

LECCIÓN INAUGURAL
CURSO 2009-10

Aceite de oliva, medio ambiente y energía:
hacia una fuerte integración

SEBASTIÁN SÁNCHEZ VILLASCLARAS

UNIVERSIDAD DE JAÉN

ACEITE DE OLIVA, MEDIO AMBIENTE Y ENERGÍA:
HACIA UNA FUERTE INTEGRACIÓN

*Lección inaugural pronunciada por el
Dr. D. Sebastián Sánchez Villasclaras,
Catedrático de Ingeniería Química,
en el acto académico celebrado
el día 23 de septiembre de 2009,
con ocasión de la solemne apertura del curso,
presidida por el Rector Magnífico Prof. Dr.
D. Manuel Parras Rosa*

SEBASTIÁN SÁNCHEZ VILLASCLARAS

Aceite de oliva,
medio ambiente y energía:
hacia una fuerte integración

2009



UNIVERSIDAD DE JAÉN

© Universidad de Jaén
© Autor

Publicaciones de la Universidad
Secretaría General
Universidad de Jaén

ISBN.
978-84-8439-473-0

Depósito Legal
J-693-2009

Impreso por
Gráficas La Paz

Impreso en España

Printed in Spain

Presentación	9
1. NUESTRO ENTORNO.....	11
2. OLIVAR Y PROCESOS FOTOSINTÉTICOS.....	12
2.1 Proceso fotosintético y rendimiento energético	13
2.2 Eficiencia fotosintética.....	15
3. PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA Y SUBPRODUCTOS.....	17
4. INDUSTRIA OLEÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE ...	21
5. ENERGÍA Y SU GENERACIÓN EN EL SECTOR OLEÍCOLA.....	24
6. PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS	29
7. CONSIDERACIONES FINALES	31
BIBLIOGRAFÍA.....	35

Presentación

En principio deseo expresar mi agradecimiento al Rector de la Universidad de Jaén, por la propuesta realizada en un día muy señalado del mes de enero pasado, en el cual me invitaba a impartir la Lección Inaugural del Curso Académico 2009/2010.

Mi primera inquietud fue el tema que debía de elegir para exponer ante una audiencia tan selecta y heterogénea, como la que existe ahora en este Aula Magna. Lógicamente, el tema debía de estar relacionado con mi apasionante y querida área de conocimiento, la Ingeniería Química, con alguna de las líneas de investigación en la que trabajo y con el entorno agro-industrial que nos rodea, como es la industria oleícola.

Una vez seleccionado el tema, me surgió una preocupación relacionada con el nivel académico que debía alcanzar el desarrollo de esta lección. Mi propósito ha sido tratar de exponer el tema con el objeto de que la mayor parte de las ideas e informaciones sean perfectamente comprendidas por todo el auditorio.

Finalmente tengo un reto que es el captar al máximo vuestra atención y, al mismo tiempo, transmitir mi pasión por el estudio y el conocimiento de la industria oleícola y el medio ambiente en el que se encuentra inmersa o ubicada.

Procedente de Granada, creo que fue un miércoles, a media mañana, cuando llegué a este Campus Universitario, hace

aproximadamente tres décadas. Desde entonces, y sin pretenderlo, me ido introduciendo en el sector oleícola desde la perspectiva de la Ingeniería Química, y cada vez me encuentro más atrapado, más atraído y sorprendido por las ideas que me voy encontrando; ideas que, en la mayor parte de los casos, se pueden desarrollar industrialmente.

Durante estos treinta años el sector oleícola, fundamentalmente las almazaras, han evolucionado drásticamente hacia un nivel de tecnología bastante avanzado. Durante mi primer curso académico en este Campus, campaña oleícola 81/82, prácticamente todas las almazaras de la provincia de Jaén operaban con el sistema discontinuo de elaboración de aceites, basado en el uso de prensas hidráulicas. La primera visita técnica con los alumnos del tercer curso de la Licenciatura en Ciencias Químicas, en compañía con algunos Profesores de otros Departamentos de Química, presentes en esta sala, fue a una almazara de Ibros (Jaén), donde existía una enorme sala con prensas. Esta imagen, que todavía algunos retenemos, fue impresionante.

Actualmente, en esta provincia no existe ninguna almazara que opere con el sistema de presión. Todas tienen implantados el sistema continuo de elaboración por centrifugación de las pastas de aceitunas, en la mayoría de los casos utilizando un decánter (centrifuga horizontal) de dos salidas.

Los cambios tecnológicos han sido bastante grandes, en cierta medida rápidos, y mayoritariamente positivos, pero debemos estar preocupados ya que la tecnología adquirida, en buena proporción, ha sido importada, de otros países de Europa, fundamentalmente, Alemania, Suecia e Italia.

Con estas premisas voy a iniciar mi exposición sobre el tema seleccionado: "Aceite de Oliva, Medio Ambiente y Energía: hacia una fuerte integración".

1. NUESTRO ENTORNO

Los términos “aceite de oliva”, “medio ambiente” y “energía” constituyen los tres soportes de la mesa donde se ubica nuestra región, en definitiva nuestro entorno, donde nos apoyamos y realizamos nuestra vida. Estos términos deben de estar perfectamente enlazados y nos podríamos imaginar que forman los vértices de un triángulo equilátero. El buen funcionamiento de nuestra región en todos los aspectos (social, económico, sostenible, saludable,...) requiere que estos términos caminen de forma bien enlazada y conjugada. Actualmente, pienso que existe un gran desfase en el caminar de estos tres términos en lo que constituye la industria oleícola. A nivel regional, y en nuestro entorno más cercano, el potencial de esta industria es muy elevado y está sin desarrollar, sin explotar y, en algunos aspectos, es necesario hasta descubrir.

La producción de aceites de oliva vírgenes de calidad va estrechamente unida a la conservación del medio ambiente y, simultáneamente, puede existir una generación de energía de forma totalmente sostenible y saludable. Este trípode, bien conjugado y engranado, puede constituir ese motor que nuestra región, nuestro entorno, necesita para, de una vez por todas, desarrollarse de una forma coherente y ordenada.

