

04-017

DESIGN OF THE BIODIESEL PRODUCTION PROCESS FROM RICE BRAN, OLEAGINOUS SEEDS AND USED VEGETABLE OILS

González Moreno, Jacob⁽¹⁾; Sancho Fernández, María⁽¹⁾; Arnal Arnal, José Miguel⁽¹⁾; García Fayos, Beatriz⁽¹⁾

⁽¹⁾Universitat Politècnica València

The growing demand and increase in fossil fuel prices justifies the need to look for alternative fuels such as biodiesel. Rice bran is used as raw material to obtain it. The rice bran has low commercial value, is rich in oil to obtain biodiesel and comes from a traditional Valencian crop. The aim of this work is the design of biodiesel production facilities from rice bran obtained in the white rice processing. Since the quantity of rice bran available as raw material for the production of biodiesel is small and seasonal, other raw materials are used, such as oil seeds and used frying oils, obtaining a continuous supply of biodiesel which justifies the necessary investment.

In the present work the description of the productive process for obtaining biodiesel from rice bran is included. With this work, the recovery of rice bran and used oils is achieved, converting them into a product of interest such as biodiesel, as well as glycerine and lecithins as by-products with added value. All this is achieved with a global process that is technically feasible, economically viable and environmentally sustainable.

Keywords: Design; biodiesel; rice bran; used oil

DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DE SALVADO DE ARROZ, PLANTAS OLEAGINOSAS Y ACEITES VEGETALES USADOS

La creciente demanda y aumento de los precios de los combustibles fósiles, justifica la necesidad de buscar combustibles alternativos como el biodiésel. Como materia prima para su obtención se parte de salvado de arroz. El salvado de arroz tiene escaso valor comercial, es rico en aceite para obtener biodiésel y proviene de un cultivo tradicional valenciano. El objetivo del presente trabajo es el diseño de las instalaciones de producción de biodiésel a partir del salvado de arroz obtenido en el procesado del arroz blanco. Como la cantidad de salvado de arroz disponible como materia prima para la producción de biodiésel es reducida y estacional, se utilizan otras materias primas como semillas oleaginosas y aceites de fritura usados, obteniendo un abastecimiento continuo de biodiésel que justifica la inversión necesaria.

En el presente trabajo se abarca la descripción de la etapas necesarias para producir biodiésel a partir del salvado de arroz. Con el diseño realizado se consigue la valorización del salvado de arroz y los aceites usados, convirtiéndolos en un producto de interés como el biodiésel, además de glicerina y lecitinas como subproductos con valor añadido. Todo ello se consigue con un proceso global que es técnicamente factible, económicamente viable y medioambientalmente sostenible.

Palabras clave: Diseño; biodiésel; salvado arroz; aceite usado

Correspondencia: msanchof@iqn.upv.es



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El petróleo y sus derivados constituyen la mayor fuente de energía consumida en España. Aunque en España existen yacimientos de petróleo, la producción de los mismos no es suficiente para cubrir la demanda, por lo que la práctica totalidad del crudo que se trata en las refinerías españolas tiene que ser importado.

Muchos de los países que suministran petróleo a España se encuentran en una zona conflictiva y tienen una marcada inestabilidad política, con los riesgos que ello conlleva de posibilidad de no abastecimiento.

Ante esta problemática se hace necesaria la búsqueda de fuentes de energía alternativas. Además, para evitar la dependencia de la importación, es interesante que dicho combustible pueda ser obtenido con materiales autóctonos sin aplicación industrial, para que no aumente su precio de mercado.

Un material autóctono sin aplicación industrial es el salvado de arroz, que es un subproducto obtenido del procesado del arroz para consumo humano. Es un residuo de difícil gestión cuyas únicas aplicaciones, hasta el momento, son como alimento de baja calidad para el ganado o materia prima para obtener compost. En la actualidad y debido a la decadencia de la actividad ganadera, así como de la actividad agrícola, hay un excedente de salvado de arroz, por lo que se hace necesario dar una solución a este residuo agrícola.

Dado que en la Comunitat Valenciana se produce el 18% de la producción nacional de arroz (FAO, 2011), es evidente que la gestión del salvado de arroz supone un problema importante para esta Comunidad, que requiere de una solución. Es por ello que en este trabajo se plantea como solución alternativa la producción de biodiésel a partir del salvado de arroz.

2. Objetivos

Los objetivos que se pretenden alcanzar con este trabajo se pueden englobar en dos grandes bloques. El primer bloque enmarca la visión medioambiental del problema que se pretende resolver con el presente trabajo. El segundo bloque se centra en el aspecto socio-económico del mismo.

En el bloque medioambiental se tratará de conseguir la valorización del salvado de arroz, que es un residuo de difícil gestión.

En el bloque socio-económico se tratará de conseguir: por un lado, la ruptura de la dependencia de los combustibles fósiles mediante un sustituto de los mismos con el biodiésel y, por el otro lado, la revitalización del tradicional cultivo del arroz de la Comunitat Valenciana, al ser la fuente generadora de la materia prima para la obtención del biodiésel.

Estos objetivos se hacen posibles mediante el diseño de una planta de producción de biodiésel a partir de salvado de arroz y otras plantas oleaginosas. Para la selección de las técnicas aplicadas al diseño se analizarán las distintas formas de obtención de biodiésel, eligiendo para el diseño del proceso productivo aquella alternativa que sea técnicamente factible, económicamente viable y medioambientalmente sostenible.

