

04-024

## RECOVERY OF THE RICE STRAW RESIDUE THROUGH ITS TRANSFORMATION INTO BIOETHANOL: DESIGN OF THE PRODUCTION PROCESS

Ruiz Sanchez, Tamara<sup>(2)</sup>; Garcia Fayos, Beatriz<sup>(2)</sup>; Arnal Arnal, Jose Miguel<sup>(2)</sup>; Sancho Fernandez, Maria<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Universitat Politècnica de València, <sup>(2)</sup>Universitat Politècnica de valència

The cultivation of rice and other Gramineae produces, after harvesting, a large amount of straw, which constitutes a waste and poses a serious environmental problem. In Valencia, traditionally, burning of straw has been chosen, which produces a large emission of polluting gases. In recent years it was banned, causing this waste to ferment in the water, causing even a major impact on the Albufera natural reserve. The present work proposes the valorisation of straw through its transformation into bioethanol. To guarantee continuous production of the biofuel, the design has been carried out taking into account the supply of straw from other Gramineae, since cereals are seasonal crops. The production process is based on two different methods: one from rice straw and another from other Gramineae; and it has different configurations of hydrolysis and fermentation, and different hydrolytic and fermentative organisms. Present work includes the description of the process as well as the economic valuation of the investment needed for the project.

**Keywords:** Bioethanol; rice straw; gramineae straw, valorisation

## VALORIZACIÓN DEL RESIDUO DE LA PAJA DE ARROZ MEDIANTE SU TRANSFORMACIÓN EN BIOETANOL: DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

El cultivo de arroz y otras gramíneas produce, tras su recolección, una gran cantidad de paja, que constituye un residuo y supone un grave problema medioambiental. En Valencia, tradicionalmente, se ha optado por la quema de la paja, que produce una gran emisión de gases contaminantes. En los últimos años fue prohibida, provocando que este residuo fermentara en el agua, originando un impacto aún mayor en la reserva natural de l'Albufera. El presente trabajo propone la valorización de la paja mediante su transformación en bioetanol. Para asegurar una producción continua del biocombustible se ha realizado el diseño teniendo en cuenta el suministro de paja de otras gramíneas, dado que los cereales son cultivos estacionales. El proceso de producción se basa en dos métodos diferentes: uno a partir de paja de arroz y otro a partir de otras gramíneas y, cuenta con distintas configuraciones de hidrólisis y fermentación, y de distintos organismos hidrolíticos y fermentativos. El presente trabajo recoge los principales resultados derivados de la propuesta realizada e incluye la descripción del proceso productivo, así como la valoración económica necesaria para el proyecto.

**Palabras clave:** Bioetanol; paja arroz; paja gramíneas, valorización

Correspondencia: Beatriz Garcia Fayos (beagarfa@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

La agricultura, como actividad humana basada en la explotación de los recursos naturales, genera una gran cantidad de residuos, con el consiguiente problema de la eliminación de los mismos.

Las gramíneas o poáceas (Poaceae) son un conjunto de plantas primordiales en la agricultura, pues son utilizadas en la alimentación humana o como forrajes para los animales domésticos. Se incluyen dentro de las gramíneas, los cereales (arroz (*Oryza sativa*), avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), centeno (*Secale cereale*), maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum*), trigo (*Triticum*), etc.) y los cultivos azucareros (caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)), entre otros.

El cultivo de cereales produce grandes cantidades de residuos, que se conocen como paja y que están compuestos por hojas, tallos, etc., para los cuales no se han encontrado aplicaciones tecnológica y económicamente viables, por lo que estos residuos presentan graves problemas medioambientales en su eliminación.

En la provincia de Valencia se produce una gran cantidad de arroz en los campos situados en el Parque Natural de l'Albufera y en la desembocadura del Júcar, que tradicionalmente, se dejaba sobre el terreno para ser incinerada, tal y como se observa en la Figura 1.

**Figura 1: Quema de la paja de arroz en el propio terreno (Las Provincias, 2010)**



La quema de la paja del arroz produce una gran emisión de gases contaminantes, razón por la cual fue prohibida en los últimos años. La alternativa propuesta consistió en dejar la paja de arroz en el campo tras la recolección del cultivo. La paja sumergida en el agua de los campos inundados se pudrió, dando lugar a malos olores por la generación de metano.

Esta descomposición de residuos sobre el terreno, fue aún más problemática en los campos del Parque Natural de l'Albufera, pues produjo la muerte de especies vegetales y animales, por la eliminación del oxígeno del agua, generando un gran impacto ecológico en el humedal, que posee una especial protección dados los hábitats que alberga.

Ante esta problemática, es evidente que se han de buscar otras alternativas para la eliminación de la paja de arroz. En el presente trabajo, se propone como solución, la valorización de la paja generada en el cultivo del arroz, mediante su transformación en bioetanol.

## 2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es realizar el diseño de una planta que produce 300 m<sup>3</sup>/día de bioetanol anhidro, a partir de paja de arroz (*Oryza sativa*) y de otras poáceas (Poacea). Para el diseño se ha utilizado la metodología y los datos extraídos de bibliografía científica, demostrando que el proceso de producción es técnica y medioambientalmente viable.

### 3. Caso de estudio

#### 3.1 Bioetanol

El bioetanol es el etanol obtenido por fermentación de los azúcares que se encuentran en productos vegetales, como granos de cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa (paja de cereales, residuos de podas, plantas modificadas genéticamente, etc.), y su proceso de producción presenta distintas etapas en función de la estructura de las materias primas empleadas.