Con frecuencia decimos que el sector oleícola está constituido por tres tipos de industrias: almazaras, extractoras

de orujos y refinerías de aceites. Pues bien, de estos tres tipos de industrias el más avanzado tecnológicamente es el de refinación de aceites, y es precisamente el que crea menos problemas de tipo medioambiental. Las almazaras, aunque han mejorado en estas últimas décadas introduciendo nuevas tecnologías, tienen pendiente de resolver la contaminación provocada por sus aguas residuales, problema de grave impacto ambiental. Las extractoras de orujos son las industrias que menos innovaciones tecnológicas han podido introducir en los últimos años, en parte debido a su pequeña capacidad de inversión. La industria de extracción de aceites de orujo es la más seriamente afectada por las innovaciones realizadas en las almazaras, y deben solucionar urgentemente el problema de su contaminación atmosférica. En este sentido es necesario que la Administración Pública ayude económicamente a la industria extractora a renovarse tecnológicamente.

2. OLIVAR Y PROCESOS FOTOSINTÉTICOS

Tradicionalmente, el olivo se ha cultivado sólo en los países de la cuenca Mediterránea (especialmente en España, Italia, Grecia, Portugal, Turquía, Marruecos, Túnez, Argelia, Siria y Jordania) pero, desde hace un tiempo, se ha iniciado su cultivo en forma masiva en regiones de los cinco continentes (Argentina, Chile, Costa Oeste de los Estados Unidos, México, Uruguay, Australia, Líbano, Irán y China) con un área total de más de 8 millones de hectáreas [1].

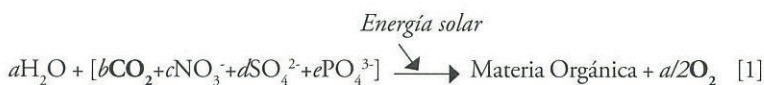
Actualmente, en España, en Andalucía y en la provincia de Jaén las superficies dedicadas al olivar constituyen verdaderas extensiones: 2.552.727 ha, 1.539.620 ha, 583.874 ha, respectivamente [2], que, cultivadas de forma racional y controlada, pueden mejorar ostensiblemente el entorno medio ambiental donde se encuentran. En su aspecto positivo, y desde un punto de vista estrictamente ambiental, al igual que

un bosque, el olivar se puede contemplar como un verdadero sumidero de dióxido de carbono.

En principio, aunque la superficie dedicada al olivar en España es bastante elevada, existe una contrapartida preocupante en relación a la superficie de tierras de cultivo que han sido abandonadas. Desde el año 1990, en nuestro país se han dejado de cultivar aproximadamente 3.000.000 ha. En estos terrenos abandonados, la fijación de dióxido de carbono es mínima en relación a la que tiene lugar en ese mar de olivos que nos rodea.

2.1 Proceso fotosintético y rendimiento energético

La fotosíntesis es el proceso clave para el desarrollo de la vida y, básicamente, consiste en la conversión de energía solar en energía química (formación de macromoléculas combustibles, como lípidos, carbohidratos, proteínas, pigmentos, hidrocarburos, etc.). Globalmente el proceso fotosintético puede simplificarse en la forma:



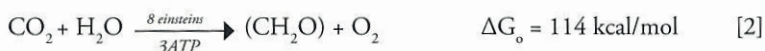
La energía solar queda, por tanto, transitoriamente almacenada en diferentes tipos de moléculas (por ejemplo, un lípido como puede ser un triglicérido, un carbohidrato tal como D-glucosa, etc) que junto con el oxígeno molecular liberado pueden constituir un alimento, una fuente de energía, un producto químico u otro tipo de material. El proceso fotosintético lo realizan las plantas superiores (desde un girasol hasta un olivo) y microorganismos (algas verdes, algas verdes-azuladas y bacterias fotosintéticas).

En los vegetales, el mecanismo fotosintético puede considerarse constituido por dos células solares (fotosistemas

I y II) conectadas en serie, que producen una diferencia de potencial de 1,24 voltios. En el proceso fotosintético normal se produce una caída de potencial de 0,4 V en los electrones que se transportan, y que está localizada entre el aceptor primario del fotosistema II y el fotosistema I. La energía asociada a esta caída de potencial no se disipa completamente, sino que parte de ella se retiene en forma de ATP (Adenosin trifosfato) mediante un sistema transformador acoplado que existe en los seres vivos.

El proceso fotosintético es óptimo para radiaciones rojas que son preferentemente absorbidas por las clorofilas. Se ha determinado que son necesarios dos cuantos de luz roja (longitud de onda, $\lambda = 680 \text{ nm}$) para transportar un electrón contra el gradiente electroquímico de 1,24 V. Por tanto, se requiere un mínimo de cuatro cuantos de luz para romper una molécula de agua, y ocho cuantos para que se desprenda una molécula de oxígeno. Puesto que 8 fotones de luz roja equivalen a 14,64 electrón-voltios, y el movimiento de 4 electrones contra un gradiente de 1,24 V corresponde a una ganancia de 4,96 eV, la eficiencia máxima de conversión energética es del 34 %, aproximadamente. En este cálculo no se ha tenido en cuenta el ATP formado, por lo que la eficiencia cuántica resultaría algo más elevada.

Otra forma interesante de ver la eficacia de la transformación de la energía solar en energía química es considerando el denominado rendimiento de la fotosíntesis, basado en la reducción (o transformación) del dióxido de carbono a carbohidratos, procesos que se pueden simplificar en la reacción:



Los tres ATP necesarios para la reacción equivalen a dos einsteins de luz roja, por lo que la energía luminosa para que dicha reacción transcurra equivale a 10 einsteins de luz roja. Para hacer los cálculos, conviene indicar que un einstein de luz roja contiene $6,023 \cdot 10^{23}$ cuantos de luz, y equivale a 42 kcal ($\lambda = 680$ nm). Por lo cual, para que un mol de dióxido de carbono se reduzca a carbohidratos, transformación que requiere 114 kcal, se necesitan 420 kcal, por lo que el rendimiento del proceso es del 27 %. Sin embargo, este rendimiento disminuye hasta el 25 % aproximadamente, pues la luz usada no sólo es roja, sino también de longitudes de onda menores.