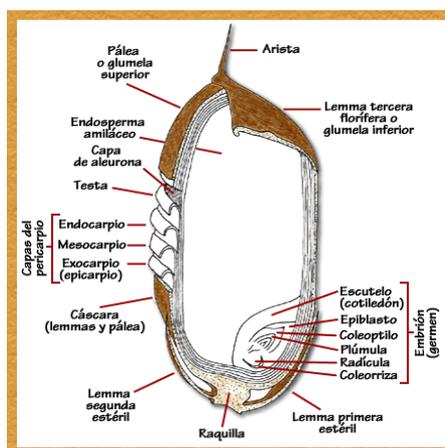
3. Caso de estudio

3.1 Problemática de los residuos procedentes del salvado del arroz

Los cereales, como el trigo, arroz, maíz, cebada, centeno, etc., constituyen la base de alimentación de la humanidad y de su ganado. El arroz es el segundo cereal más cultivado y el más utilizado en la alimentación humana, constituyendo el alimento básico para la mitad de la población (FAO, 2011).

Para poder aprovechar el arroz en la alimentación humana, es necesario procesarlo. Para comprender dicho proceso, en la Figura 1 se muestra la estructura del grano de arroz.

Figura 1: Estructura del grano de arroz (Ecured, 2012)



Para obtener el arroz blanco, se extrae el pericarpio y se eliminan con un pulido la testa, la capa de aleurona y el embrión, obteniéndose el endosperma amiláceo, que es el grano que se comercializa como arroz blanco.

El salvado de arroz lo conforman el pericarpio, la testa, la capa aleurona y el germen, además de algunos fragmentos de endospermo y cascarilla, y supone el 10,5% del porcentaje en peso del grano arroz (Segura y Pertegas, 1986).

El salvado es rico en proteínas de alto valor nutritivo, así como en grasas, pero teniendo en cuenta su alto contenido en fibra y en cenizas, sobretodo fitatos, no es apto para consumo humano debido a que es altamente indigestible.

3.2 Alternativas para la gestión de los residuos procedentes del salvado del arroz

Tradicionalmente el salvado de arroz ha sido empleado para mezclarlo con el pienso para alimentación de ganado. Previamente a su uso como pienso, se debe estabilizar el aceite presente en el salvado de arroz para que no se enrancie y pierda su valor. El enranciamiento se produce debido a una enzima lipolítica presente en el salvado, que se vuelve activa cuando el salvado se separa del arroz.

Para retrasar el enranciamiento del salvado de arroz se realiza un tratamiento térmico que consiste en calentar o secar el salvado inmediatamente después de la elaboración; también se puede reducir el contenido de humedad del salvado, o se puede extraer el aceite del salvado.

Otro uso que se le ha dado al salvado de arroz, a modo de estudio y sin aplicación industrial hasta la fecha es la extracción de proteínas de alto valor nutritivo (Segura y Pertegas, 1986).

3.3 Producción de biodiésel a partir de los residuos del salvado del arroz

Debido al alto contenido (37,6%) en aceite del salvado de arroz (Segura y Pertegas, 1986) hace que sea una materia prima excelente para la obtención de biodiésel.

El biodiésel o FAME (*Fatty Acid Methyl Ester* en inglés) es un combustible renovable proveniente de aceites vegetales o grasas de origen animal, que puede ser usado total o parcialmente mezclados, para reemplazar el combustible diesel de los motores de autoignición, sin requerir una modificación sustancial de los mismos.

Los aceites vegetales están constituidos por ésteres de ácidos grasos y glicerol. Mediante la transesterificación se reemplaza el glicerol (alcohol trivalente) por un alcohol monovalente (“más ligero”), usualmente metanol o etanol, formando moléculas más pequeñas (ésteres monoalquílicos o FAME) con una viscosidad similar a la del combustible diésel derivado del petróleo. También se produce glicerina como subproducto, sustancia que tiene numerosos usos en diversas industrias.

El biodiésel ha sido catalogado como un combustible limpio, siempre y cuando sus características físico-químicas se encuentren dentro de las especificaciones de las normas europeas. La norma estándar es la UNE EN 14214 (en el caso de Norteamérica la norma estándar es la ASTM D6751).

La mezcla de biodiésel-diésel más común es la que tiene 20% de biodiésel y 80% de diésel, más conocida como B20. Pero en algunos países industrializados ha sido usado con eficacia en mayores proporciones (B30), e incluso en su forma pura (B100). El biodiésel también se usa como combustible para calefacción.

3.4 Proceso de producción de biodiésel

A continuación se detallan las etapas para la obtención de biodiésel. Éstas son: extracción del aceite, refinado del aceite, transesterificación y lavado y purificación de los productos.

- Extracción del aceite

Existen diversos métodos para la extracción del aceite contenido en las materias primas oleaginosas: extracción con disolventes químicos (Pérez-Serradilla et al., 2006), extracción asistida con microondas (Terigar et al., 2011), extracción por calentamiento óhmico (Lakkalula, Lima y Walker, 2004), extracción con fluidos supercríticos González, Kafarov y Guzmán, 2009), shock osmótico y extracción enzimática (Hanmoungjai, Pyle y Niranjana, 2000).