El bioetanol se utiliza como combustible único o mezclado con gasolina en distintas concentraciones, como aditivo de la gasolina en forma de etil-terbutil-éter, como aditivo de mejora de la ignición en motores diésel, y como combustible para las pilas de combustible de vehículos eléctricos.

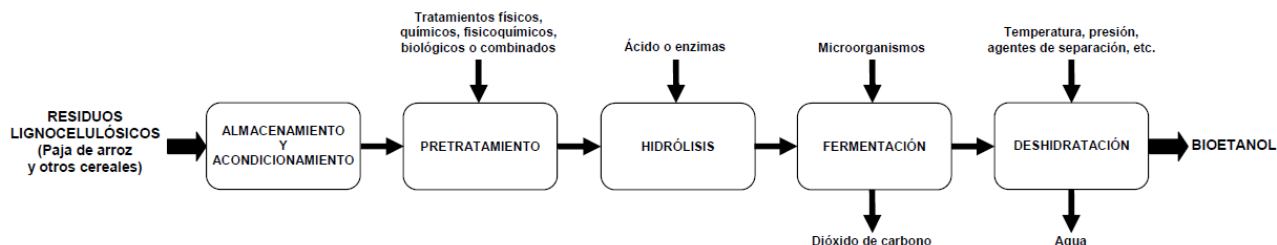
#### 3.2 Estructura de la paja de cereales

La paja de cereales está compuesta por una estructura denominada lignocelulosa, que se divide en tres fracciones: la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Para la producción de bioetanol las fracciones interesantes son la celulosa y la hemicelulosa. La celulosa es un polisacárido formado por moléculas de glucosa; la hemicelulosa es un polisacárido formado por diferentes monosacáridos, encontrándose en mayor proporción la xilosa. La lignina es un compuesto que interfiere en algunas etapas de la producción de bioetanol, por lo que debe ser eliminada.

#### 3.3 Bioetanol a partir de paja de cereales

Las etapas principales en la obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos, como la paja de cereales, se muestran en la Figura 2.

**Figura 2: Proceso general de obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos**



Fuente: Elaboración propia

El almacenamiento y acondicionamiento evita la descomposición de la paja y la hace más manejable para el proceso, lavándola, troceándola, moliéndola, etc., como paso previo al pretratamiento. El pretratamiento tiene como objetivo romper la estructura lignocelulósica, que es difícil de degradar debido a la fuerte asociación existente entre las diferentes fracciones. Por ello, se han estudiado diferentes métodos de pretratamiento y deslignificación (eliminación de la lignina), como pasos previos a la hidrólisis de la celulosa y hemicelulosa. La hidrólisis, también llamada sacarificación, permite romper la celulosa y hemicelulosa en sus azúcares constituyentes: glucosa y xilosa, respectivamente. En la fermentación, la glucosa y la xilosa son transformadas en bioetanol por microorganismos, produciendo como subproducto de la reacción dióxido de carbono. El bioetanol producido por fermentación contiene mucha agua, que debe ser eliminada hasta alcanzar una pureza del 99,5 al 99,9% en peso de etanol. Con el objetivo de alcanzar la pureza requerida se han estudiado diversas técnicas de deshidratación para el bioetanol.

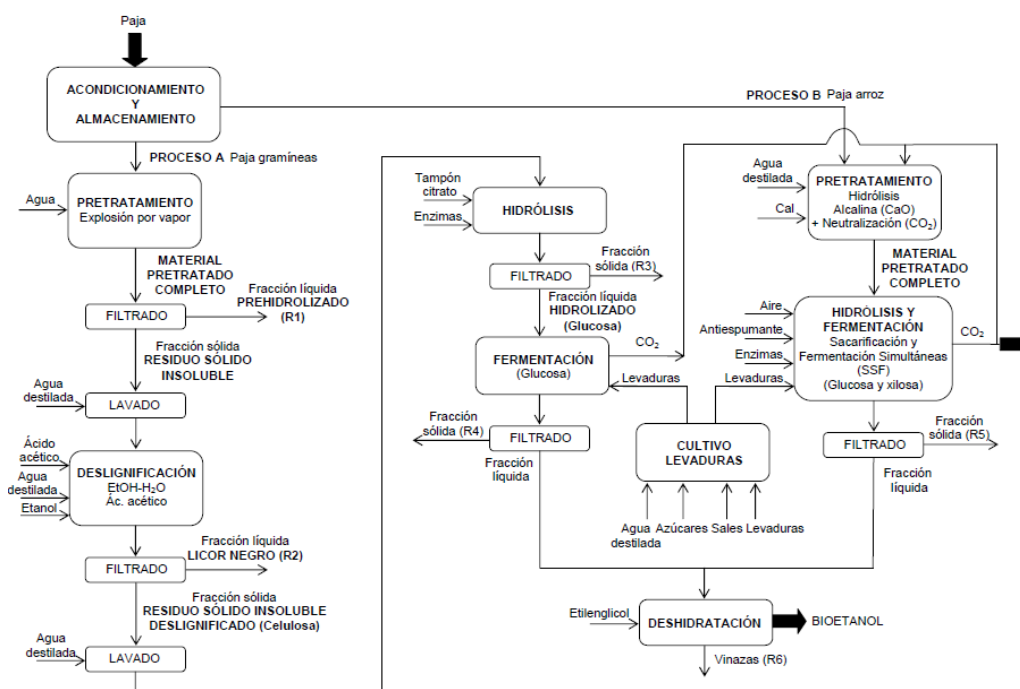
### 3.4 Solución propuesta

Para realizar el diseño de la planta se ha elaborado una detallada búsqueda en bibliografía científica. Las técnicas utilizadas para el diseño han sido elegidas porque presentan una elevada eficacia en el pretratamiento y permiten obtener una mayor cantidad de bioetanol, contando con distintas configuraciones de hidrólisis y fermentación, y distintos organismos hidrolíticos y fermentativos; además, presentan un menor consumo energético y costes de inversión de capital.