2.2 Eficiencia fotosintética

De acuerdo con la Termodinámica, concretamente el segundo principio, cualquier sistema que convierte irreversiblemente una forma de energía en otra, tiene una eficiencia inferior al 100 %, es decir, la energía almacenada resulta inferior a la suministrada. La diferencia de energía se libera como calor, o contribuye a un incremento de entropía del sistema.

Las pérdidas ocurridas hasta que la radiación llega a los pigmentos del centro de fotorreacción, por diferentes causas, pueden ser del orden del 60 %. En principio, para realizar la fotosíntesis las plantas sólo usan las radiaciones con longitudes de onda en el rango de 400-700 nm, que, en términos energéticos, representa el 50 % de la energía que llega a la superficie de la Tierra. También se debe considerar que no todas estas radiaciones son absorbidas por los pigmentos situados en los cloroplastos, pues aproximadamente un 20% de la radiación activa se pierde debido a fenómenos de reflexión por la hoja, absorción incompleta o absorción por otros pigmentos diferentes de los que son fotosintéticamente activos.

A continuación, una vez que la energía está absorbida por los pigmentos, es necesario considerar las pérdidas debidas a la bioconversión (transformación de energía absorbida en energía química). Anteriormente se ha indicado que este rendimiento es del orden de un 25 %. Por lo tanto, la máxima eficiencia en el reino vegetal del proceso de conversión de energía solar en energía química (en forma de carbohidratos), en condiciones óptimas de cultivo, es aproximadamente el 10 % ($0,40 \times 25$ %) de la energía radiante que llega a la Tierra.

Este porcentaje disminuye todavía más debido a las pérdidas asociadas a otros fenómenos, como la fotorespiración. En este bioproceso los vegetales pierden materia (en forma de dióxido de carbono) y energía. También en la respiración, fuente de su energía metabólica en la oscuridad se pierde una cantidad adicional. Se ha estimado que las pérdidas por fotorrespiración y respiración pueden ser del orden del 50 % de la energía convertida y almacenada. Por lo tanto, la ganancia neta de energía almacenada por la planta es sólo el 5 % ($0,50 \times 10\%$) de la radiación incidente. En condiciones reales de cultivos (clima variable, radiación solar diferente, asimilación de otros nutrientes...) se ha calculado una eficiencia fotosintética media de uso de la radiación solar del 0,3 %.

El olivar que nos rodea puede estar realizando esta fijación de la radiación, y con ello absorbiendo el dióxido de carbono atmosférico, con eficiencias fotosintéticas superiores a ese 0,3% e inferiores al 5,0%. Esta bioconversión de la radiación solar, con absorción de dióxido de carbono, es la que se transforma en energía química. Parte de esta energía química almacenada nos la concede el olivar cuando se recogen las aceitunas y todos los subproductos y residuos generados en el cultivo.

Las diferentes tipologías de olivar existentes (tradicional, intensivo, superintensivo, marginal,...) pueden incidir en que la eficiencia fotosintética sea mayor o menor. En general, puede

sucedir que, a igualdad de edad y condiciones de cultivo, una plantación intensiva presente mayor eficiencia fotosintética que un cultivo tradicional.

Globalmente, y en lo que concierne al sector agroindustrial, la recuperación de esa energía almacenada y su gestión posterior es muy deficiente. Actualmente, se disponen de medios tecnológicos que pueden ayudar a realizar una más eficiente recuperación de la energía química fijada por el olivar.

3. PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA Y SUBPRODUCTOS

La conservación del medio ambiente en un olivar está estrechamente unida a una producción de aceites de oliva vírgenes de calidad. En nuestro entorno esta tarea está pendiente de desarrollar. De forma general, se realiza una muy deficiente conservación ambiental del olivar y, paralelamente, existe una producción enorme de aceites de oliva lampantes, aceites mayoritariamente destinados a refinación. La producción de aceites de oliva vírgenes se inicia en el propio árbol y, parcialmente, se termina en la bodega de las almazaras.

De forma general, si se agrupan los términos olivar y almazara se distinguen tres tipos de producciones: tradicional, integrada y ecológica. La producción tradicional es la que predomina en nuestro entorno. Es la que presentaría menor eliminación de dióxido de carbono, menor eficiencia fotosintética y peor gestión en la recuperación de la energía química almacenada en lo que constituyen los productos, subproductos y residuos. Sin duda, el aceite de oliva obtenido de una producción integrada o ecológica es de mayor calidad que aquél que se produce en un olivar tradicional. Éste es un buen ejemplo entre calidad del aceite de oliva y conservación del medio ambiente

Aparte de realizar un buen proceso de elaboración del aceite, existen una serie de puntos claves que es necesario cuidar para poder producir de aceites de oliva vírgenes de calidad. Entre ellos cabría destacar el realizar una recolección temprana de la aceituna, utilizar un procedimiento de recogida que no dañe al fruto, una separación total de aceitunas de árbol y suelo, un transporte adecuado del fruto desde el campo hasta la almazara y un proceso de elaboración en el que el tiempo entre recogida de aceituna y producción de aceite sea mínimo. Fuera de nuestro ámbito geográfico, existen algunas empresas que procesan las aceitunas a los 30 minutos de haber realizado la recolección.

Sin embargo, en general, en nuestro entorno estos puntos claves no se consideran y es por ello por lo que se producen mayoritariamente aceites de oliva de baja calidad. El único parámetro que se considera es el obtener el máximo rendimiento posible en materia grasa, objetivo que está reñido con la calidad de los aceites de oliva vírgenes.

