburos y
- transformación, en base húmeda (bioquímica) o seca (termoquímica)

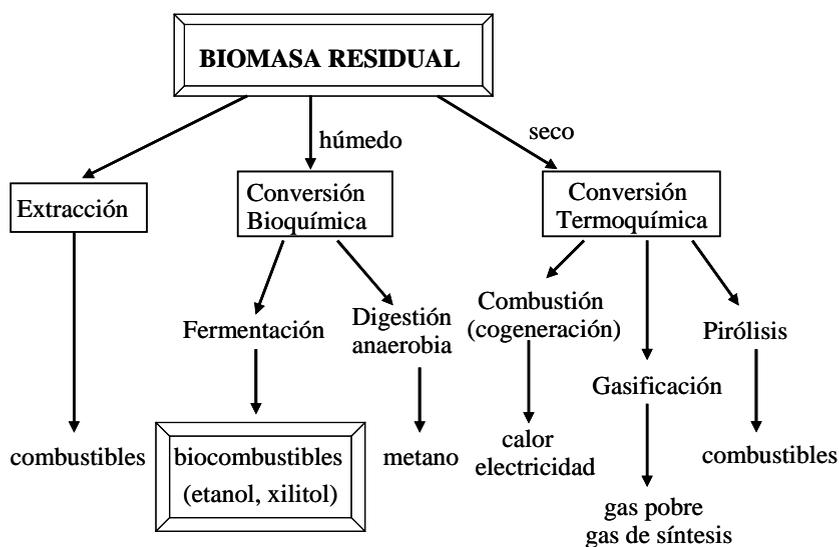


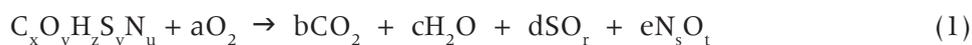
Figura 4.- Procesos de transformación de la biomasa

2.1. Procesos termoquímicos

Combustión

Es el proceso más antiguo para obtener la energía contenida en la biomasa y consiste en la oxidación, mediante el oxígeno del aire, de la biomasa. Se trata de un proceso exotérmico y muy rápido, en el que se produce incremento de la temperatura y emisión de luz.

La reacción de oxidación, considerando únicamente la composición de la materia orgánica que se oxida, es la siguiente:



con desprendimiento de calor y formación de óxidos de azufre y nitrógeno.

Se define el poder calorífico como la cantidad de energía por unidad de masa que desprende un combustible al quemarse. Conocida la composición porcentual de la materia orgánica y empleando la ecuación de Dulong puede obtenerse el poder calorífico superior (PCS, se considera que el vapor de agua libera su calor de condensación).

$$\text{PCS} = \frac{8100 \cdot \%C + 34000 \cdot \%H - \frac{\%O}{8} + 2500 \cdot \%S}{100} \quad (2)$$

Conocido el PCS y el contenido en humedad de la materia prima se puede determinar el poder calorífico inferior (PCI, el vapor de agua no libera su calor de condensación).

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 560 \frac{\%h}{100} \quad (3)$$

Pirolisis

Es el proceso mediante el cual se descompone la biomasa por efecto de la temperatura y en ausencia de oxígeno. Las temperaturas de operación suelen oscilar alrededor de 450 °C y como productos se obtienen:

- Gases: H₂, CO_x e hidrocarburos
- Líquidos: hidrocarburos con oxígeno en la molécula
- Residuos sólidos: carbón, alquitrán y cenizas.

La composición de estos productos varía con la composición de la materia prima y con la temperatura y presión de operación.

Una modificación de este proceso, denominada licuefacción, incrementa el rendimiento en combustible líquido y consiste en la adición de un gas reductor a temperaturas comprendidas entre 300 y 500 °C y a alta presión.

Gasificación

Consiste en la oxidación parcial de la biomasa en un medio con falta de oxígeno. Como productos principales se obtienen CO₂, CO, H₂ y CH₄, aunque la relación entre ellos es variable según las condiciones experimentales utilizadas (temperatura, tamaño de partícula, velocidad de

calentamiento, tiempo de residencia, presión, O₂, gases que constituyen la atmósfera de reacción, etc.) y de las características y humedad del residuo utilizado.