Como el arroz es un cultivo estacional, la utilización de la paja de arroz como única materia prima daría lugar a una producción discontinua de bioetanol; para poder realizar un suministro continuo a los clientes, cubrir la demanda y rentabilizar la inversión, se utiliza también como materia prima, paja de otras poáceas.

El proceso propuesto se muestra en la Figura 3, y se compone de un acondicionamiento y almacenamiento de la paja, dos líneas de producción: el Proceso A y el Proceso B, una etapa de deshidratación común a los dos procesos, y una etapa de cultivo de levaduras.

**Figura 3: Esquema simplificado del proceso propuesto de obtención de bioetanol a partir de la paja de arroz y de otras poáceas**



Fuente: Elaboración propia

El Proceso A permite obtener bioetanol a partir de la paja de poáceas y consta de un pretratamiento, una deslignificación, una hidrólisis y una fermentación. Para el diseño del pretratamiento, la hidrólisis y la fermentación se ha utilizado como guía el trabajo de García-Aparicio et al. (2011) y para la deslignificación se ha utilizado como guía el trabajo de Barroso (2010).

El Proceso B permite obtener bioetanol a partir de la paja de arroz y consta de un pretratamiento y una hidrólisis y fermentación, que se lleva a cabo en una sola etapa, conocida como SSF (del inglés Simultaneous Saccharification and Fermentation). El Proceso B se ha diseñado utilizando como guía el trabajo realizado por Li et al. (2011).

Para el cultivo de las levaduras necesarias para la fermentación del Proceso A se utilizan los compuestos descritos en el trabajo de García-Aparicio et al. (2011), y para las del Proceso B se utilizan los compuestos descritos en el trabajo de Li et al. (2011).

El método de deshidratación seleccionado se basa en el trabajo de Bastidas et al. (2010).

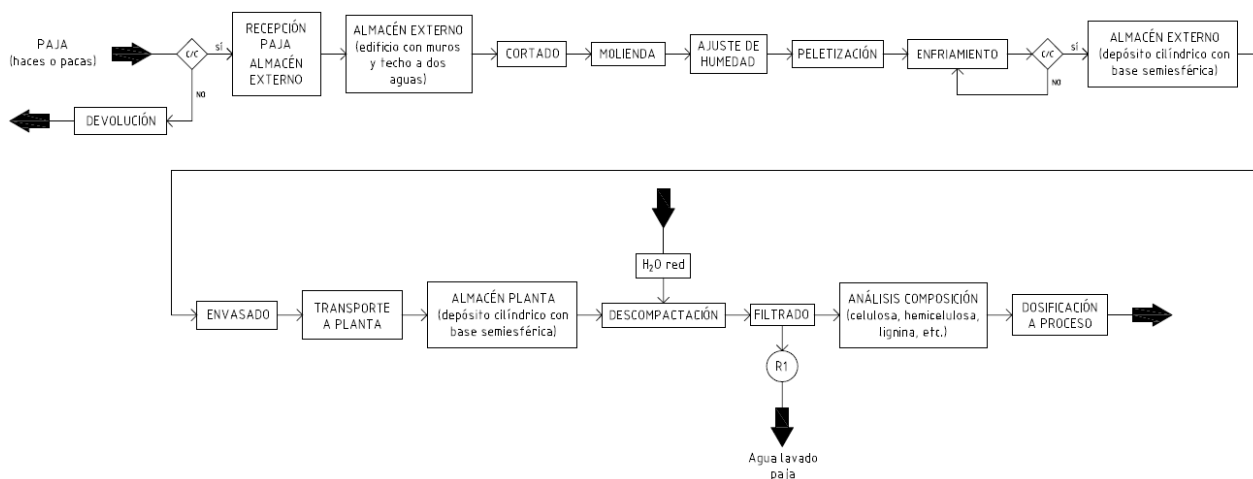
## 4. Resultados

### 4.1 Planificación y descripción del almacenamiento de materias primas

#### 1. Paja

Como las gramíneas o poáceas son cultivos estacionales se necesita planificar la cantidad de paja a almacenar para disponer de una cantidad constante de materia prima mensual. En la Figura 4 se muestra el Diagrama de Bloques del proceso que va a ser descrito a continuación.

**Figura 4: Diagrama de Bloques del acondicionamiento y almacenamiento de la paja**



Fuente: Elaboración propia

El proceso productivo requiere una gran cantidad de paja, por lo que en el almacén de la planta sólo se almacena la cantidad necesaria para trabajar en el día. Como la paja tiene baja densidad, su transporte supone el desplazamiento de elevados volúmenes. Para disminuir el volumen a transportar, la paja es compactada en forma de pellets. Esta operación se realiza en 7 almacenes externos cercanos a la zona de producción de la paja. Los almacenes externos están compuestos de un almacén, que es un edificio con muros y techo a dos aguas, el equipo necesario para peletizar la paja y, un tanque que es un depósito cilíndrico con base semiesférica.