En las almazaras, paralelamente a la producción de aceite de oliva, se obtienen varios subproductos como son: el orujo grasoso y el hueso fragmentado de aceituna. Desde hace unos años, en buena parte de las almazaras se dispone de una deshuesadora, equipo que separa de los orujos una parte del hueso de la aceituna. Este hueso tiene un contenido energético elevado y existe una fuerte demanda para su uso como combustible. Una vez separados los fragmentos de hueso, el orujo grasoso es transportado a las extractoras con el objeto de agotarlos más en materia grasa. Dependiendo del tipo de proceso empleado en la elaboración del aceite de oliva en la almazara, la riqueza en materia grasa de los orujos producidos puede estar en el intervalo 1,0-5,0 % (en base húmeda). Actualmente, los orujos que se transportan a las instalaciones de las extractoras están muy agotados en materia grasa, contienen poca proporción de huesos y una muy elevada humedad. Tal como se ha descrito, este subproducto también es de baja calidad y por tanto su

precio es muy pequeño. Podemos decir, que la almazara está centrada en la obtención de un producto de mínima calidad y, paralelamente, obtiene un subproducto (orujos húmedos) también de baja calidad.

Además, en estos últimos años, se empieza a considerar como otro subproducto de almazara la hoja de olivo procedente del equipo de limpieza de las partidas de aceitunas que entran en la fábrica. Este subproducto se va revalorizando cada vez más por su rico contenido en proteínas, fibras y sales minerales (con destino a alimentación animal), y en antioxidantes naturales (con destino a alimentación humana e incluso a la industria químico-farmacéutica).

En relación con esta última y potencial aplicación, cabe destacar que, en la hoja de olivo, uno de los antioxidantes encontrados y más apreciados es la oleuropeina (derivado fenólico). Diferentes industrias químico-farmacéuticas están interesadas en la extracción, separación y purificación de la oleuropeina, partiendo de un material económico como es la hoja de olivo. La oleuropeina es un componente fenólico (Fig. 1) que, en el producto farmacéutico, constituiría el principio activo que puede actuar como antioxidante, antiinflamatorio, reduciendo riesgos en enfermedades cardiovasculares [3-4] o facilitando la incorporación del calcio al hueso [5].

Así mismo, la materia prima para la obtención de la oleuropeina puede ser la hoja procedente de las ramas o tallos que se generan cuando, todos los años, se realizan las labores de poda en un olivar, en el periodo de enero a marzo. Para la obtención de este antioxidante, esta hoja puede ser de más calidad que la que procede del equipo de limpieza de las partidas de aceitunas que entran a una almazara.

También la oleuropeina es el componente fenólico mayoritario de la pulpa de las aceitunas verdes. Por tanto, después de un buen proceso de elaboración, este compuesto se

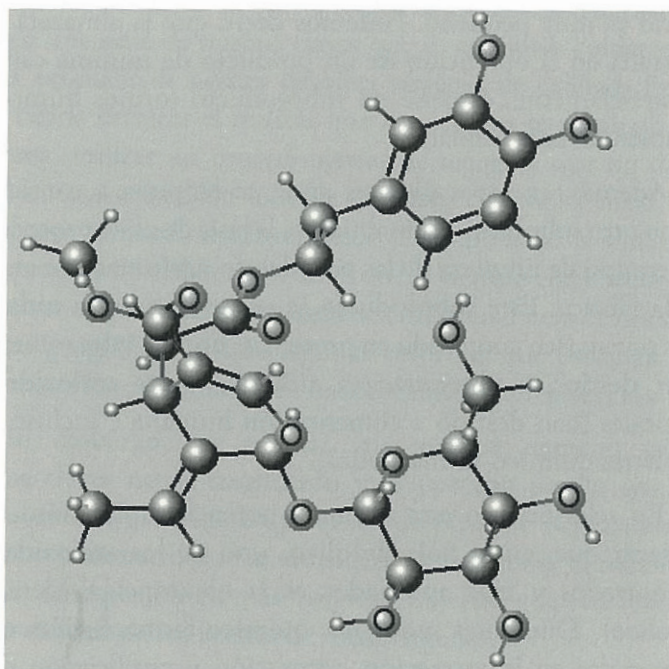


Figura 1. Molécula en 3D de la *oleuropeína*. Ácido metil éster (4S,5E,6S)-4-[2-[2-(3,4-dihidroxifenil)etoxi]-2-oxoetil]-5-etilideno-6-[[[(2S,3R,4S,5S,6R)-3,4,5-trihidroxi-6-(hidroximetil)-2-tetrahidropiranyl]oxy]-4H-pirano-3-carboxílico.

encuentra en el aceite de oliva virgen extra, organolépticamente es uno de los componentes menores que más va a contribuir al intenso sabor amargo que se detecta, de forma sorprendente, en determinados aceites monovarietales.

Otra de las aplicaciones destacables de la hoja es su creciente uso en la elaboración de infusiones, una vez bien lavada, triturada, acondicionada y envasada en sobres. En países asiáticos como Japón, e incluso en nuestro país, cada vez existen más adictos a tomarse una infusión de hoja de olivo, después de comer o a media tarde, de forma similar a cuando tomamos un té, una manzanilla o una tila. Debemos considerar que, sin darnos cuenta, realmente nos estamos

tomando una dosis de antioxidantes naturales, entre los que se encuentran la oleuropeina y el hidroxitirosol (Fig. 2)

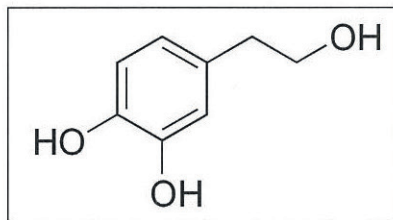


Figura 2. Molécula de hidroxitirosol [4-(2-Hydroxyethyl)-1,2-benzenediol]

En nuestro entorno es muy necesario caminar hacia una elevada producción de aceites de oliva vírgenes de calidad. Paralelamente, los subproductos generados (orujos, hueso de aceituna y hoja de olivo) serán también de mejor calidad y, por tanto, el valor económico de estas materias será más elevado.

