

APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA AZÚCAR UTILIZADO COMO
SOPORTE Y SUSTRATO PARA LA BIOPRODUCCIÓN DE CELULASA POR LA
ACCIÓN DEL HONGO *Aspergillus Niger*

JUAN CARLOS SABOGAL AGUDELO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES
POLÍTICA PÚBLICA EN EL APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO DE
RESIDUOS AGROALIMENTARIOS
PALMIRA – VALLE DEL CAUCA
2023

APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA AZÚCAR UTILIZADO COMO
SOPORTE Y SUSTRATO PARA LA BIOPRODUCCIÓN DE CELULASA POR LA
ACCIÓN DEL HONGO *Aspergillus Niger*

JUAN CARLOS SABOGAL AGUDELO

Trabajo presentado como requisito para optar por el título de Especialista en
Procesamiento de Alimentos y Biomateriales.

Directora

ANDREA VÁSQUEZ GARCÍA

Doctora en Ingeniería de Alimentos

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍA
POLÍTICA PÚBLICA EN EL APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO DE
RESIDUOS AGROALIMENTARIOS
PALMIRA – VALLE DEL CAUCA
2023

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVOS	9
1. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD	10
1.1. TIPO DE RESIDUO AGROALIMENTARIOS SELECCIONADO.....	10
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN	10
1.2.1 PRETRATAMIENTO (CORTE Y LIMPIEZA ALCALINA)	10
1.2.2 REACTIVACIÓN DEL CULTIVO Y PREPARACIÓN DEL INÓCULO.....	11
1.2.3 INOCULACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, UTILIZADO COMO SOPORTE Y SUSTRATO	11
1.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN	11
1.4. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SIMULACIÓN	12
1.5. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO	13
1.5.1. FALLAS EN EL SISTEMA DE AIREACIÓN	14
1.5.2. INTERFERENCIAS AMBIENTALES.....	14
1.6. DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO	14
2. INFOGRAFÍA	17
3. PERTINENCIA Y VIABILIDAD DEL PROYECTO	19
4. CONCLUSIONES	21
5. DEPÓSITO EN EL REPOSITORIO DE LA UNAD.....	22
5. BIBLIOGRAFÍA	23
6. VÍNCULO DE PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	25

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Diagrama de flujo producción de celulasa por la acción del hongo *Aspergillus Niger* utilizando bagazo de Caña..... 12
- Figura 2. Flujograma del proceso de transformación del bagazo de caña para obtener celulasas, utilizando el simulador de Procesos Industriales - Simulador COCO..... 13
- Figura 3. Infografía: Políticas públicas nacionales para aprovechamiento de residuos agroalimentarios 17
- Figura 4. Infografía: Políticas internacionales para aprovechamiento de residuos agroalimentarios 18

RESUMEN

En este trabajo se propone aprovechar el bagazo de caña, considerado uno de los principales residuos agroalimentarios de la industria azucarera, como soporte y sustrato en un bioproceso de fermentación controlada para la obtención de la enzima celulasa, por medio de la acción celulítica del hongo *Aspergillus Niger*, para posteriormente utilizarla en la producción de Bioetanol u otros procesos industriales. El bioproceso se llevó a cabo en un reactor empacado, en cuyo interior se dispuso el bagazo seco y esterilizado, previamente cortado, lavado y tratado alcalinamente con NaOH 1 M, seguidamente se humedeció con caldo de cultivo y se realizó su inoculación utilizando suspensión de esporas de *Aspergillus Niger* a razón de 1 l de suspensión/4 kg de bagazo estéril; la incubación se realizó con aireación constante a 25 °C y pH 6.0. Se modeló el bioproceso por medio del simulador COCO para evaluar las variables que lo afectan y se aplicó el ciclo PHVA como metodología para optimizarlo. Mediante este bioproceso fermentativo se logra la producción de 0,025 UE celulasas/mL a los 20 días de incubación.

Palabras clave: Bagazo de caña, celulasa, *Aspergillus Niger*.