La paja se recibe en forma de haces o pacas y se realiza un control de calidad previo a la recepción: si la paja cumple con las características de calidad, se almacena en el edificio con muros y techo a dos aguas; si no, se devuelve a los proveedores. A continuación, la paja se compacta en forma de pellets; para ello, se corta y muele, se ajusta su humedad y se peletiza. Este proceso genera un calentamiento de los pellets, por lo que se necesita un enfriamiento. Cuando los pellets se encuentran a la temperatura adecuada, se almacenan en el tanque cilíndrico con base semiesférica, a la espera de ser envasados y transportados a la planta mediante camiones del tipo euro trailer.

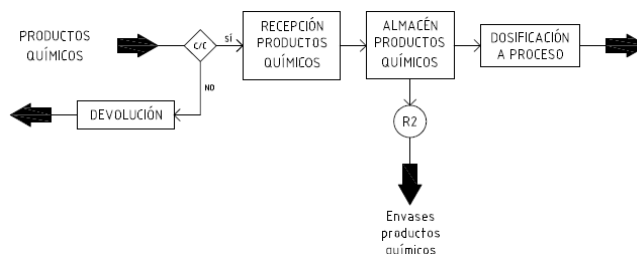
Cuando los pellets llegan a la planta, se descargan los camiones y se almacenan en los tanques cilíndricos con base semiesférica ubicados allí. Para ser utilizados en el proceso, los pellets se descompactan poniéndolos en contacto con agua.

Posteriormente, se realiza un filtrado para separar el agua del serrín de paja y, el serrín de paja se dosifica al pretratamiento del Proceso A o del Proceso B, según se trate de paja de poáceas o de paja de arroz. Como consecuencia del filtrado se genera un residuo R1 compuesto por el agua de lavado de la paja. También se realiza un análisis para determinar la composición del serrín de paja (celulosa, hemicelulosa, lignina, etc.).

## 2. Productos químicos

Para los productos químicos sólo se almacena la cantidad necesaria para trabajar en el día, atendiendo a las medidas de seguridad relacionadas con la peligrosidad de las sustancias, de acuerdo a la legislación vigente. Previamente a su recepción se realiza un control de calidad para comprobar que cumplen con la calidad exigida. Como consecuencia del almacenamiento de los productos químicos, se genera un residuo R2, formado por los envases que contenían dichos productos químicos. En la Figura 5 se muestra el Diagrama de Bloques del proceso de almacenamiento de los productos químicos.

**Figura 5: Diagrama de Bloques del almacenamiento de los productos químicos**



Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Planificación y descripción del proceso productivo

Algunas operaciones del proceso productivo tienen una duración considerablemente mayor al resto, por lo que retrasan el proceso de producción, impidiendo alcanzar la producción objetivo. Para determinar estas operaciones, que son cuellos de botella, se realizan diagramas de Gantt de las distintas etapas del proceso. Una vez realizado el dimensionado de los equipos, los cuellos de botella se solucionan incrementando los equipos implicados en las etapas de mayor duración. Dichos equipos trabajan en paralelo para obtener la producción objetivo. Las soluciones adoptadas son las siguientes: en la hidrólisis del Proceso A se utilizan 2 reactores de hidrólisis en paralelo, en la hidrólisis y fermentación del Proceso B se utilizan 4 fermentadores en paralelo y, en el cultivo de levaduras se utilizan 2 montajes de crecimiento en el laboratorio y 2 fermentadores 5 en paralelo.

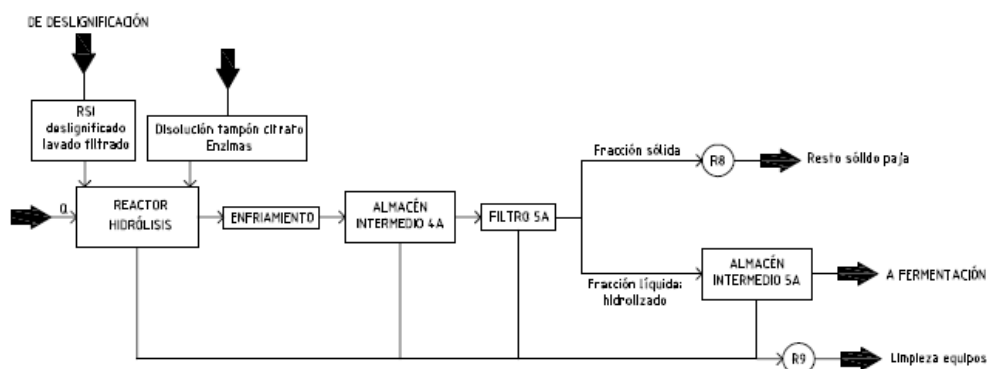
### 1. Proceso A

En la Figura 6 se muestra el Diagrama de Bloques del pretratamiento del Proceso A.

El pretratamiento por explosión por vapor consiste en someter la paja a una temperatura elevada mediante la inyección de vapor de agua. Transcurrido un determinado tiempo se realiza una descompresión brusca del reactor recogiendo la mezcla obtenida en un ciclón. El material pretratado completo se deja enfriar y, a continuación, se filtra, obteniéndose dos fracciones: una sólida que se denomina residuo sólido insoluble (RSI) y, una líquida que se denomina prehidrolizado y es el residuo R3. El RSI se lava con agua destilada y se filtra, obteniéndose una fracción sólida que es el RSI lavado y filtrado y, una líquida que es el agua de lavado que arrastra los restos de prehidrolizado, por lo también forma parte del residuo R3. El RSI lavado y filtrado se almacena en el almacén intermedio 1 a la espera de la siguiente etapa, que es la deslignificación.