- Refinado del aceite

El aceite obtenido tiene que ser procesado en una serie de etapas denominadas refinado, en las que se eliminan múltiples impurezas tales como fosfátidos, ácidos grasos libres, ceras, tocoferoles o pigmentos que le dan color o turbidez. Las etapas de refinado son: desgomado, blanqueo y secado.

El desgomado se puede llevar a cabo mediante diversos métodos (Mittelbach y Remschmidt, 2007): en seco, con agua, con ácido, con enzimas, con EDTA, con membranas, etc.

El blanqueo se lleva a cabo con: arcillas minerales con una capa tratada con ácido, gel de sílice, carbón activado o mediante el proceso de “winterización”, que consiste en enfriar bruscamente el aceite para que precipiten las ceras y así, retirarlas del aceite.

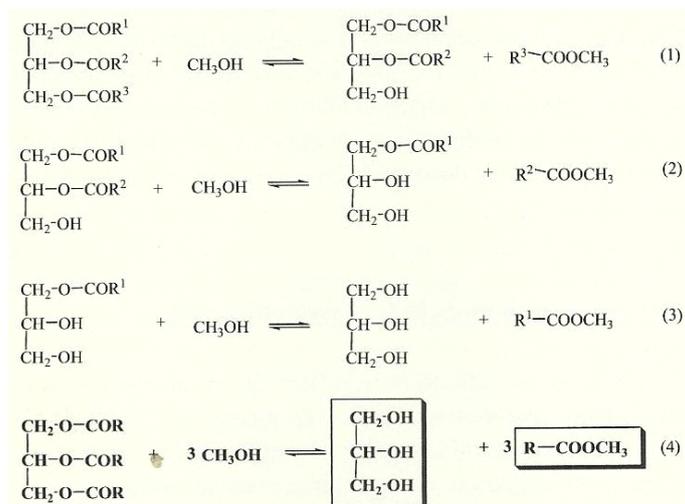
El secado se realiza mediante destilación a baja presión o bien haciendo pasar una corriente de nitrógeno a través del aceite.

- Transesterificación

La reacción de transesterificación, también conocida como alcoholísis, se lleva a cabo a partir de un mol de triglicérido procedente del aceite, que reacciona con tres moles de alcohol, para dar lugar a un mol de glicerina y tres moles de los respectivos ésteres.

Se trata de una serie de tres reacciones de equilibrio reversible. Las tres reacciones son: el triglicérido reacciona con un mol de alcohol para dar lugar a un diglicérido y una molécula de éster; el diglicérido reacciona con un mol de alcohol para dar lugar a un monoglicérido y un mol de éster; por último el monoglicérido reacciona con el mol de alcohol para dar lugar a un mol de glicerina y otro mol de éster, tal y como se muestra en la Figura 2.

Figura 2: Esquema de la reacción de transesterificación de triglicéridos con metanol y las reacciones intermedias (Mittelbach y Remschmidt, 2007)



La transesterificación se puede dar de diversas formas: transesterificación alcalina homogénea, transesterificación alcalina heterogénea, transesterificación ácida homogénea, transesterificación ácida heterogénea, transesterificación con metales de transición (Benjumea, Agudelo y Alberto, 2009), transesterificación con silicatos, transesterificación enzimática, transesterificación con microondas (Kanitkar et al., 2011), transesterificación con fluidos supercríticos y transesterificación in situ (Benjumea, Agudelo y Alberto, 2009).

- Lavado y purificación de los productos

Una vez llevada a cabo la transesterificación se tiene que realizar la separación de los productos obtenidos. La separación de los mismos se realiza por los métodos de decantación o centrifugación. En esta etapa se producirá una separación de fases; la fase sobrenadante, más ligera, es la fase rica en biodiésel, mientras que la fase pesada del fondo es la fase rica en glicerina. Después de la separación de cada una de las fases, se procede a un lavado con agua acidulada y un proceso final de secado.

3.5 Solución propuesta

El diseño propuesto consta de 6 etapas: recepción y preparación de materias primas, extracción del aceite, refinado del aceite, transesterificación, purificación del biodiésel y purificación de la glicerina.

Para realizar el diseño de la planta de producción de biodiésel se ha realizado una minuciosa búsqueda de las diferentes técnicas disponibles para cada etapa en bibliografía científica. Los métodos seleccionados para cada una de las etapas se describen a continuación.

- Recepción y preparación de materias primas

La cantidad de excedente de salvado de arroz oscila a lo largo del año y no alcanza un volumen suficiente para: en primer lugar, justificar, por sí solo, la inversión necesaria para proyectar una planta de producción de biodiésel, y en segundo lugar, asegurar el abastecimiento del mercado al que se suministraría el biodiésel.

Es por eso, que se utilizan otras materias primas como fuente de aceites para la transesterificación, tales como semillas oleaginosas (colza, soja, girasol, etc.).

El primer paso a realizar es la estabilización del salvado de arroz para evitar su enranciamiento. La estabilización consiste en la inactivación de las enzimas que provocan el enranciamiento mediante un tratamiento térmico.

De la misma manera que el salvado de arroz, las semillas oleaginosas tienen tendencia a enranciarse, por lo que también necesitan un tratamiento térmico para evitar su degradación.