El gas pobre se obtiene con biomasa seca y una pequeña cantidad de aire y tiene un bajo poder calorífico, entre 800 y 1.300 kcal/m³. El gas de síntesis se obtiene gasificando la biomasa con oxígeno y vapor de agua y tiene un poder calorífico ligeramente superior al del gas pobre, entre 1.200 y 2.600 kcal/m³, pero aún es pequeño para emplearlo como combustible. Su principal uso es para la síntesis de combustibles líquidos.

2.2. Procesos bioquímicos

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es la degradación de la materia orgánica, mediante microorganismos, en ausencia total de oxígeno, obteniéndose una mezcla gaseosa (biogás) de composición variable, según sea el origen de la materia orgánica a biodegradar, y un residuo sólido con elevado contenido en humedad (lodo). La composición del biogás oscila entre los límites siguientes:

- Metano: 50-70%
- Dióxido de carbono: 30-40%
- Sulfuro de hidrógeno, hidrógeno y otros gases: menos del 5%

Aunque el poder calorífico del biogás, así obtenido, depende de su contenido en metano, este oscila alrededor de 5.000 kcal/m³.

Fermentación

Las plantas almacenan la energía del sol en forma de hidratos de carbono, macromoléculas formadas por otras más pequeñas denominadas monosacáridos o azúcares. Estos polisacáridos no son fermentables por las levaduras y, por tanto deben someterse a reacciones previas en las que se liberen los monosacáridos, que sí son fermentables. La materia vegetal está constituida, fundamentalmente, por celulosa, hemicelulosa y lignina.

- **Celulosa:** Es la sustancia orgánica más abundante en la naturaleza y el componente mayoritario de la pared celular de los vegetales, es la forma más común de encontrar el carbono de la biomasa. Es un polisacárido de 200 moléculas, como mínimo, de glucosa, de cadena lineal, altamente orientado y cristalino.

En la madera puede llegar a tener de 7.000 a 10.000 unidades de glucosa. Los monómeros de glucosa se enlazan fuertemente mediante enlaces-1,4-glucosídicos formando cadenas muy estables, que a su vez se unen con las adyacentes mediante enlaces de hidrógeno, por lo que el conjunto es muy resistente al ataque químico. Las cadenas individuales son flexibles pero unidas con las adyacentes son muy rígidas. En la Figura 5 se muestra la cadena de celulosa y el enlace que existe entre glucosas consecutivas.

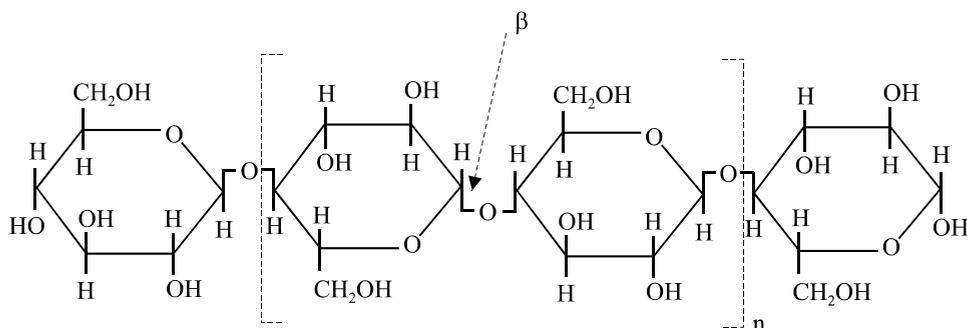


Figura 5.- Molécula de celulosa y enlace formado

Se pueden distinguir dos tipos de celulosa, una fracción de celulosa cristalina en la que las cadenas están muy ordenadas y los enlaces de hidrógeno son fuertes y otra fracción de celulosa amorfa en la que el alineamiento no es bueno y los enlaces de hidrógeno son pocos y débiles. La celulosa amorfa es fácilmente hidrolizable por ácidos, en cambio, la cristalina resulta difícilmente atacable.