ABSTRACT

In this work it is proposed to take advantage of cane bagasse, considered one of the main agri-food residues of the sugar industry, as a support and substrate in a controlled fermentation bioprocess to obtain the enzyme cellulase, through the cellulite action of the fungus *Aspergillus Niger*, to later use it in the production of Bioethanol and other industrial processes. The bioprocess was carried out in a packed reactor, inside which the dried and sterilized bagasse was arranged, previously cut, washed and treated alkaline with NaOH 1 M, then moistened with culture broth and inoculated using suspension of *Aspergillus Niger* spores at a rate of 1 l of suspension/4 kg of sterile bagasse; incubation was performed with constant aeration at 25 °C and pH 6.0. The bioprocess was modeled through the COCO simulator to evaluate the variables that affect it and the PHVA cycle was applied as a methodology to optimize it. Through this fermentative bioprocess, the production of 0.025 UE cellulases/mL is achieved after 20 days of incubation.

Keywords: Cane bagasse, cellulase, *Aspergillus Niger*.

INTRODUCCIÓN

El azúcar de caña ha sido tradicionalmente uno de los principales edulcorantes utilizados mundialmente a nivel doméstico e industrial. Tal como lo informó el FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS DEL AZÚCAR¹ (2023), Colombia se ubicó al cierre del año 2022 en el sexto lugar entre los países con mayor capacidad de producción de azúcar de caña a nivel mundial porque logró elaborar 2.094.742 toneladas de azúcar/año y moler 23.022.414 toneladas caña/año, por lo cual generó 6,5 millones de toneladas de residuos de bagazo caña/año.

Según la SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA² (2021), el bagazo considerado como el principal residuo de la agroindustria de la caña de azúcar, se utiliza como combustible de origen renovable para cogenerar de energía eléctrica, especialmente en las fábricas de azúcar que lo generan y se ubica en el tercer lugar de las materias primas utilizadas para la para la producción de papel y cartón en Colombia con una participación del 12.2%. ALZATE, Sara³ (2021), menciona que este residuo está compuesto en un 50% por celulosa, 25% por lignina y 25% por hemicelulosa; la unión de estos componentes y otros en menor proporción conforman lo que se conoce como biomasa lignocelulósica, la cual se considera un buen sustrato para la producción de enzimas extracelulares con actividades celulasas por acción del hongo filamentoso *Aspergillus Niger*. Las celulasas tienen importantes aplicaciones industriales entre las cuales se destaca la hidrólisis de biomasa lignocelulósica generando glucosa que posteriormente es fermentada para la producción de etanol, reconocido biocombustible a nivel mundial por ser sustentable. En este trabajo se describe detalladamente el bioproceso fermentativo para producción de celulasas, posteriormente se utiliza el simulador de procesos industriales COCO para evaluar las variables que lo afectan, considerando que los simuladores actualmente son una gran herramienta que viene evolucionando con éxito desde hace varios años y que ofrecen grandes ventajas a quienes la utilizan porque permiten desarrollar de forma virtual los bioprocesos que se tienen

planteados teóricamente, estudiar su comportamiento, analizar el impacto de las distintas variables que intervienen o para comparar diferentes alternativas de diseño e incluso escalar pruebas desarrolladas a nivel de laboratorio, sin incurrir en los altos costos y riesgos que implican la programación y ejecución de pruebas a escala industrial o real. Al final se describe la aplicación del ciclo PHVA como herramienta metodológica para la optimización del proceso productivo, considerando que los cuatro elementos que componen el ciclo permiten su mejora continua.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Construir una propuesta que permita aprovechar el bagazo de caña de azúcar para la obtención de celulasas, por la acción del hongo *Aspergillus Niger* mediante un proceso biotecnológico fermentativo en estado sólido, para la producción de bioetanol.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar optimización del bioproceso fermentativo de obtención de celulasas, con base en la información obtenida por medio del software de simulación de procesos industriales COCO

Aplicar el ciclo PHVA como herramienta para la optimización y el mejoramiento continuo de este proceso que permite la obtención de celulasas por medio de la acción del hongo *Aspergillus Niger*.

1. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

1.1 TIPO DE RESIDUO AGROALIMENTARIOS SELECCIONADO

El residuo agroalimentario seleccionado para realizar su aprovechamiento por medio de un proceso biotecnológico fue Bagazo de caña de azúcar, considerando que según el FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS DEL AZÚCAR⁴ (2023), en Colombia se generan alrededor de 6.5 millones de toneladas/año de este residuo, del cual se puede obtener celulasas.

Tal como lo menciona Arja⁵ (2007), las celulasas son enzimas que se utilizan para procesos industriales de producción de Bioetanol, productos para nutrición animal, en la industria textil, entre otros.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN:

El proceso de producción de celulosa por la acción del hongo *Aspergillus Niger* utilizando bagazo de caña azúcar como soporte y sustrato, se realiza mediante las tres operaciones unitarias, cuyas principales características se describen a continuación:

1.2.1 PRETRATAMIENTO (CORTE Y LIMPIEZA ALCALINA)

Llenque et al.⁶ (2015), relata que esta actividad consiste en acondicionar el bagazo de caña para su posterior inoculación en el reactor. Teniendo como base de cálculo 1 kg de bagazo, se inicia la operación con dos lavados consecutivos, utilizando agua corriente, posteriormente se realiza el corte del bagazo hasta alcanzar trozos de 5 x 10 mm, luego se agrega 100 mL de solución de NaOH 1,0 M; seguidamente se calienta constantemente la mezcla por espacio de 30 minutos, a temperatura de

ebullición; luego se enjuaga con agua estéril por cinco veces, y se escurre para después calentarlo a 60°C por espacio 10 horas y finalmente guardarlo en frasco de vidrio, color ámbar, estéril.

1.2.2 REACTIVACIÓN DEL CULTIVO Y PREPARACIÓN DEL INÓCULO

Según Llenque et al⁷ (2015), esta operación tiene como objetivo activar el cultivo microbiológico y acondicionarlo, para posteriormente inocular el sustrato. Se logra sembrando el cultivo en agar celulosa e incubándolo a 30°C por 72 horas; posteriormente se prepara una suspensión de esporas con solución salina fisiológica estéril equivalente a una concentración final de $9,0 \times 10^8$ esporas/mL.