- Extracción del aceite de salvado de arroz

Tal y como se ha comentado anteriormente, existen diferentes métodos para extraer el aceite del salvado de arroz. Para seleccionar el método a utilizar, se plantea un análisis por matriz de decisión. Para construir la matriz, se plantean en cada fila las distintas alternativas mediante las cuales se puede realizar dicha etapa, y en las columnas se plantean una serie de parámetros atendiendo a criterios de factibilidad técnica, sostenibilidad ambiental, rentabilidad económica y seguridad y, se ponderan según su peso en la decisión.

De acuerdo a la matriz de decisión planteada, el método más adecuado para la extracción del aceite, es el método de extracción mediante disolventes. El disolvente seleccionado es el hexano, por ser el que presenta una mayor capacidad de extracción.

- Refinado del aceite de salvado de arroz

Debido a que el aceite de salvado de arroz presenta un elevado contenido en fosfátidos la técnica más adecuada para el desgomado es una combinación de desgomado con agua seguido de un desgomado ácido para la eliminación completa de todos los fosfátidos, los solubles y los insolubles.

Con el objeto de diversificar la materia prima y de contribuir al reciclado de aceites, se incluye una línea de refinado de aceite de frituras usados.

En la primera fase se realizará un desgomado húmedo, a partir del cual se obtienen lecitinas que pueden ser recuperadas para su posterior comercialización. Teniendo así un valor añadido del residuo. Para ello se insuflará agua al aceite previamente calentado a unos 100°C.

En la segunda etapa el calentamiento es más suave y se añade agua ligeramente acidulada con ácido fosfórico junto con una pequeña cantidad de alcohol para que los fosfátidos se agreguen y precipiten

Por último se realiza la etapa de la “winterización” para eliminar el contenido en ceras del aceite. Para ello se enfría el aceite para que solidifiquen las ceras que no hayan sido eliminadas en la etapa anterior.

Tras la eliminación de las gomas, fosfátidos y ceras, ya se obtiene un aceite apto para la obtención de biodiésel.

- **Transesterificación**

Para seleccionar el método a utilizar en la transesterificación, se plantea otro análisis por matriz de decisión, empleando como principales criterios: rendimiento, coste de materias primas, coste de energía, coste de equipos, coste de pretratamiento, coste de post-tratamiento, costes de implantación y tiempo de reacción. De acuerdo a la matriz de decisión planteada, el método más adecuado para llevar a cabo la transesterificación, es el método de transesterificación alcalina homogénea con un pretratamiento ácido con una sal de sulfato de hierro, al ser un método ampliamente estudiado y fuertemente implantado a nivel industrial.

Dado que el aceite de salvado de arroz y los aceites de fritura usados presentan altos valores de ácidos grasos libres se realizará una primera etapa de esterificación de estos ácidos grasos libres.

Concluida esta fase se procede a la transesterificación. La etapa de transesterificación consiste en añadir al aceite preesterificado, alcohol junto con hidróxido sódico como catalizador.

- **Purificación del biodiésel y purificación de la glicerina**

La etapa de separación de fases consiste en decantar el producto de la reacción y separar la fase del biodiésel de la fase glicerina.

En la etapa de lavado de biodiésel se realizan sucesivos lavados con agua acidulada con ácido sulfúrico, para eliminar el exceso de catalizador. Del agua de lavado se puede recuperar la sal (sulfato sódico) formada por la neutralización. Esta sal se puede comercializar como fertilizante.

La purificación de la glicerina se hace necesaria porque la que se obtiene directamente de la reacción carece de valor comercial. Al aumentar su pureza se aumenta dicho valor comercial.

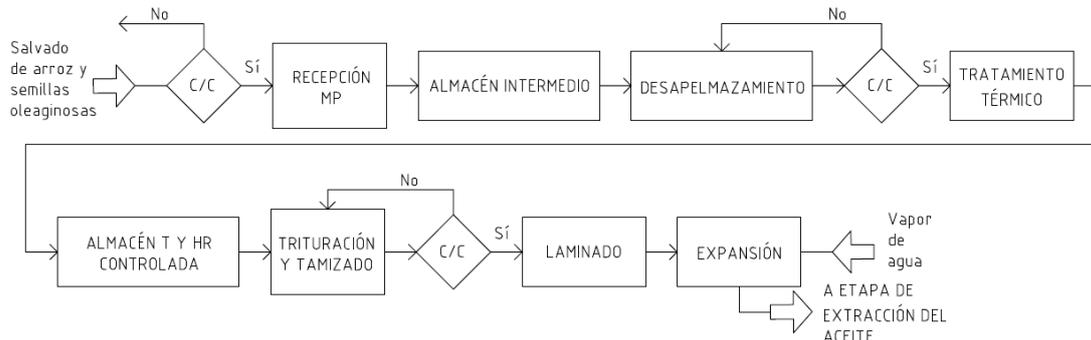
4. Resultados

El diseño propuesto consta de 6 etapas: recepción y preparación de materias primas, extracción del aceite, refinado del aceite, transesterificación, purificación del biodiésel y purificación de la glicerina.

4.1 Recepción y preparación de materias primas

El Diagrama de Bloques de la etapa de recepción y preparación de materias primas se muestra en la Figura 3 (González, 2017). El proceso productivo comienza con la recepción de las materias primas. Antes de la descarga de dichas materias primas, se realiza un control de calidad; si la calidad de las materias primas es aceptable pasan a un almacén intermedio y si no, son rechazadas y se devuelven al proveedor.