- **Hemicelulosa:** Es el segundo componente estructural más abundante de la materia lignocelulósica. Junto con la celulosa, forma parte de las paredes celulares de las plantas. Está constituida por polisacáridos, con un grado de polimerización variable entre 100 y 200 unidades de azúcar, altamente ramificados y con pentosas y hexosas en su estructura. Está constituida mayoritariamente por xilosa, una pequeña cantidad de glucosa y como azúcares minoritarios arabinosa, galactosa y manosa. Su estructura es amorfa, por lo que se hidroliza fácilmente a sus azúcares individuales.
- **Lignina:** Es un material polimérico que actúa como material de unión entre la celulosa y las otras fibras de polisacáridos, da consistencia a la madera seca, su misión es cementar las fibras

de madera, proporcionar rigidez a las mismas y actuar como barrera frente a la degradación enzimática de la pared celular.

El proceso global de obtención de bioalcohol, fundamentalmente etanol, se realiza básicamente en las etapas siguientes:

- Pretratamiento
- Hidrólisis
- Acondicionamiento
- Fermentación
- Separación y purificación del alcohol/es obtenido/s.

El pretratamiento consiste en una serie de operaciones mediante las cuales el residuo se adecua al posterior tratamiento de hidrólisis. Así, la primera de ellas es la molturación o reducción de tamaño del residuo, para seguidamente someterlo a tratamientos físicos, químicos, físico-químicos o biológicos con objeto de hidrolizar toda la hemicelulosa del residuo y una pequeña fracción de celulosa.

El residuo sólido obtenido en el pretratamiento se somete a hidrólisis ácida o enzimática, mediante enzimas capaces de atacar los enlaces glucosídicos del polisacárido, con lo que se obtiene una disolución de glucosa que puede ser fermentada con levaduras. Al objeto de rentabilizar el proceso, se suelen mezclar las disoluciones azucaradas de las etapas de pretratamiento y de hidrólisis y se someten a una serie de operaciones de acondicionamiento que mejoren su fermentabilidad. A continuación se somete la mezcla azucarada, ya acondicionada, a fermentación con levaduras obteniéndose, fundamentalmente, etanol y xilitol que se separarán de la disolución por destilación.

El etanol se emplea, principalmente, como materia prima de la industria química y farmacéutica, aunque también se usa como sustituto parcial o total de la gasolina, denominándose en este caso biocombustible o biocarburante. El etanol también se puede usar como fuente para la obtención de ETBE (etil-ter-butil éter), un aditivo oxigenado de las gasolinas de elevado índice de octano.

Existen dos tipos de biocarburantes:

- Bioetanol (o bioalcohol): alcohol obtenido por fermentación.
- Biodiesel (biogasóleo o diéster): ésteres metílicos que se obtienen al tratar los aceites con metanol en medio básico fuerte. El biodiesel posee características físicas y físico-químicas muy parecidas al gasóleo.

3. LA PODA DEL OLIVAR COMO FUENTE DE ENERGÍA

La Tabla 3 muestra la superficie ocupada por el cultivo del olivar en la provincia de Jaén que representa, aproximadamente, la quinta parte del total nacional y la tercera parte de la superficie de cultivo en Andalucía. Estimando que, por cada hectárea y año, se generan 3.000 kg de residuo de poda, sólo en la provincia de Jaén se producirán 1.700.000 toneladas.

Tabla 3.- Superficie ocupada por el cultivo del olivar (S) y residuo generado (P), (CAP, 2005)

	S, ha	P, t/año
Jaén	572.674	1.718.022
Andalucía	1.479.456	4.438.368
España (AAO, 2001)	2.423.841	7.271.523

El residuo de poda de olivo debe eliminarse ya que supone una serie de problemas medioambientales. Actualmente se emplean dos formas de eliminación para este residuo agrícola. Una de estas prácticas consiste en su trituración y esparcimiento en los campos de cultivo para que, tras su putrefacción, sirva como abono orgánico. Sin embargo, su esparcimiento puede favorecer la generación de plagas y enfermedades y aumentar el riesgo de incendio, además, está totalmente prohibido en el caso de que el residuo esté infectado o exista riesgo de *verticilium* ya que esta práctica contribuiría a extenderlo. La otra vía de eliminación consiste en la quema del residuo de poda en los propios campos de cultivo con los consiguientes problemas medioambientales.

Una alternativa para el residuo de poda de olivo sería su aprovechamiento como fuente de energía alternativa, con todas las ventajas que estas presentan. Se trata de una fuente de biomasa renovable y abundante que además, no contribuye a incrementar el efecto invernadero, no emite óxidos de azufre a la atmósfera y, a la vez se está aprovechando un residuo agrícola para el que, en la actualidad, no existe ninguna aplicación económicamente viable.

