

APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ MEDIANTE PROCESOS  
BIOTECNOLÓGICOS PARA LA OBTENCIÓN DE NUEVO PRODUCTOS

GLORIA MARCELA GIRALDO FRANCO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA  
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y  
BIOMATERIALES  
MEDELLÍN  
2020

APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ MEDIANTE PROCESOS  
BIOTECNOLÓGICOS PARA LA OBTENCIÓN DE NUEVO PRODUCTOS

GLORIA MARCELA GIRALDO FRANCO

Trabajo presentado como requisito para alcanzar el título de Especialización en  
Procesos de Alimentos y Biomateriales.

Asesor  
Andrea Vásquez García  
Ingeniera agroindustrial  
Magister y Doctora en ingeniería de alimentos

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA  
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y  
BIOMATERIALES  
MEDELLÍN  
OCTUBRE DE 2020

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Medellín, 19 Octubre de 2020

## CONTENIDO

	pág.
Resumen	6
Palabras claves	6
Abstract	7
Keywords	7
Introducción	8
1. Planteamiento del problema	9
2. Justificación	10
3. Objetivos	11
3.1. Objetivo general.	11
3.2. Objetivos específicos	11
4. Consolidado fase 2 y fase 3.	12
4.1. Residuo agroalimentario.	12
4.2. Proceso de transformación.	13
4.3. Diagrama de flujo del proceso de transformación	14
4.4. Diagrama de flujo para simulación	15
4.5. Variables que afectan el proceso	15
4.6. Metodología para optimización del proceso	16
5. Infografía normatividad nacional	19
6. Pertinencia y viabilidad del proyecto	21
7. Conclusiones	23
Bibliografía	24
Glosario	25

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Flujograma de proceso – Fermentación en estado sólido.....	14
Figura 2. Simulación proceso de fermentación .....	15
Figura 3. Infografía .....	19

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se realizó una consolidación de una propuesta para el desarrollo de un proceso biotecnológico a partir del aprovechamiento de la pulpa de café, se hizo un análisis de la política pública nacional, la normatividad, y las necesidades de la región del oriente antioqueño, identificando la pulpa de café, como un recurso agroalimentario de potencial aprovechamiento; posteriormente se identificaron las operaciones unitarias y se estableció que el proceso de fermentación en estado sólido era apropiado para el tipo de residuo seleccionado; posteriormente se planteó un diagrama de flujo y se realizó un proceso de simulación, el cual permitió comprender, estudiar e identificar las potencialidades y dificultades para llevar a cabo el proceso de fermentación en estado sólido a nivel industrial; de este proceso se interpretaron los resultados que permitieran tomar decisiones en un contexto real, y por último se identificaron y aplicaron herramientas para la optimización de procesos biotecnológicos, que permitieron predecir el comportamiento de las variables de proceso en un amplio rango, para encontrar las condiciones óptimas de dichas variables y determinar el adecuado aprovechamiento del residuo en mención.

## **PALABRAS CLAVES**

Datos, Diagramas, Sistemas, Modelos, Reingeniería, Diseño, fermentación, lacasa, residuos, enzima, pleurotus, simulador

## **ABSTRACT**

In this work, a consolidation of a proposal for the development of a biotechnological process from the use of coffee pulp was carried out, an analysis of national public policy, regulations, and the needs of the eastern Antioquia region was made, identifying the coffee pulp, as an agri-food resource of potential use; later the unit operations were identified and it was established that the solid state fermentation process was appropriate for the type of waste selected; Subsequently, a flow diagram was proposed and a simulation process was carried out, which allowed us to understand, study and identify the potentialities and difficulties to carry out the solid state fermentation process at an industrial level; From this process, the results that allowed making decisions in a real context were interpreted, and finally tools were identified and applied for the optimization of biotechnological processes, which allowed predicting the behavior of the process variables in a wide range, to find the conditions optimal use of said variables and determine the appropriate use of the waste in question.

## **KEYWORDS**

Data, Diagrams, Systems, Models, Reengineering, Design, fermentation, laccase, residue, enzyme, pleurotus, simulator

## INTRODUCCIÓN

Los procesos productivos han venido experimentando un avance considerable desde hace algunas décadas. La investigación de operaciones se ha convertido en una herramienta muy utilizada en las empresas debido a las características que presenta y al apoyo matemático que emplea. Diversos son los factores que hacen que los procesos productivos se desenvuelvan rápidamente y que llevan a las industrias a optimizarlos; entre estos se incluyen el aumento de la demanda de productos, la fuerte competencia caracterizada por la elevada variabilidad de los precios, las restricciones de productos, los elevados costos de producción, la escasez de recursos naturales, entre otros.

Es necesario aclarar que la optimización de procesos no implica operar utilizando su capacidad máxima, sino en el punto que genere la mayor utilidad posible. Por ello, se están estudiando y consolidando sofisticados métodos y estrategias de optimización, control y automatización de procesos que buscan explotar el máximo potencial de las unidades involucradas (Peña, 2015).

La fermentación en estado sólido FES para la pulpa de café es un bioproceso que permite obtener una gran cantidad de compuestos de interés y que plantea un reto para los investigadores por las limitaciones en la transferencia de calor y masa, la estimación de la biomasa microbial y la extracción de compuestos de interés del sustrato sólido (Zapata, 2016).