Figura 3: Diagrama de Bloques de la etapa de recepción y preparación de materias primas



Una vez superado el control de calidad se procede al almacenamiento de la materia prima. Debido a que el arroz es un cultivo estacional, la producción del salvado de arroz será discontinua a lo largo del año; para solucionar este problema y disponer de materia prima a lo largo de todo el año, se utilizarán otro tipo de materias primas para cubrir los periodos de escasez del salvado. Estas materias primas son las semillas oleaginosas, tales como la soja, la colza y la jatropha curcas, así como aceites de frituras usados.

Tanto el salvado de arroz como las semillas oleaginosas tienen tendencia a enranciarse si no se preparan y almacenan de la forma adecuada. Este enranciamiento es producido por la presencia de unas enzimas que producen la liberación de ácidos grasos libres.

Para evitar el enranciamiento se realiza un proceso que consta de tres etapas: desapelmazamiento, tratamiento térmico y almacenaje en condiciones controladas. Tanto el salvado de arroz como las semillas oleaginosas, debido a su naturaleza, suelen apelmazarse, es por ello que se hace necesaria la etapa de desapelmazamiento y su posterior control de calidad, para comprobar que el desapelmazamiento ha sido efectivo.

La siguiente etapa de tratamiento térmico produce la inactivación de las enzimas que provocan el enranciamiento. Después del tratamiento térmico, el salvado de arroz y las semillas oleaginosas se almacenan a temperatura y humedad relativa controlada.

En la etapa de trituración y tamizado se tritura el salvado de arroz y las semillas oleaginosas, con el fin de facilitar la extracción de aceite.

Tras la etapa de trituración y tamizado se pasa un control de calidad para comprobar que el grosor de grano obtenido es el óptimo para la extracción de aceite. Si en el control de calidad no se observan los parámetros adecuados, se devuelve a la etapa de triturado hasta obtener los valores aptos.

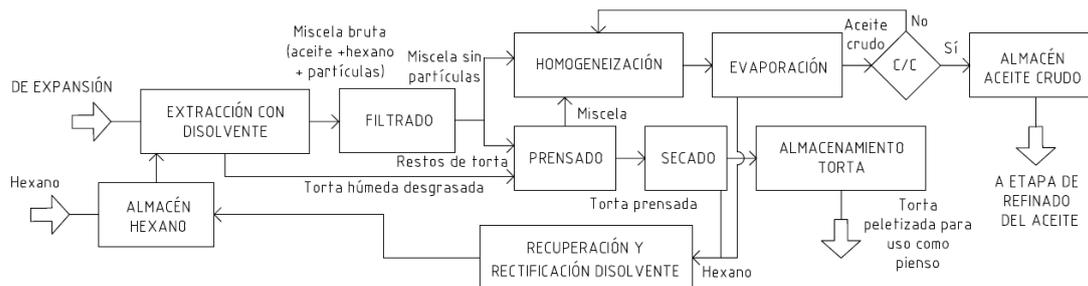
Una vez se tiene el tamaño de grano deseado, se realiza un proceso de laminado. Este proceso aplana los gránulos de salvado de arroz y de semillas oleaginosas y los transforma en una torta. Posteriormente, las láminas de torta se someten a un proceso de expansión, en el cual se inyecta vapor a la torta, consiguiendo que ésta adquiera una textura esponjosa.

Tanto el laminado como la expansión mejoran la posterior etapa de extracción del aceite con disolvente: al aplanar los gránulos se aumenta la superficie de contacto con el disolvente y se reduce el espesor que debe atravesar el mismo; además, la estructura esponjosa presenta una mayor porosidad, lo que permite que el disolvente penetre más fácilmente.

4.2 Extracción del aceite

El Diagrama de Bloques de la etapa de extracción del aceite se muestra en la Figura 4 (González, 2017). Para extraer el aceite del salvado de arroz o de las semillas oleaginosas se va a llevar a cabo una extracción con disolvente (hexano). Para ello, se introduce la corriente resultante de la expansión y la corriente de hexano, proveniente del almacén, en el extractor.

Figura 4: Diagrama de Bloques de la etapa de extracción del aceite



Tras esta etapa se producen dos corrientes de salida: una corriente es la torta húmeda y desgrasada, y la otra es la corriente de la miscela, que está compuesta por el aceite extraído y el hexano.

La corriente de la miscela pasa posteriormente a una etapa de filtrado, en la que se obtienen, por un lado, los restos de torta que pueda haber arrastrado la miscela, y por el otro, la miscela libre de partículas.

A continuación, tanto la torta desgrasada de la etapa de la extracción, como los restos de torta recuperados de la miscela, van a la etapa de prensado. En esta etapa de prensado se obtienen dos corrientes de salida: por un lado, la corriente líquida compuesta por la miscela y por otro, la torta prensada.

La torta prensada es enviada a la etapa de secado. En esta etapa se le extrae a la torta el hexano que le pudiera quedar, dejando la torta seca para que pueda ser almacenada y vendida como subproducto, una vez peletizada. El hexano que se le extrae a la torta es recuperado para ser reutilizado en el proceso.