4. INDUSTRIA OLEÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE

La Industria oleícola no es sólo la producción de aceites de oliva, sino que, paralelamente, se genera una gran cantidad de subproductos y residuos, algunos de ellos pendientes de transformar y gestionar de una forma adecuada y eficiente. Para calibrar la importancia de este tema cabe considerar que en España se producen del orden de 3,5 millones de toneladas de aceitunas anuales y, de éstas, aproximadamente el 75 % son subproductos y residuos de alto impacto ambiental. Además, habría que tener en cuenta los residuos que se generan en las almazaras en el propio proceso de elaboración de aceite, y, posteriormente, en el campo de cultivo cuando se realizan las labores de poda una vez terminada la recolección de la cosecha.

Para poner de manifiesto la magnitud del tema de los subproductos y residuos, considerando sólo dos subsectores

muy próximos ‘olivar’ y ‘almazara’, se puede partir de la siguiente hipótesis: consideremos una hectárea de olivar tradicional que genere 5.000 kg de aceitunas con un rendimiento en materia grasa del 25 %. Bajo esta hipótesis, el balance de materia nos conduce fácilmente a que cada hectárea produce 1.250 kg de aceite y 3.750 kg de subproductos y residuos. Por otra parte, en el propio campo de cultivo, considerando una tipología de olivar tradicional (o intensivo), la producción media de residuo o subproducto de poda sería de 3.000 kg/año [3]. Por tanto, si se tiene en cuenta la generación de residuos y subproductos en el campo y en la almazara, el balance total nos conduce a 6.750 kg por hectárea y año. En este sencillo cálculo no se han considerado los residuos (hojas, tierra, piedras...) que acompañan a la aceituna desde el campo a la almazara; tampoco se ha tenido en cuenta el caudal de agua residual generado en los procesos de lavado de la aceituna (si éste se ha realizado) y del aceite (en centrífuga vertical). Por tanto, se podría estimar que la generación anual total de subproductos y residuos es superior a 7.000 kg/ha. Es decir, el cociente entre la generación de ‘residuos+subproductos’ y la ‘producción de aceite de oliva’ es un valor próximo a 7.

Esta relación muestra que la industria oleícola genera un gran volumen de residuos que dan lugar a problemas de carácter medioambiental en su entorno próximo. La generación de residuos se inicia en los propios campos de cultivo. En general, esta industria provoca la contaminación ambiental del agua, de la atmósfera y del suelo.

Los efluentes líquidos generados por la industria oleícola pueden producir un fuerte impacto ambiental, fundamentalmente por su elevada carga orgánica y por su contenido en sales minerales. De una forma simple se va a considerar las aguas residuales de los subsectores más importantes:

- Elaboración de aceites de oliva vírgenes (almazaras)
- Extracción de aceite de orujo de aceituna (extractoras)
- Instalaciones de refinación de aceites
- Otras industrias transformadoras (aderezo de aceitunas)

En toda la cuenca del Mediterráneo, y concretamente en Andalucía, estos subsectores han provocado graves problemas de contaminación en épocas pasadas. Actualmente, se ha mejorado en cierta medida en las instalaciones de refinación, pero las almazaras y las extractoras están en un estado muy primitivo en relación al tratamiento de sus efluentes.

Por el gran volumen de aguas residuales generadas y por su corta estacionalidad, el subsector más importante es el de elaboración de aceites de oliva. Considérese que una almazara genera todos sus efluentes en un periodo de tiempo que puede oscilar entre tres y cuatro meses, dependiendo de la campaña.

También conviene destacar que, hasta el momento, las instalaciones de extracción de aceite de orujo no eran preocupantes desde el punto de vista de sus aguas residuales, pues apenas existía generación de efluentes líquidos en este subsector. Sin embargo, siempre han creado un cierto impacto ambiental en relación a su contaminación atmosférica. Actualmente, como se tratará más adelante, en algunas extractoras se empiezan a generar aguas residuales, provocadas por las modificaciones del proceso en las almazaras. Principalmente, por la sustitución de los decantares centrífugos de tres salidas por otros de dos salidas, que dan lugar a orujos con contenidos en agua que pueden superar el 70 % (en peso). Es decir, que almazara y extractora de orujo están bastante interrelacionadas en relación a su impacto ambiental. Una menor producción de efluentes líquidos en las almazaras puede provocar la generación de mayor contaminación atmosférica y aguas residuales en el subsector de las extractoras.

En nuestro entorno, otro subsector oleícola que provoca una elevada contaminación es el de aderezo de aceitunas. El número de estas instalaciones, y con ello el volumen de sus residuos, va en continuo aumento, y de forma más preocupante el de sus aguas residuales.

5. ENERGÍA Y SU GENERACIÓN EN EL SECTOR OLEÍCOLA

Una parte importante de los residuos o subproductos generados en la industria oleícola pueden conducirse hacia la producción de energía. Entre estos residuos o subproductos cabe destacar la poda de olivar, el hueso de aceituna fragmentado, y el orujo desengrasado (orujillo). Actualmente, la fuerte demanda de energía hace que estas materias se empiecen a valorar, aunque muy lejos de su justa medida. Desde el punto de vista energético, uno de los parámetros más importantes para valorizar un combustible es su poder calorífico. En el residuo de poda, hueso de aceituna y orujillo desengrasado los poderes caloríficos superiores (PCS) medios son 4.290 [6], 4.600 [7] y 4.375 [8] kcal/kg, respectivamente. Frente a los diferentes tipos de gasolina, gas-oil, fuel-oil, con poderes caloríficos superiores en el intervalo de 10.200-11.800 kcal/kg [9], estos residuos biomásicos tienen un PCS algo inferior a la mitad del combustible fósil y, sin embargo, su precio es cinco veces más bajo que el fuel-oil. Actualmente, nuestro país, concretamente Andalucía, exporta grandes cantidades de hueso y orujillo a Italia, Reino Unido y otros países europeos a precios muy alejados en relación al poder calorífico de estas biomásas. Esto constituye un desajuste económico que las empresas y los poderes políticos deben de corregir de una forma urgente.