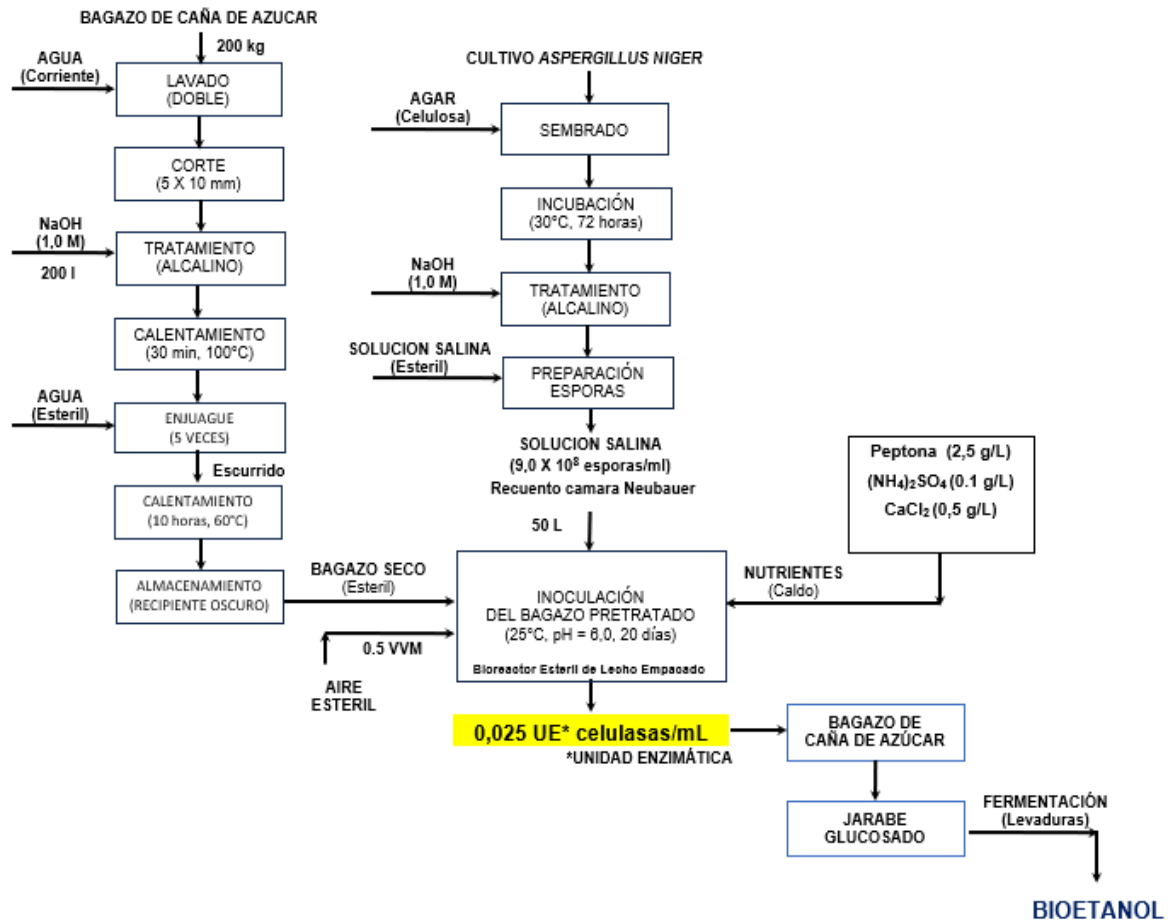
1.2.3. INOCULACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, UTILIZADO COMO SOPORTE Y SUSTRATO

Es operación, conforme a ensayo realizado por Llenque et al⁸ (2015), consiste en inocular 250 mL de esporas a 1 kg de bagazo pretratado dispuesto en el interior del biorreactor; posteriormente se adiciona por aspersion caldo base de nutrientes (Peptona 2,5 g/L; (NH₄)₂SO₄ 0,1 g/L; CaCl₂ 0,5 g/L; Mg SO₄ 0,5 g/L; NaCH₃COO 50 mM; pH 6,0); luego se inyecta aire estéril a razón de 0.5 VVM y se incuba a temperatura ambiental (23-25 °C).

1.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN:

La producción de celulasa utilizando bagazo de caña como sustrato y cepas de *Aspergillus Niger* se resume en el diagrama que se muestra en la figura N°1.

Figura 1. Diagrama de flujo producción de celulasa por la acción del hongo *Aspergillus Niger* utilizando bagazo de caña