Tanto la miscela obtenida en la etapa de prensado como la proveniente de la etapa del filtrado se someten a una etapa de homogeneización en la cual son mezcladas.

Una vez homogeneizadas las corrientes de miscela, se procede a la evaporación del hexano para obtener el aceite crudo. De la etapa de evaporación se obtienen dos corrientes: la corriente de aceite crudo y la corriente de hexano evaporado.

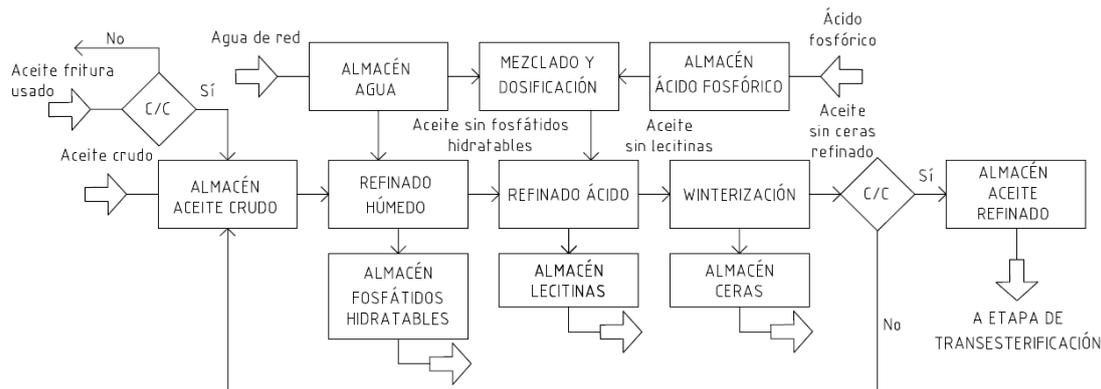
La corriente de hexano evaporado se somete a una etapa de recuperación y rectificación de disolvente para, posteriormente, ser llevado al almacén y ser reutilizado en el proceso.

El aceite crudo obtenido pasa por un control de calidad: si los parámetros de calidad son aceptables, pasa a un almacén de aceite crudo; en caso contrario, es recirculado a la etapa de homogeneización. Con este control de calidad finaliza el proceso de extracción del aceite, siendo la siguiente etapa del proceso el refinado del mismo.

4.3 Refinado del aceite

El Diagrama de Bloques de la etapa de refinado del aceite se muestra en la Figura 5 (González 2017). La primera etapa del proceso de refinado del aceite crudo es el refinado húmedo. En esta etapa se introduce una corriente de agua en el aceite, para así eliminar los fosfátidos que sean solubles. En esta etapa se obtienen los fosfátidos hidratables, que se almacenan como subproducto, y el aceite libre de fosfátidos hidratables, que se lleva a la siguiente etapa.

Figura 5: Diagrama de Bloques de la etapa de refinado del aceite



La siguiente etapa es el refinado ácido. En esta etapa se pone en contacto el aceite, tratado en la etapa anterior, con una mezcla de agua y ácido fosfórico, que se ha mezclado previamente. Con esto se consigue la eliminación de las lecitinas o fosfátidos insolubles.

La siguiente etapa del refinado del aceite es la winterización, que consiste en enfriar bruscamente el aceite para que precipiten las ceras y así, retirarlas del aceite. En esta etapa se separan las corrientes de las ceras de la del aceite ya refinado.

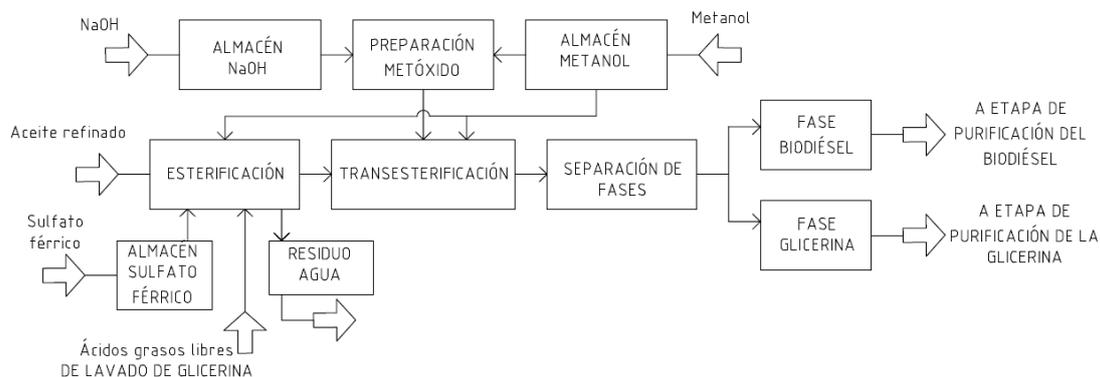
La última etapa del refinado del aceite es un control de calidad para asegurar la calidad óptima del refinado del aceite, y que éste cumple con las características que se necesitan para una correcta transesterificación del mismo. Si en el control de calidad se detectan anomalías o características fuera de los estándares de calidad, el aceite es recirculado para ser de nuevo refinado. En el caso de ser óptimas las propiedades del aceite, éste se almacena para su posterior uso en la siguiente etapa del proceso, que es la transesterificación.