De los tres subproductos, o residuos mencionados, es el material procedente de la poda de olivo el que está en peor

circunstancia en relación a su aprovechamiento. Hasta el momento, para la poda de olivo, al igual que para la mayoría de los residuos agrícolas, no se han encontrado aplicaciones tecnológicas y económicamente viables. En la mayor parte de los casos se deja sobre los terrenos para ser incinerado o incorporado al suelo (una vez triturado), con los inconvenientes que esto supone: contaminación atmosférica, mineralización del suelo, incremento de riesgo de incendios, propagación de plagas, producción inútil de CO₂, etc. Además, de acuerdo con la normativa actual, está prohibida la eliminación por combustión incontrolada (quemar) en el campo de cultivo, excepto en algunos meses del año, pero siempre bajo una autorización que el agricultor debe solicitar al Ayuntamiento donde se ubica su olivar. Por tanto, en estos momentos, este es otro problema adicional, y esta biomasa debe de ser eliminada o retirada del campo de cultivo de alguna forma que permita su mejor utilización.

Fundamentalmente, existiendo dos vías para el aprovechamiento de estos subproductos: conversión termoquímica y conversión bioquímica (Fig. 3).

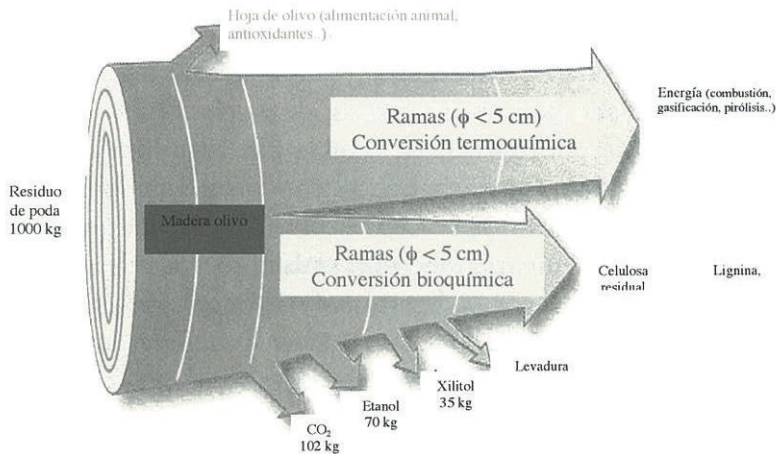


Figura 3. Alternativas en el aprovechamiento del residuo de poda de olivar.

Los procesos de conversión termoquímica más habituales para esta biomasa de tipo lignocelulósico son la combustión, la pirólisis y la gasificación, siendo esta última la que comporta mayores ventajas [3]. También cabe destacar que, dentro de la vía de aprovechamiento termoquímico, distintas empresas tratan de producir gránulos (“pellets”) a partir de la biomasa de poda de olivo en las provincias de Córdoba, Granada y Jaén. Esta producción va destinada a un proceso de combustión controlada, utilizándose en calderas de calefacción domésticas y de grandes comunidades (residencias, hoteles, piscinas públicas...). La formación de “pellets” evita la generación de finos de biomasa que podrían disminuir el rendimiento energético de las calderas de calefacción y permite realizar un control preciso en la dosificación del combustible.

Otra vía de aprovechamiento de estos subproductos es el fraccionamiento mediante hidrólisis de sus principales componentes: celulosa, hemicelulosa y lignina. El proceso de hidrólisis, ácida o enzimática, de este residuo proporciona una disolución de azúcares procedentes de las fracciones hemicelulósica y celulósica que, por fermentación con levaduras u hongos, puede conducir a la obtención de productos de interés industrial, tales como bioetanol y xilitol [10-13]. A nivel de laboratorio y miniplanta se han superado rendimientos globales de 100 kg de etanol (70%) y xilitol (30 a 35%) por tonelada de residuo o subproducto de poda de olivar [13]. Considerando que, por término medio, las tipologías tradicionales e intensivas de olivar, producen aproximadamente tres toneladas anuales de poda de olivo por hectárea, fácilmente podemos deducir que la generación de etanol lignocelulósico por hectárea puede superar los 210 kg y en la de xilitol se puede alcanzar el valor de 100 kg/ha [11-13].

Desde esta perspectiva podemos pensar, de una forma simple, que una hectárea de olivar nos puede suministrar

5.000 kg de aceitunas, de los cuales se pueden obtener 1.000 kg de aceite de oliva virgen extra de calidad y 250 kg de aceites lampantes o de orujos (que es necesario someterlos a un proceso de refinación para poder utilizarlos como aceites comestibles) y, además, en el balance se incluiría la producción antes mencionada de un biocombustible (etanol) y un producto de alto valor añadido (xilitol). Este pequeño cálculo significa que existe la posibilidad de incrementar la rentabilidad del olivar, paralelamente con una mejora en la conservación del medio ambiente, y simultáneamente existirá un incremento de mano de obra de mayor nivel que, lógicamente, repercutirá favorablemente en nuestro entorno en todo lo concerniente a su desarrollo socio-económico.

El bioetanol tiene perfectamente definida su utilización como biocombustible de automoción o bien como materia prima de base para la extensa industria química. Actualmente, la industria petroquímica tiene como materia prima de base el etileno, y éste es el punto de partida para producir una gama enorme de compuestos químicos orgánicos. Si se nos acaba el petróleo, se nos termina el etileno, y, por tanto, el punto de partida. Sin embargo, el etanol obtenido vía fermentativa es una alternativa que puede solucionar este problema clave para el desarrollo de la humanidad. Considérese que la transformación de etanol a etileno es fácil de realizar y viable industrialmente. Éste es uno de los aspectos cruciales de producir etanol partiendo de materiales de carácter renovable. Se puede utilizar cebada, trigo, maíz, patata y otros tipos de cereales o tubérculos ricos en almidón para producir etanol. Como es bien conocido, el etanol que nos tomamos en una cerveza es obtenido a partir de granos de cebada por sacarificación (el almidón se hidroliza a D-glucosa) y el mosto de cebada producida se fermenta con cepas diferenciadas de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (la levadura transforma D-glucosa en etanol). Por tanto, desde un punto de vista

científico, este proceso de fermentación, partiendo de un mosto de uva o de cereales, es conocido desde el siglo XVIII con las hipótesis sugeridas por el científico francés Louis-Jacques Thénard, demostrada y descrita más tarde (mitad del siglo XIX) de forma pormenorizada por Louis Pasteur [14].