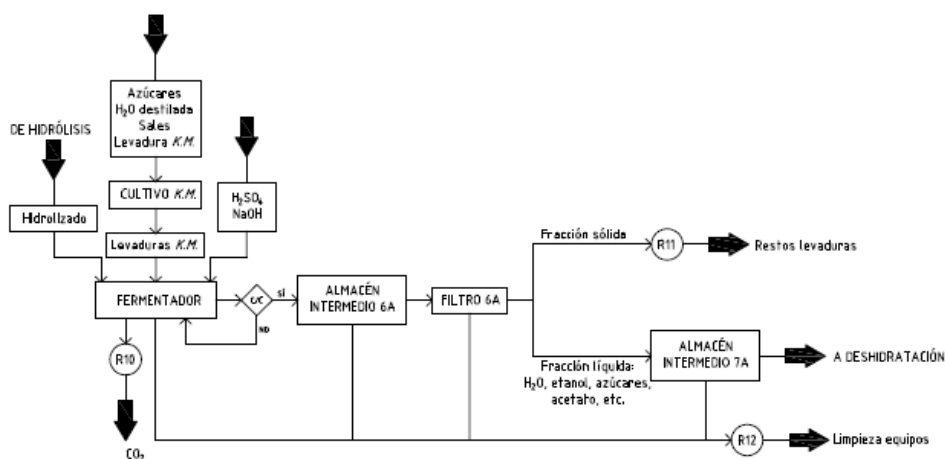
**Figura 8: Diagrama de Bloques de la hidrólisis del Proceso A**



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se muestra el Diagrama de Bloques de la fermentación del Proceso A.

**Figura 9: Diagrama de Bloques de la fermentación del Proceso A**



Fuente: Elaboración propia

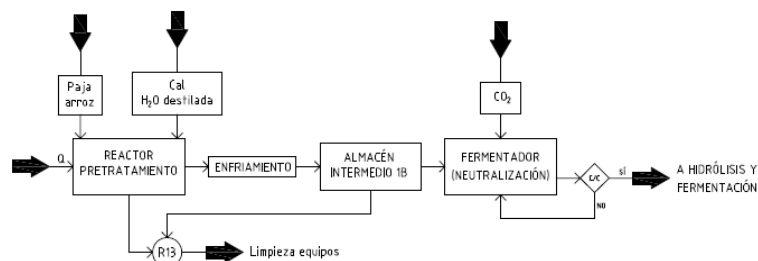
La fermentación anaerobia de la glucosa presente en el hidrolizado se realiza mediante la levadura *Kluyveromyces Marxianus* (K.M.) previamente cultivada. Para ello, se dosifican en el fermentador las cantidades adecuadas de hidrolizado, K.M., y NaOH y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para el control del pH, según se requiera en el proceso de fermentación. Como consecuencia de la fermentación se genera CO<sub>2</sub> (R10), que es un subproducto que se utiliza en el Proceso B. Para comprobar que la fermentación ha terminado, se incluye un control de calidad. Si la concentración de bioetanol en el medio es correcta, la mezcla se envía al almacén intermedio 6 a la espera de la siguiente etapa, que es un filtrado. En el filtrado se obtiene: una fracción sólida compuesta por las levaduras y que representa el residuo R11 y, una fracción líquida, que contiene el bioetanol obtenido en la fermentación, agua, azúcares residuales, acetato, etc. La fracción líquida se envía al almacén intermedio 7 a la espera de ser deshidratada.

## 2. Proceso B

En la Figura 10 se muestra el Diagrama de Bloques del pretratamiento del Proceso B.