El aceite de fritura usado se refina junto con el aceite crudo, tras ser filtrado previamente.

4.4 Transesterificación

El Diagrama de Bloques de la etapa transesterificación se muestra en la Figura 6 (González, 2017). La primera etapa de la transesterificación es la esterificación de los ácidos grasos libres presentes en el aceite refinado. Para ello, se introduce sulfato férrico y metanol, obteniendo ésteres de los ácidos grasos libres. La etapa de esterificación de los ácidos grasos aumenta el rendimiento de formación de biodiésel, al haber disponible más moléculas de ésteres. A esta etapa se recirculan también los ácidos grasos libres recuperados de la etapa posterior de lavado de la glicerina.

Figura 6: Diagrama de Bloques de la etapa de transesterificación



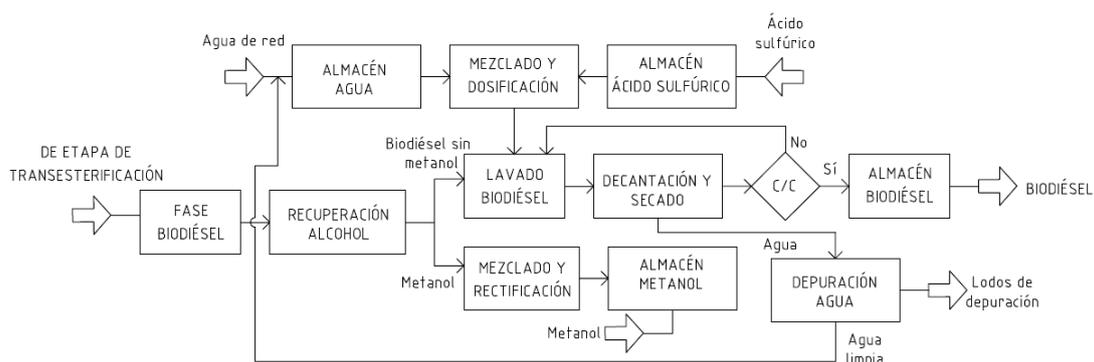
A continuación, se realiza la etapa de transesterificación, que es la etapa central del proceso de obtención de biodiésel. Para llevarla a cabo se necesita el aceite previamente esterificado, un catalizador (metóxido) y metanol en exceso. El metóxido, se obtiene previamente mezclando metanol con el NaOH.

Una vez realizada la reacción de transesterificación, se procede a la separación por decantación de las fases que se producen en dicha reacción. Como resultado de la decantación se obtienen dos corrientes diferenciadas: una fase pesada, que será la de glicerol crudo y, una fase ligera, de biodiésel crudo. Posteriormente, tanto el biodiésel como el glicerol son sometidos a procesos de purificación.

4.5 Purificación del biodiésel

El Diagrama de Bloques de la etapa de purificación del biodiésel se muestra en la Figura 7 (González, 2017). La primera etapa de la purificación del biodiésel es la recuperación del metanol, que se introduce en exceso en la etapa de transesterificación. Para ello, se lleva a cabo una destilación, obteniéndose dos corrientes líquidas: una de metanol y otra de biodiésel libre de metanol. El metanol recuperado se lleva a una etapa de homogeneización, en la que será mezclado con el metanol recuperado de la etapa de purificación de la glicerina, y después rectificado para su reutilización.

Figura 7: Diagrama de Bloques de la etapa de purificación del biodiésel



La corriente de biodiésel se lleva a una etapa de lavado con agua acidulada con ácido sulfúrico para eliminar restos de catalizador, jabones que se podrían haber formado, etc. Tras el lavado, la mezcla agua biodiésel es llevada a una etapa de decantación para separar el agua del biodiésel. Posteriormente el biodiésel es secado.

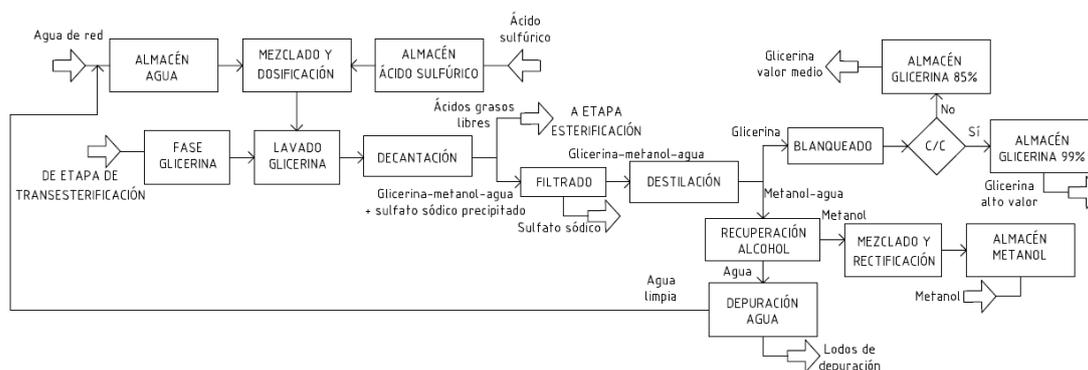
El biodiésel, una vez lavado y secado, pasa un control de calidad: si el control es correcto, es decir, cumple con la norma UNE 14214, se almacena como producto acabado; si no, es recirculado a la etapa de lavado.