Desde hace varios años en Estados Unidos y Brasil, y también en países europeos, se produce etanol a partir de cereales (fundamentalmente maíz) y caña de azúcar. En España, el grupo Abengoa dispone de varias 'Biorrefinerías' para la producción de etanol a partir de cereales, material que mayoritariamente es necesario importar. Sin embargo, una buena parte del mundo científico piensa que estos cereales o tubérculos deberían dirigirse casi exclusivamente a la alimentación humana, y no a la industria química o a la producción de biocombustible. Actualmente, este asunto es una controversia internacional que está en todos los medios de comunicación. En estos momentos, el etanol producido a partir de cereales es conocido como *biocombustible de primera generación*.

Una alternativa muy valorada, sin competencia con la alimentación humana, es la producción de etanol a partir de las denominadas biomásas lignocelulósicas. Los residuos agrícolas y forestales se encuadran dentro de este tipo de biomásas. Por tanto, la poda de olivar, así como el hueso de aceituna y el orujillo, son biomásas lignocelulósicas que se pueden conducir hacia la producción de bioetanol. Sin embargo, en estos momentos, las tecnologías disponibles no son viables económicamente aunque nos aproximamos cada vez más hacia esa viabilidad. El etanol producido a partir de biomásas lignocelulósicas se encuadra en la terminología de *biocombustibles de segunda generación*.

6. OTROS PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS

Entre los productos generados a partir del propio aceite de oliva virgen, de los subproductos y residuos de la industria oleícola podíamos destacar los cosméticos, y otros de carácter alimentario y con valor añadido bastante elevado. En este último aspecto desearía mencionar la potencial producción de xilitol a partir de la fracción hemicelulósica del material de poda de olivo, y la obtención de hidroxitirosol a partir las aguas residuales o lixiviados producidos en las balsas que contienen los orujos de aceitunas. Estas balsas normalmente están situadas en las cercanías de almazaras y extractoras.

En relación al hidroxitirosol, desde hace varios años existe una patente desarrollada industrialmente por una empresa andaluza que permite obtener este antioxidante a partir de las aguas residuales de almazaras, concretamente de la fracción de aguas de vegetación. En principio, este componente está muy diluido en ese agua residual, junto a otros polifenoles. Inicialmente, en el proceso, existe una primera etapa de separación y concentración de la fracción de polifenoles. Posteriormente, en otra etapa se purifica el hidroxitirosol hasta un 30 % de concentración. Industrialmente, se pueden alcanzar purezas en este producto del 90 %.

Es curioso pensar que este antioxidante que está en la hoja de olivo, en los aceites de oliva vírgenes y en las aguas residuales de almazaras o en los efluentes lixiviados procedentes de balsas que contienen orujos de aceitunas, presente ventajas tecnológicas y económicas cuando su producción se realiza a partir de las aguas residuales o de los lixiviados de las balsas.

Actualmente, el producto que comercializa esta empresa andaluza sólo tiene una concentración del 30 % en hidroxitirosol. Este producto de alto valor añadido, producido en nuestra región, se está comercializando muy bien en países asiáticos (Japón, India, ...) y en Estados Unidos.

En cuanto al otro producto, el xilitol, es un alcohol de cinco átomos de carbono (Figura 4) y tiene una fuerte demanda en la industria de los alimentos como edulcorante. El xilitol se puede considerar también como un producto de alto valor añadido, siendo uno de los edulcorantes de mayor demanda en el mundo, en parte debido a la creciente tendencia en el consumo de alimentos 'light', ya que posee la cualidad de endulzar con bajas calorías.

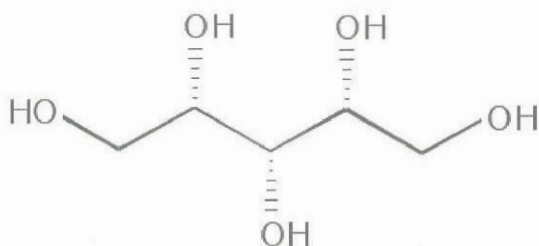


Figura 4. Molécula de xilitol [(2*R*, 3*R*, 4*S*)-Pentano-1,2,3,4,5-pentanol]

Una ventaja añadida de este alcohol azucarado es que no favorece el crecimiento de las bacterias causantes de la caries dental. De hecho, el xilitol tiene un efecto anticaries importante, ya que inhibe el crecimiento de bacterias y, por tanto, reduce la formación de placa bacteriana. También mejora la mineralización de las lesiones provocadas por caries así como el flujo de saliva sin disminuir el pH. Por estas razones se utiliza en la fabricación de productos de confitería. Cuando nos tomamos un chicle de la marca *Trident*, con sabor clorofila, observamos que en la composición aparece xilitol. Quién nos iba a decir que este componente lo podemos extraer del material de poda de olivo e incorporarlo al chicle, para que nos suministre en boca esa extraordinaria sensación refrescante.

En relación con este interesante producto hay que destacar que el metabolismo del xilitol no es regulado por la insulina

[15], y no necesita la acción del enzima D-glucosa-6-fosfato deshidrogenasa. Por ello es un edulcorante ideal para diabéticos y personas con deficiencia en dicho enzima [16].

Finalmente, dentro de los productos no energéticos, no se puede olvidar la producción de cosméticos que tienen como base aceites de oliva vírgenes de calidad o algún componente de los subproductos o residuos. Esta faceta de la industria oleícola es, desde hace varias décadas una realidad y se va extendiendo poco a poco en toda Andalucía y sobre todo en la provincia de Jaén. La gama de productos va desde un jabón sólido o líquido, elaborado a partir de un aceite de oliva virgen extra, hasta una crema de labios. En nuestro entorno ya existe alguna almazara, modelo en producción y gestión, que obtiene mayores beneficios económicos en la comercialización de los productos cosméticos que elabora, con su propia producción de aceite de oliva, que en la venta de sus aceites de oliva vírgenes de calidad.