**Figura 10: Diagrama de Bloques del pretratamiento del Proceso B**

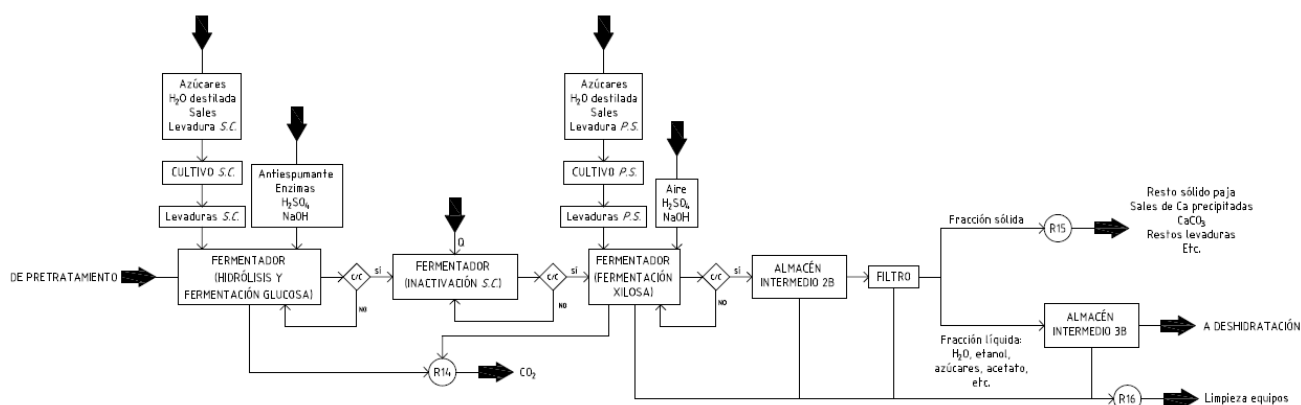


Fuente: Elaboración propia

El pretratamiento del Proceso B se conoce como proceso  $\text{CaCCO}$  y se trata de una hidrólisis alcalina con cal y posterior neutralización con  $\text{CO}_2$ . Para ello, se dosifica en el reactor paja de arroz, cal y agua destilada para llevar a cabo el cocido de la mezcla. A continuación, la mezcla se enfría y se envía al almacén intermedio 1 a la espera de la neutralización. La neutralización se realiza en el fermentador introduciendo un caudal de  $\text{CO}_2$ . Para asegurar que el pH final es el adecuado para poder pasar a la hidrólisis y fermentación, se dispone de un control de calidad.

En la Figura 11 se muestra el Diagrama de Bloques de la hidrólisis y fermentación del Proceso B.

**Figura 11: Diagrama de Bloques de la hidrólisis y fermentación del Proceso B**



Fuente: Elaboración propia

Para la hidrólisis de los polisacáridos y fermentación anaerobia de la glucosa, se dosifican en el fermentador las enzimas Ultraflo L, Celluclast 1.5 L y Novozyme 188, el antiespumante y las levaduras *Saccharomyces Cerevisiae* (S.C.) previamente cultivadas, durante un determinado tiempo y en unas determinadas condiciones. Posteriormente, las levaduras S.C. se inactivan mediante la aplicación de calor.

A continuación se realiza la fermentación aerobia de la xilosa; para ello se introduce en el fermentador un caudal de aire y las levaduras *Pichia Stipitis* (P.S.) previamente cultivadas, durante un determinado tiempo y en unas determinadas condiciones. La mezcla obtenida se envía al almacén intermedio 2 a la espera de un filtrado.

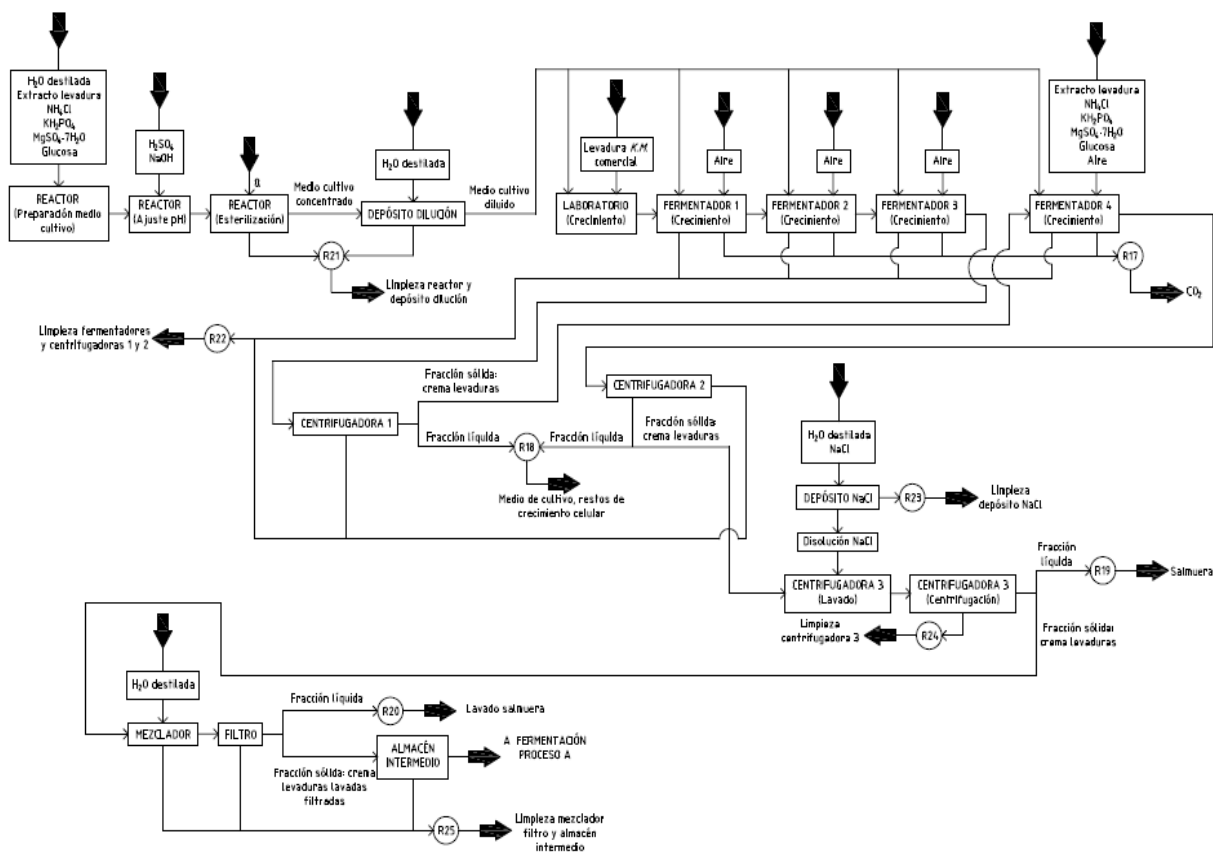
En ambas fermentaciones se utiliza  $\text{NaOH}$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para controlar el pH y, se genera  $\text{CO}_2$  (R14) que se utiliza en la neutralización del pretratamiento del Proceso B, valorizando esta emisión gaseosa. Para comprobar que todas las operaciones anteriores funcionan correctamente, se incluyen diversos controles de calidad.