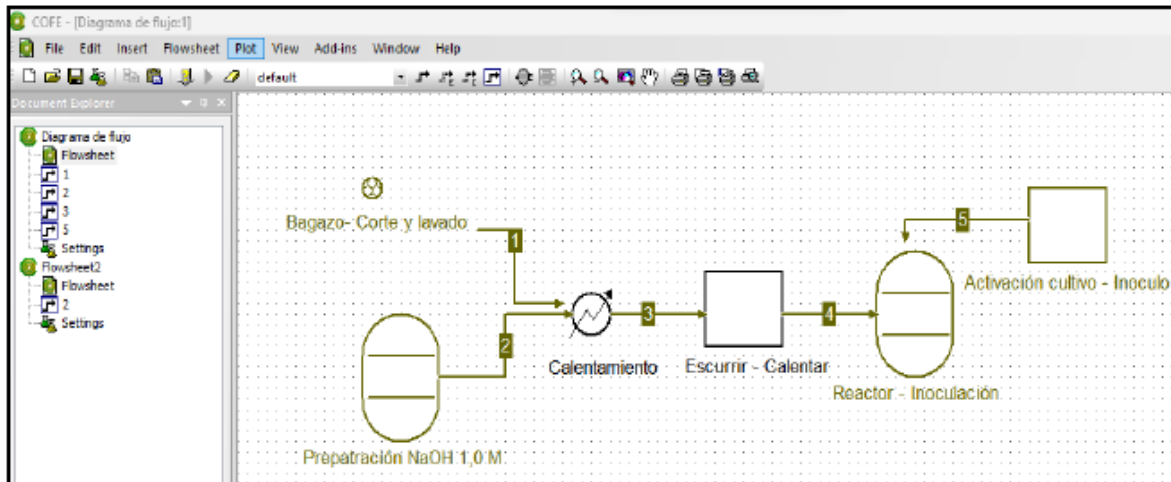
Fuente: Elaboración propia

1.4 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SIMULACIÓN:

Para la simulación producción de celulasa utilizando bagazo de caña como sustrato y cepas del hongo: *Aspergillus Niger*, se utilizó el simulador COCO tal como se muestra en la figura 2, en la cual se configuraron 3 equipos entre los cuales se

encuentra un tanque para preparación del agente alcalino NaOH, un calentador para el bagazo y un reactor tanque utilizado para la inoculación e incubación del hongo.

Figura 2. Flujograma del proceso de transformación del bagazo de caña para obtener celulasas, utilizando el simulador de Procesos Industriales - Simulador COCO



Fuente: Software COCO

1.5 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO:

En términos generales, los hongos al igual que otros microorganismos son sensibles a grandes cambios en las condiciones ambientales de crecimiento, tales como intensidad en la iluminación, temperatura, humedad, pH, por lo cual se debe tener especial cuidado en las modificaciones que se realicen a la temperatura y pH, asegurando que los cambios programados en estas variables de estudio se realicen en pequeñas unidades, es decir, los cambios de temperatura no deben exceder los 5 °C, de tal forma que se logre observar adecuadamente la respuesta ante cada nueva condición ambiental a la cual es sometido. También es importante considerar que las altas temperaturas pueden afectar directamente la humedad del sustrato.

Para este caso de estudio que contempla el crecimiento del hongo *Aspergillus Niger* la temperatura de incubación se puede afectar por las siguientes causas:

1.5.1 FALLAS EN EL SISTEMA DE AIREACIÓN:

Estas fallas pueden ocurrir por corte del fluido eléctrico en el lugar donde se instale el reactor, también por daño o deficiencia del ventilador utilizado para suministrar la cantidad de aire necesario que permita controlar la temperatura establecida para el normal funcionamiento del proceso.

1.5.2 INTERFERENCIAS AMBIENTALES:

Estas son ocasionadas por las variaciones de temperatura del medio ambiente en el cual se instale el reactor

1.6 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO:

La optimización del proceso de producción de celulasa por la acción del hongo *Aspergillus Niger* utilizando bagazo de caña azúcar se realiza aplicando los cuatro elementos del del ciclo PHVA que se describen de la siguiente forma:

Planificar: Este elemento del ciclo permite determinar y prever todos los recursos necesarios en cada una de las etapas de la obtención de la enzima celulasa utilizando bagazo de caña, mediante fermentación por medio de la acción del hongo *Aspergillus Niger*, así:

Para la etapa de pretratamiento del bagazo se debe planificar lo siguiente:

- Cantidad de bagazo a pretratar
- Cantidad de lavados a realizar y tipo de agua que se utilizará para lavar el bagazo
- Como realizar el corte del bagazo y el tamaño de los trozos requeridos
- Cantidad y concentración de NaOH que se utilizará
- Tiempo requerido para realizar el pretratamiento del bagazo con NaOH
- Temperatura máxima utilizada durante el pretratamiento
- Tipo de agua y cantidad de enjuagues que se realizarán al bagazo pretratado
- Recipiente que se utilizará para escurrir el bagazo
- Recipiente por utilizar para secar el bagazo
- Temperatura por utilizar para secar el bagazo
- Tiempo requerido para secar el bagazo
- Recipiente requerido para guardar el bagazo