En este trabajo se propone el aprovechamiento, vía bioquímica, mediante hidrólisis y fermentación de la poda de olivar con objeto de obtener como producto final, etanol, un biocombustible con alto valor añadido y un contenido energético elevado.

3.1. Potencial máximo de etanol del residuo

El residuo de la poda del olivar tiene una composición variable dependiendo de la variedad, de la zona geográfica y de las condiciones climatológicas. La Tabla 4 recoge una composición representativa en cuanto a sus principales componentes (hemicelulosa, celulosa y lignina).

Tabla 4.- Potencial máximo en azúcares y etanol de la poda del olivar

	Composición	g/100 g de residuo seco inicial		
		Potencial teórico de azúcares	Potencial real de azúcares	Potencial de etanol
Hemicelulosa	23,2	26,4 (pentosas)	16,9 (xilosa)	28,2
Celulosa	30,6	34,0 (hexosas)	38,4 (glucosa)	
Lignina	20,9	---	---	---

En dicha Tabla se observa que, aproximadamente, el 54% del residuo seco está formado por los polímeros de los que se obtendrán azúcares. Estas cadenas pueden hidrolizarse y liberar los azúcares por efecto de ácidos o de enzimas. Considerando la reacción que se produce, suponiendo que la conversión es del 100% y que las fibras tienen una composición pura se puede calcular el potencial teórico de azúcares obtenible, valores incluidos en la Tabla 4.

Por análisis y tratamiento numérico de los datos experimentales se determina que la hemicelulosa está compuesta por tres grupos de moléculas: 19,2% componentes no azucarados, 17,2% polímeros de glucosa y el resto, cadenas de xilosa fundamentalmente. A partir de estos resultados y considerando el contenido en celulosa, se determinan los valores del potencial real de azúcares del residuo (Tabla 4).

Conocido el potencial de azúcares y el porcentaje máximo de conversión de estos en etanol, por acción de las levaduras, se puede determinar el potencial de bioalcohol que podría obtenerse del residuo de la poda del olivar (Tabla 4). Como se observa, por cada 100 g de residuo seco se podrían obtener 28 g de etanol. Si este valor se hace extensivo a la superficie ocupada por el cultivo del olivar en la provincia de Jaén (Tabla 3), la producción de etanol, en dicha provincia, alcanzaría un valor de 480.000 t/año y 1.250.000 t/año en Andalucía. Dado que el etanol absoluto tiene un poder calorífico de 6.434,4 kcal/kg se deduce que en Jaén se podrían obtener 3 billones de kilocalorías/año (300.000 tep) y en Andalucía 8 billones de kilocalorías/año (800.000 tep) a partir, únicamente, del residuo de la poda del olivar.

3.2. Hidrólisis y fermentación

Caracterizado el residuo de partida deberá someterse a una serie de operaciones, para su conversión bioquímica, que permitan extraerle el máximo de su contenido energético. El proceso se esquematiza en la Figura 6.

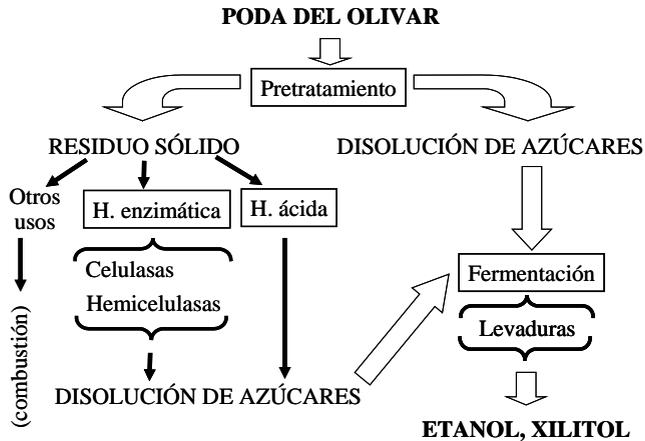


Figura 6.- Esquema de tratamiento para obtención de biocombustibles

De los posibles pretratamientos a aplicar se han utilizado los siguientes, individualmente o en combinación: molturación, hidrólisis ácida o alcalina y autohidrólisis mediante el tratamiento con vapor «steam explosion». Se han ensayado diversas condiciones de operación en cada uno de ellos con objeto de determinar las condiciones óptimas de cara a conseguir los mayores rendimientos en etanol.