La fracción sólida del filtrado es el residuo R15 y está compuesta por restos de paja, productos generados en el pretratamiento,  $\text{CaCO}_3$  generado en la neutralización, y las levaduras utilizadas. La fracción líquida del filtrado contiene el bioetanol obtenido en la fermentación, agua, azúcares residuales, acetato, etc., y se envía al almacén intermedio 3 a la espera de ser deshidratada.

### 3. Cultivo de levaduras

Como el Diagrama de Bloques para el cultivo de las levaduras del Proceso A y del Proceso B es el mismo y, sólo se diferencian en los nutrientes, condiciones de crecimiento y en el nombre de los residuos, se muestra en la Figura 12, a modo de ejemplo, el Diagrama de Bloques del cultivo de levaduras del Proceso A. Para facilitar la comprensión y visualización del Diagrama de Bloques, sólo se representan 4 fermentadores, a pesar de que son necesarios 5 (4 dispuestos en serie y un fermentador final).

Figura 12: Diagrama de Bloques del cultivo de levaduras del Proceso A



Fuente: Elaboración propia

El proceso comienza preparando el medio de cultivo; para ello se dosifica en el reactor agua destilada y compuestos para el crecimiento de las levaduras. A continuación, se ajusta el pH mediante la adición de  $\text{NaOH}$  o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y se esteriliza el medio de cultivo. Posteriormente, el medio de cultivo se enfría y se diluye con agua destilada.

A continuación, el medio de cultivo diluido se dosifica a los fermentadores y se toma una muestra para iniciar el proceso de crecimiento desde el laboratorio. En el laboratorio, la cepa comercial de levaduras se inocula en el frasco del medio de cultivo y se deja crecer. Transcurrido el tiempo de crecimiento, el contenido completo del frasco se usa para inocular el fermentador 1.

La mezcla se deja crecer en el fermentador 1; transcurrido el tiempo de crecimiento, el contenido del fermentador 1 pasa al fermentador 2 y, se procede de la misma manera con los fermentadores 3 y 4. Estos fermentadores se disponen en escala de volumen creciente. Como consecuencia del crecimiento de las levaduras, se genera  $\text{CO}_2$  (R17) que es un subproducto que se utiliza en el Proceso B.

El contenido del fermentador 4 se centrifuga para separar las levaduras del medio de cultivo: la fracción líquida (R18) es el medio de cultivo y, la fracción sólida son las levaduras. Las levaduras se inoculan al fermentador 5, en donde la aireación es más fuerte y se incrementa la adición de medio de cultivo y compuestos para el crecimiento de las levaduras.

Transcurrido el tiempo de crecimiento, el contenido del fermentador 5 se centrifuga, obteniéndose por un lado las levaduras y, por el otro el medio de cultivo (R18). A continuación, las levaduras se lavan con una disolución de NaCl y se vuelven a centrifugar, obteniéndose una fracción sólida, que es la crema de levaduras y, una fracción líquida (R19) que es la salmuera.

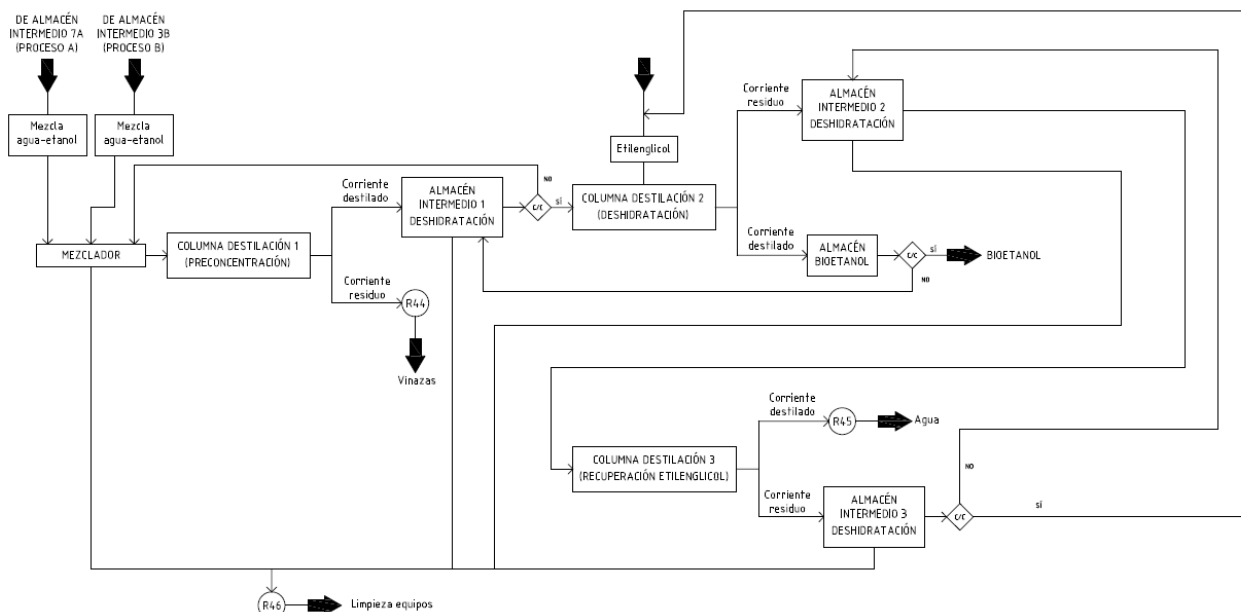
La crema de levaduras se lava con agua destilada y las levaduras se recuperan por filtración, almacenándose a la espera de ser utilizadas en la etapa de fermentación. La fracción líquida de la filtración, es el residuo R20, y es el agua de lavado de las levaduras con restos de la salmuera.