Para la etapa de reactivación del cultivo y preparación del inóculo se debe planificar lo siguiente:

- Tipo de medio a utilizar para sembrar el cultivo
- Temperatura y Tiempo de incubación del cultivo de *Aspergillus Niger*
- Concentración de la suspensión de esporas a preparar después de la inoculación

Para la etapa de inoculación del sustrato se debe planificar lo siguiente:

- Volumen de esporas a inocular

- Cantidad de bagazo pretratado a inocular
- Tamaño y forma del biorreactor a utilizar
- Cantidad y composición del caldo base de nutrientes a utilizar
- Forma para aplicar el caldo base de nutrientes
- Tipo de aire y flujo requerido para incubar
- Temperatura de incubación.

Hacer: En este elemento del ciclo se efectúan las tres etapas programadas para obtención de la enzima celulasa utilizando bagazo de caña, mediante fermentación por medio de la acción del hongo *Aspergillus Niger*, es decir: Pretratamiento, Reactivación del cultivo e Inoculación del sustrato; asegurando que se realice el control adecuado de todas las variables, especialmente las variables críticas establecidas, tales como: temperatura, tiempo, cantidad y concentración de productos químicos utilizados, adicionalmente se documentan los resultados obtenidos y las observaciones relevantes en cada una de las etapas.

Verificar: En este elemento del ciclo se comparan los resultados referentes a la obtención de la enzima celulasa utilizando bagazo de caña, mediante fermentación por medio de la acción del hongo *Aspergillus Niger*, contra los resultados esperados para cada una de las etapas: Pretratamiento, Reactivación del cultivo e Inoculación del sustrato.

Actuar: En este elemento se documentan las posibilidades de mejora al proceso de obtención de la enzima celulasa utilizando bagazo de caña, mediante fermentación por medio de la acción del hongo *Aspergillus Niger* y/o las posibles causas de las desviaciones que se presentaron en este proceso productivo, lo cual servirá de base para reiniciar nuevamente el ciclo con la fase de planificación de las nuevas acciones a tomar y estimando los nuevos resultados que se esperan.

2. INFOGRAFÍA.

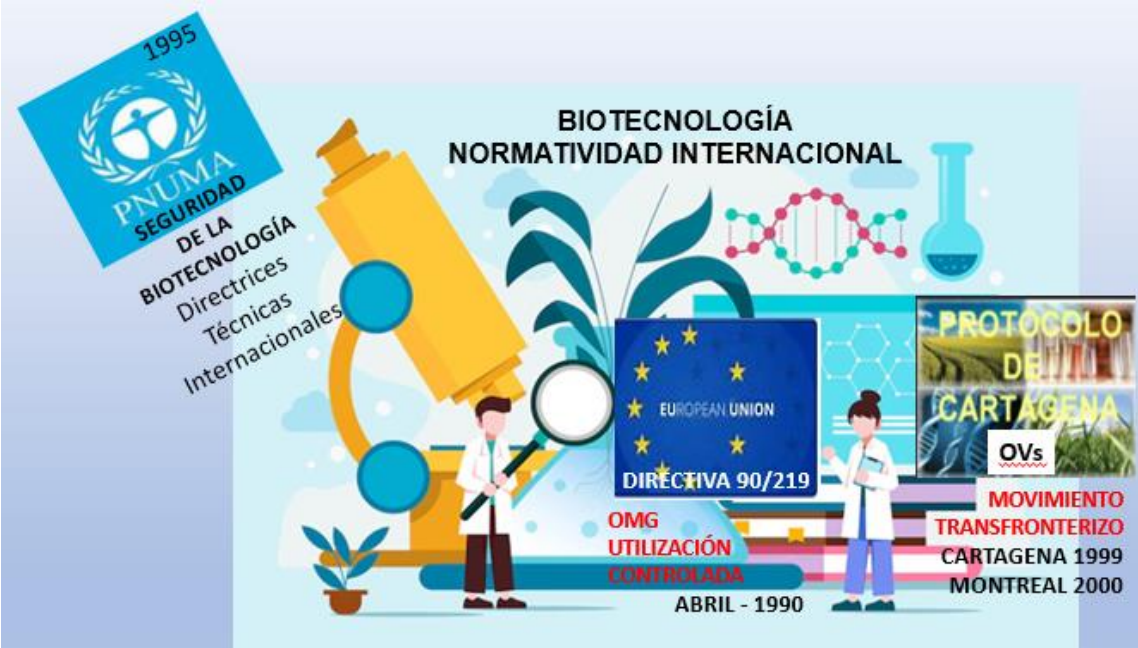
Como resultado de la revisión de la normatividad nacional e internacional vigente en el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos, se desarrolló la infografía que se observa en las figuras 3 y 4