Cabe la posibilidad, si no se optimiza el proceso, de que se degraden parte de los azúcares generados por acción del ácido o por efecto de la temperatura empleada. Además, en algunos de estos pretratamientos se liberan ciertas sustancias inhibitoras de la fermentación que deben ser eliminadas. Por ello, es fundamental un estudio detallado de la prehidrólisis.

El residuo sólido resultante tras el pretratamiento está constituido, principalmente, por lignina y la fracción de celulosa cristalina. Dicha fracción debe ser hidrolizada para liberar la glucosa y por ello el sólido se somete a hidrólisis ácida en condiciones más agresivas que las utilizadas en el pretratamiento o bien se somete a una hidrólisis enzimática, con las ventajas de menor coste de equipamiento, ya que se opera a presión atmosférica y baja temperatura, y mejores rendimientos; aunque con el inconveniente del coste de los enzimas.

Tras la etapa de hidrólisis, el sólido que queda suele quemarse para recuperar el contenido energético que aún retiene. Por otro lado, la disolución azucarada (hidrolizado) obtenida se mezcla con el prehidrolizado y se somete a fermentación con levaduras capaces de fermentar tanto glucosa como xilosa para generar etanol. Otra posibilidad consiste en dirigir el proceso, en función de las condiciones de operación, hacia la obtención de xilitol.

Una alternativa a la hidrólisis y fermentación secuenciales consiste en someter el residuo pretratado a hidrólisis enzimática y fermentación simultáneas (SSF), mejorándose el rendimiento con menores costes de inversión aunque esta opción presenta una serie de inconvenientes derivados de las diferentes condiciones necesarias para la hidrólisis enzimática y para la fermentación.

Resumiendo, las ventajas que presenta la conversión bioquímica del residuo de poda de olivo son:

- Mejora de las rentas agrarias, al obtener un producto de alto valor añadido a partir de un residuo que, por su naturaleza, es necesario eliminar
- Reducción de las emisiones incontroladas de CO₂ por el cese de la quema de residuos
- Creación de empleo en trabajos e industrias asociadas
- Desarrollo tecnológico por obtención de un biocombustible
- Contribución al objetivo del Plan de Fomento de las Energías Renovables.

4. ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL

De los diferentes tratamientos ensayados, los resultados más prometedores se obtuvieron sometiendo el residuo a pretratamiento con vapor por el método «steam explosion» y realizando, posteriormente, una hidrólisis y fermentación simultáneas, con lo que se obtuvieron 28,8 kg de azúcares por cada 100 kg de residuo seco inicial, un 46% del potencial máximo de azúcares. Tras la fermentación, el etanol obtenido fue de 16,5 L para la misma referencia, lo que supone una producción por hectárea de 300 L/año. Por tanto, según los resultados obtenidos en esta investigación, y de acuerdo con la superficie ocupada por el olivar, en la provincia de Jaén se obtendrían alrededor de 170.000 m³/año lo que representa una

producción energética anual de 85.000 tep. Esta producción de etanol corresponde al 28% del potencial teórico que podría obtenerse, por ello se hace necesario continuar investigando para mejorar el proceso e incrementar la producción de biocombustible.

BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA PARA EL ACEITE DE OLIVA (junio 2005). <http://aao.mapa.es/>
- CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA (junio 2005). <http://www.juntadea-adalucia.es/agriculturaypesca/portal/opencms/portal/DGPAgraria/Estadisticas/estadisticasagrarias>
- FERNÁNDEZ J. (1980). La agricultura como productora de energía. *Ing. Quím.* 12 (140), 23-32
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO (junio 2005). <http://www6.mityc.es/energia/>
- ORTEGA M. (2001). Energías renovables. *Paraninfo*, Madrid
- SÁNCHEZ S., MOYA A.J., MOYA M., ROMERO I., TORRERO R., BRAVO V., SAN MIGUEL M.P. (2002). Aprovechamiento del residuo de poda del olivar. *Ing. Quím.* 34 (391), 194-202