7. CONSIDERACIONES FINALES

Deseo dejar en la mente de todos, que nuestro entorno tiene un potencial agroindustrial enorme, que está mal gestionado y, en algunas de sus facetas, sin descubrir. Estamos muy centrados en la producción de aceites de oliva sin prestar atención a su calidad, y está totalmente descuidado el aprovechamiento racional de sus subproductos y el tratamiento de sus residuos.

El aprovechamiento integral de subproductos y residuos de la actual industria oleícola puede generar un tejido productivo de gran trascendencia económica y social en nuestro entorno. Este tejido productivo va a interrelacionar la industria oleícola con la generación de energías limpias y con una mejor conservación de nuestro medio ambiente (Fig. 5).

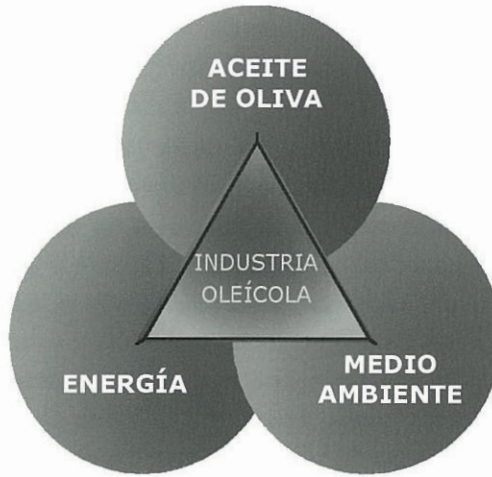


Figura 5. Integración de los sectores de producción de aceite de oliva, energía y conservación del medio ambiente. Diagrama en tres dimensiones que representa al *desarrollo sostenible*, donde sería deseable situar a la industria oleícola.

A medio plazo esta idea sobre aprovechamiento integral de residuos y subproductos de la industria oleícola se aproxima al concepto tecnológico actual de *Biorrefinerías de 3ª Generación* o *Biorrefinería Integrada*, que significa una mayor flexibilidad a todos los niveles y una máxima reutilización de residuos y subproductos diferentes, mediante procesos de conversión de mayor eficiencia y con una minimización de impacto ambiental, y una producción de biocombustibles (como puede ser bioetanol, biodiesel, biogás y gas de síntesis) y una gama amplia de productos químicos de alto valor añadido entre los cuales se puede encontrar el xilitol, hidroxitirosol, oleuropeina, esteroides, tocoferoles y toda una gama amplia de productos cosméticos de alta calidad.

Nuestro entorno dispone de un perfil agro-industrial, económico y social, adecuado para poder disponer, a medio plazo, de una estructura equivalente a una de estas *Biorrefinerías Integradas*.

En definitiva, debemos dirigir y aumentar nuestros esfuerzos hacia los vértices de ese triángulo equilátero que he propuesto al comienzo de esta sesión, y que representa la unión de los términos 'Aceite de Oliva', 'Generación de Energía Limpia' y 'Mejora del Medio Ambiente'.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] FAO (2006), <http://faostat.fao.org/faostat>. Acceso, 21 de Septiembre, 2008.
- [2] Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (2009). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos del año 2008.
- [3] Singh I., Mok M., Christensen A-M., Turner A.H., Hawley J.A. (2008). The effects of polyphenols in olive leaves on platelet function. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* **18**: 127-132.
- [4] Scheffler A., Rauwald H.W., Kampa B., Mann U., Mohr F.W., Dhein S. (2008). *Olea europaea* leaf extract exerts L-type Ca²⁺ channel antagonistic effects. *Journal of Ethnopharmacology* **120**: 233-240.
- [5] Palmerine C.A., Carlini E., Saccardi C., Servili M., Montedoro G., Arienti G. (2005). Activity of olive oil phenols on lymphomonocyte cytosolic calcium. *Journal of Nutritional Biochemistry* **16**: 109-113.
- [6] 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 mediante conversión termoquímica. *Ingeniería Química* **391**:194-202.
- [7] González J.F., González-García C.M., Ramiro A., González J., Sabio E., Gañán J., Rodríguez M.A. (2004). Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler. *Biomass and Bioenergy* **27**: 145:154.
- [8] Rojas S., Ramiro A., Aroca S. (1992). Aprovechamiento de residuos agrícolas por combustión. *Ingeniería Química* **278**: 221-225.

- [9] Ocón J. Producción industrial del calor. Combustibles, combustión y gasificación. En: Elementos de Ingeniería Química, A. Vián, J. Ocón (Eds.), Aguilar, Madrid (1969).
- [10] Sánchez S., Bravo V., Castro E., Moya A.J., Camacho F. (1998). The production of xylitol from D-xylose by fermentation with *Hansenula polymorpha*. *Applied Microbiology and Biotechnology* **50**: 608–611.
- [11] Moya A.J., Bravo V., Mateo S., Sánchez S. (2008). Fermentation of acid hydrolysates from olive-tree pruning debris by *Pachysolen tannophilus*. *Bioprocess and Biosystems Engineering* **31** (6): 611-617
- [12] Cuevas M., Sánchez S., Bravo V., Cruz N., García J.F. (2009). Fermentation of enzymatic hydrolysates from olive stones by *Pachysolen tannophilus*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* **84**: 461-467.
- [13] Sánchez S., Bravo V., García J.F., Cruz N., Cuevas M. (2008). Fermentation of D-glucose and D-xylose mixtures by *Candida tropicalis* NBRC 0618 for xylitol production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **24**: 709-716
- [14] Atkinson B. (1986). Introducción a los procesos industriales de fermentación. En: *Reactores Bioquímicos*, Reverté, Barcelona, p. 1-14.
- [15] Pepper T., Olinger P.M. (1988). Xylitol in sugar-free confections. *Food Technology* **42**(10): 98-106.
- [16] Nigam P., Singh D. (1995). Processes of fermentative production of xylitol – a sugar substitute. *Process Biochemistry* **30**: 117-124.



Servicio de Publicaciones