Figura 3. Infografía: Políticas públicas nacionales para aprovechamiento de residuos agroalimentarios



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Infografía: Políticas internacionales para aprovechamiento de residuos agroalimentarios



Fuente: Elaboración propia

3. PERTINENCIA Y VIABILIDAD DEL PROYECTO

Las agroindustrias azucareras, también conocidas comúnmente como Ingenios azucareros generan grandes volúmenes de residuos sólidos, los cuales deben ser manejados adecuadamente para evitar la contaminación de los recursos agua, aire y suelo. El bagazo es un residuo generado en la primera etapa del primer proceso fabril conocido como extracción de jugo, en el cual se hace pasar la caña de azúcar a través de un conjunto secuencial de molinos automatizados, en este proceso también se extraen impurezas orgánicas y minerales propias de la caña y/o provenientes del suelo del cultivo.

La Sociedad de Agricultores de Colombia ⁹ (2021), informó que Colombia fue en el año 2022 el sexto país productor mundial de azúcar de caña; en la actualidad la agroindustria azucarera colombiana, constituida por 13 ingenios azucareros, genera al año aproximadamente 6.5 millones de toneladas de bagazo, de las cuales 5.5 millones de toneladas son utilizadas como combustible de origen renovable para cogenerar energía eléctrica, por medio de plantas termoeléctricas acondicionadas en el interior de sus instalaciones fabriles, el resto del bagazo se utiliza para la producción de papel y cartón. Conforme a la información suministrada por la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI, el bagazo de caña de azúcar se ubica en el tercer lugar de las materias primas utilizadas para la producción de papel y cartón en Colombia con una participación del 12.2%, antecedida en primer lugar por la fibra obtenida mediante procesos industrializados de reciclaje de los residuos de papel, la cual representa el 60.81% de la materia prima, y por la fibra procedente de árboles sembrados a manera de bosques renovables, principalmente de pino la cual ocupa el segundo lugar, con una participación del 26.7%.

La caña de azúcar es el principal producto agrícola del Valle del Cauca, adicionalmente el bagazo es considerado como uno de los principales residuos

agroalimentarios en estado sólido, generados por las industrias azucareras instaladas en Colombia, las cuales en su mayoría se ubican en el valle geográfico del Río Cauca. El FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS DEL AZÚCAR¹⁰ (2023) reportó moliendas de 22.872.461 toneladas de caña de azúcar durante el año 2021 y 23.002.414 toneladas para el año 2022.

Según LAGOS, Elizabeth¹¹ (2019), varios trabajos científicos han demostrado que los subproductos de la agroindustria del azúcar de caña se convierten en una muy buena alternativa para la obtención de productos para la nutrición animal utilizando diversas tecnologías, sin embargo, es muy importante profundizar en la investigación de la degradabilidad de la materia seca que contienen, por medio de procesos químicos, físicos y biológicos.

ALZATE, Sara¹² (2021), menciona que el bagazo de caña de azúcar está compuesto en 50% por celulosa, 25% por lignina y 25% por hemicelulosa, la unión de estos componentes y otros en menor proporción conforman lo que se conoce como biomasa lignocelulósica, la cual se considera un buen sustrato para la producción de celulasas por acción celulítica del hongo *Aspergillus Niger*.