#### 4. Deshidratación

En la Figura 13 se muestra el Diagrama de Bloques de la deshidratación.

Las mezclas agua-etanol obtenidas en la fermentación de los Procesos A y B se mezclan para ser deshidratadas conjuntamente. Como la composición de esta disolución no coincide con los valores del trabajo de Bastidas et al. (2010), se realiza una preconcentración mediante una destilación con rectificación en la columna de destilación 1, para obtener el caudal y la composición adecuados.

**Figura 13: Diagrama de Bloques de la deshidratación**



Fuente: Elaboración propia

La columna 1 se ha diseñado utilizando el método gráfico de Ponchon-Savarit asistido por el software matemático Mathcad<sup>®</sup>. El diseño de esta columna no es óptimo, pero su optimización queda fuera del ámbito de estudio del presente trabajo.

El destilado de la columna 1 se envía al almacén intermedio 1 y, se realiza un control de calidad para comprobar que la fracción molar de etanol es la adecuada. Si lo es, se puede realizar la destilación extractiva con etilenglicol; si no, se recircula al mezclador para ser destilado de nuevo. El residuo de la columna 1 se llama vinazas y está compuesto por agua, ácido acético, azúcares disueltos, etc., que no se han destilado y es el residuo R44.

La destilación extractiva con etilenglicol se lleva a cabo en la columna de destilación 2, donde se deshidrata el etanol y, en la columna de destilación 3, donde se recupera el etilenglicol y se separa del agua, de acuerdo al trabajo de Bastidas et al. (2010).

El destilado de la columna 2 es el bioetanol y se envía su almacén. En dicho almacén se realiza un control de calidad para comprobar que la fracción molar de etanol es la adecuada; si lo es, el bioetanol se deja en ese almacén a la espera de ser almacenado y envasado; si no, se recircula al almacén intermedio 1. El residuo de la columna 2 se envía al almacén intermedio 2, a la espera de una destilación a vacío en la columna 3.

Una vez realizada la destilación, el residuo de la columna 3, que es el etilenglicol, se almacena en el almacén intermedio 3 y, se realiza un control de calidad para comprobar que la fracción molar del mismo es correcta. Si lo es, el etilenglicol se recircula a la columna 2; si no, se recircula al almacén intermedio 2 para volver a ser destilado. El destilado de la columna 3 es el agua y se almacena como el residuo R45.

## 5. Conclusiones

Con el diseño de la planta de bioetanol a partir de paja de arroz y de otras poáceas se ha conseguido:

- La eliminación del impacto medioambiental producido en el caso de que la paja de arroz se hubiera dejado sobre los campos o se hubiera quemado, tal y como se venía haciendo tradicionalmente.
- La valorización de una gran cantidad de paja de arroz y de otras poáceas, que hasta el momento, eran consideradas residuos para los cuales no se habían encontrado aplicaciones tecnológicas y económicamente viables.
- La obtención de 300 m<sup>3</sup>/día de un producto de interés, como es el bioetanol, que puede ser utilizado como combustible alternativo a los combustibles fósiles, permitiendo diversificar las fuentes de energía actuales y contribuir a paliar la creciente situación de escasez de los mismos.
- La generación de un biocombustible que no plantea conflictos económicos, sociales y políticos, pues no utiliza como materias primas cultivos destinados a la alimentación humana, como granos de cereales, remolacha, caña de azúcar, etc., lo que hace que no aumenten los precios de los alimentos.
- La generación de un biocombustible que no plantea conflictos medioambientales, pues no utiliza plantas modificadas genéticamente con fines energéticos, que puedan invadir o colonizar a las especies naturales, por lo que no se pone en peligro la biodiversidad.
- La valorización de la emisión gaseosa de CO<sub>2</sub>, que es contaminante y que se produce en todas las fermentaciones, mediante su utilización en la neutralización del pretratamiento del Proceso B.

## 6. Referencias

- Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería*. Proyecto Final de Carrera, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Bastidas, P.A., Gil, I.D., & Rodríguez, G. (2010). Comparison of the main ethanol dehydration technologies through process simulation. *20º Simposio Europeo sobre Ingeniería de Procesos Asistidos por Ordenador - ESCAPE 20*, Italia.
- Fernández, C. (2010, Julio 3). La paja del arroz se volverá a quemar tras dos años de prohibición. *Las Provincias*. Obtenido de <http://www.lasprovincias.es/>
- García-Aparicio, M.P., Oliva, J.M., Manzanares, P., Ballesteros, M., Ballesteros, I., González, A., & Negro, M.J. (2011). Second-generation ethanol production from steam exploded barley straw by *Kluyveromyces marxianus* CECT 10875. *Fuel*, 90, 1624-1630.
- Li, Y., Park, J.-y, Shiroma, R., & Tokuyasu, K. (2011). Bioethanol production from rice straw by a sequential use of *Saccharomyces Cerevisiae* and *Pichia Stipitis* with heat inactivation of *Saccharomyces Cerevisiae* cells prior to xylose fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 111 N° 6, 682-686.