El agua es llevada a una etapa de depuración, en la que se obtiene agua limpia, que se recircula al proceso de lavado, y unos lodos de depuración, que son compostados, pudiendo ser utilizados como fertilizante, consiguiendo la valorización de un subproducto generado en el proceso.

4.6 Purificación de la glicerina

El Diagrama de Bloques de la etapa de purificación de la glicerina se muestra en la Figura 8 (González, 2017). La purificación de la glicerina se lleva a cabo mediante 3 etapas. En la primera etapa, la glicerina se pone en contacto con agua y ácido sulfúrico, dando lugar a 3 fases. La primera fase está constituida por los ácidos grasos libres, recuperados de los jabones formados en la transesterificación; la segunda fase está constituida por la mezcla glicerina-metanol-agua, y la tercera fase está constituida por el sulfato de sodio precipitado, producido por el catalizador (NaOH) y el ácido sulfúrico.

Figura 8: Diagrama de Bloques de la etapa de purificación de la glicerina



La segunda etapa consiste en separar por decantación las tres fases anteriores. La fase de los ácidos grasos libres es enviada a la etapa de esterificación. El sulfato de sodio, que es un subproducto que puede ser utilizado como fertilizante, se separa de la mezcla glicerina-metanol-agua mediante un filtrado. La mezcla glicerina-metanol-agua es sometida a una destilación multicomponente.

Con la destilación se consiguen separar los 3 componentes de la mezcla glicerina-metanol-agua. El metanol es sometido a una rectificación para eliminar el agua que pudiera contener, y es recirculado para ser reutilizado en el proceso. El agua se trata de manera análoga a la etapa de purificación de biodiésel. La glicerina es blanqueada con carbón activado para eliminar los residuos que pudiera contener. Tras esta etapa la glicerina pasa un control de calidad, siendo almacenada en función de su pureza obteniendo una glicerina de alta pureza.

5. Conclusiones

Con el diseño de las instalaciones de la planta de producción de biodiésel a partir del salvado y germen de arroz, semillas oleaginosas y aceites usados se ha conseguido:

- La valorización de grandes cantidades de salvado y germen de arroz, que hasta el momento, eran considerados residuos de difícil gestión y cuyas aplicaciones no eran capaces de aprovechar toda la producción disponible.
- La valorización de aceites de fritura usados, otro residuo de difícil gestión, con el consiguiente beneficio medioambiental.
- La obtención de un producto de interés, como es el biodiésel, que puede ser utilizado como combustible sustitutivo de los combustibles fósiles, propiciando la ruptura de la dependencia de los combustibles fósiles.
- La obtención de subproductos como la glicerina, lecitinas y el sulfato de sodio, que son productos de valor añadido.
- La revitalización del tradicional cultivo del arroz de la Comunitat Valenciana, al ser la fuente generadora de la principal materia prima para la obtención del biodiésel propuesta en el presente trabajo.

7. Referencias

- Benjumea Hernandez, P.N., Agudelo Santamaria, J.R., & Alberto Rios, L. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Primera Edición. Medellín, Editorial Universidad de Antioquia.
- Ecured (n.d.). Obtenido el 15 de junio de 2012, desde <https://www.ecured.cu/arroz>
- FAO (n.d.). Obtenido el 8 de marzo de 2012, desde <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>
- González, J. (2017). *Diseño del proceso de obtención de biodiésel a partir de residuos procedentes del salvado de arroz y de residuos de plantas oleaginosas*. (Proyecto Final de Carrera, Universitat Politècnica de València, 2017). Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/96406>
- González, A.D., Kafarov, V., & Guzmán Monsalve, A. (2009). Development of methods of extraction of oil in the production line of biodiésel from microalgae. *Revista prospectiva de la Universidad Autónoma del Caribe*, Vol. 7, No. 2.: 53-60.
- Hanmoungjai, P., Pyle, L. & Niranjani, K. (2000). Extraction of Rice Bran Oil Using Aqueous Media. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 75, 348–352.
- Kanitkar, A., Balasubramanian, S., Lima, M., & Boldor, D. (2011). A critical comparison of methyl and ethyl esters production from soybean and rice bran oil in the presence of microwaves. *Bioresource Technology*, 102, 7896–7902.
- Lakkakula, N.R., Lima, M., & Walker, T., (2004). Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating. *Bioresource Technology*, 92, 157–160.
- Mittelbach, M., & Remschmidt, C. (2007). *Biodiésel, el manual completo*. Editorial Associació Catalana del Biodiésel.
- Perez-Serradilla, J.A., Ortiz, M.C., Sarabia, L., & de Castro, M.D.L. (2007). Focused microwave-assisted Soxhlet extraction of acorn oil for determination of the fatty acid profile by GC–MS. Comparison with conventional and standard methods. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 388 (2), 451–462.
- Segura, B.M., & Pertegas, R.V. (1986). *Aprovechamiento de proteínas de salvado de arroz para la alimentación humana*. (Tesis del Master en Ciencia e Ingeniería de Alimentos, Universitat Politècnica de València, 1986).
- Terigar, B.G, Balasubramanian, S, Sabliov, C.M., Lima, M., & Boldor, D. (2011). Soybean and rice bran oil extraction in a continuous microwave system: From laboratory- to pilotscale. *J. Food Engineering*, 104, 208–217.