La producción de celulasa utilizando bagazo de caña como soporte y sustrato mediante cepas de *Aspergillus Niger* se convierte en una valiosa alternativa para la producción de bioetanol considerado un combustible de fuente renovable, tanto en el Valle del Cauca, por el gran volumen de residuos de bagazo que genera la industria azucarera, como en otras regiones del país, en las cuales se dificulte el transporte de este residuo hacia las plantas de fabricación de papel, las cuales para el caso del Valle del Cauca consumen cerca del 85% para transformarlo en cartón y papel.

4. CONCLUSIONES

El aprovechamiento biotecnológico de los residuos agroalimentarios se ha convertido en una gran preocupación para la mayoría de los gobiernos a nivel mundial. En Colombia, como en la mayoría de los países emergentes, las brechas en este tema aún son muy grandes, por ello es necesario continuar aportando conocimiento desde la industria y la academia, con el fin de seguir avanzando en temas de interés común para humanidad, tales como: La seguridad alimentaria, la economía y el medio ambiente.

Es importante seguir avanzando en investigaciones que permitan llevar a escala industrial la transformación de residuos agroindustriales lignocelulósicos en bioalcohol, por medio de procesos biotecnológicos, considerando que bajo estas condiciones el alcohol es un combustible proveniente de fuentes renovables y que por tal razón su producción se alinea a la tendencia mundial de encontrar alternativas que permitan evitar la dependencia de los combustibles fósiles que tiene actualmente la economía mundial.

5. DEPÓSITO EN EL REPOSITORIO DE LA UNAD

El depósito del este documento en el repositorio institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia se evidencia medio de la siguiente imagen:



6. BIBLIOGRAFÍA

1. FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS DEL AZÚCAR. Balance azucarero mensual colombiano Asocaña 2000 - 2023 (toneladas). {En línea}. Santiago de Cali; [Consultado: julio de 2023]. Disponible en: <http://www.fepa.com.co/modules/documentos/10662.aspx>
2. SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA. La agroindustria azucarera busca nuevas fuentes para generar energía, así como obtener otros productos a partir del bagazo. En: Revista Nacional de Agricultura. {En línea}. Julio, 2021, Ed 1016. [Consultado: septiembre de 2023]. Disponible en: <https://sac.org.co/asocana-el-bagazo-de-cana-ayuda-a-la-seguridad-energetica-nacional/>
3. ALZATE, Sara *et al.* Residuos agroindustriales como sustratos para la producción de biomasa fúngica: enfoque en bagazo de caña. En: *Mente joven*. {En línea}. 2021, vol. 10, p. 204. [Consultado: septiembre de 2023]. Disponible en: https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/mente_joven/article/view/9851/8924
4. FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS DEL AZÚCAR, op. Cit, p.1
5. ARJA, miettinen. Cellulases in the textile industry. En: MACHOVIC, Martín *et al.* In *Industrial enzymes*. 1 ed. Springer Dordrecht, 2007. p. 51-63.
6. LLENQUE, Luis *et al.* Producción de celulasas por *Aspergillus Niger* a partir de bagazo de caña de azúcar en biorreactor aireado. En: *Ciencia y Tecnología*. {En línea}. 2015, nro 4. , p. 39-49. [Consultado: septiembre de

2023].

Disponible

en:

<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1151/1090>

7. Ibíd. p. 39

8. Ibíd. p. 42

9. SOCIEDAD DE AGRICULTORES DE COLOMBIA, op. cit. p.2

10. FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS DEL AZÚCAR, op. cit. p.2

11. LAGOS, Elizabeth. Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes: Revisión Bibliográfica. En: Agronomía mesoamericana. {En línea}. 2019, vol. 30, p. 929. [Consultado: septiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v30n3/2215-3608-am-30-03-00917.pdf>

12. ALZATE, Sara *et al.*, op. cit. p.

7. VÍNCULO PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto fue sustentado por medio de presentación en Power Point y se puede observar abriendo el siguiente vínculo:

<https://www.youtube.com/watch?v=nuPdcNPLS4c>