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La generación de residuos en la industria agroalimentaria es inminente y de grandes proporciones año tras año, lo cual se ha convertido no solo en problemas de tipo ambiental, sino en un desafío para las agroindustrias, que buscan aprovechar y optimizar mediante diferentes técnicas, el uso de dichos residuos.

Para la industria del café, la situación no es diferente, y del proceso primario del beneficio del café, se obtiene una gran cantidad de pulpa, la cual estaría alrededor de 394 gr por cada kilogramo de café cereza (Valencia N. R., 2000); esto se convierte en una fuente de contaminación al agua, al aire y al suelo.

Dicha pulpa está compuesta químicamente por una gran cantidad de sustancias útiles para ser aprovechadas en diferentes industrias y se hace necesario perfeccionar los desarrollos biotecnológicos y llevarlos a los productores en el territorio.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Colombia es un país netamente agropecuario, con una diversidad de productos distribuidos por todo el territorio nacional; tradicionalmente la comercialización de estos productos es a través de los mercados mayoristas, que a su vez se convierten en los mayores generados de desperdicios, principalmente de productos agrícolas, debido a los procesos de manipulación, transporte y distribución de ellos mismos. De acuerdo con un análisis del Ministerio de minas y energía, la producción de biomasa residual Agrícola y pecuario es de 279.333.596 T/año. La biomasa agrícola proviene de cultivos como palma, caña, café, maíz, arroz, banano, plátano, y la biomasa pecuaria de bovinos, porcinos y avícola (Villanueva, 2018); esta situación se refleja en todos los eslabones de la cadena productiva, lo que genera un reto importante para la industria, en el aprovechamiento de los residuos agroalimentarios.

Si analizamos los residuos que se producen en las diferentes agroindustrias, encontramos, por ejemplo, que en la industria del fique se utiliza solamente el 2% de la biomasa producida, en la industria de la cerveza solamente el 8% de los nutrientes del grano, y en las industrias del aceite de palma y de la celulosa se utiliza menos del 9% y 30%, respectivamente, de la biomasa producida (Valencia N. R., 2000)

Para el caso de la industria del café, solamente se utiliza el 9.5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, y el 90.5% queda en forma de residuo. (Valencia N. R., 2000)

Siendo consciente de la cantidad de residuos generados por la industria de café, especialmente desde el proceso de beneficio y conociendo el potencial de aprovechamiento, específicamente de la pulpa de café, se establece el interés por identificar un proceso biotecnológico que permita evaluar la pertinencia y viabilidad para la obtención de subproductos de interés en la industria, a partir de procesos de fermentación en estado sólido, y mediante el uso de herramientas de simulación y optimización de procesos con el fin de establecer las mejores condiciones de trabajo, reducir u optimizar costos y medir la eficiencia que conlleve a la toma de decisiones a nivel industrial

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General.**

Seleccionar un proceso biotecnológico para el aprovechamiento de la pulpa de café como residuo agroalimentario de interés para el oriente antioqueño.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

Identificar las necesidades regionales frente al aprovechamiento de la pulpa de café, mediante el análisis de la política pública y la normatividad.

Proponer un proceso biotecnológico para el aprovechamiento de la pulpa de café mediante la identificación de las diferentes operaciones unitarias.

Simular el proceso biotecnológico para el aprovechamiento de la pulpa de café mediante el uso de la herramienta SuperPro designer y el análisis de las variables de proceso

Identificar herramientas para la optimización del procesos biotecnológicos que permita viabilizar el aprovechamiento de los residuos agroalimentarios.

## 4. CONSOLIDADO FASE 2 Y FASE 3.

### 4.1. Residuo Agroalimentario.

El café es uno de los principales productos de origen agrícola comercializados en los mercados internacionales. Es la segunda materia prima más comercializada en el mundo, sólo detrás del petróleo. Se estima que la producción mundial del año sea de 127 millones de sacos. (Oduardo, Savón, Pérez, Rodríguez, & Ansoumane, 2010).

En Colombia, la actividad cafetera ha representado un eslabón muy importante en la economía nacional. A pesar de las crisis que han sido representadas en altos costos de producción y los bajos niveles de cosecha, el café continúa siendo un eje articulador relevante en el desarrollo rural del país.

A pesar de la importancia económica de este producto para el país, en las diferentes etapas del proceso productivo del café se generan alrededor de 784.000 toneladas/año de biomasa residual, que incluyen el mucilago, la pulpa, cascarilla, entre otros, dado que solo se aprovecha el 5% del peso del fruto para la preparación de la infusión. (Jiménez, Valenzuela, Cortínez, & Sandoval, 2018)

La pulpa es el primer producto que se obtiene en el procesamiento del fruto de café, y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco. El promedio de la producción de pulpa es de 2,25 t/ha-año (27, 28). Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se generan 162.900 t de pulpa fresca, que si no se utilizan adecuadamente producirían una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 868.736 habitantes. (Valencia & Franco, 2010)

El alto volumen de residuos puede constituir un problema ambiental, teniendo en cuenta que en muchos casos se vierte a cuerpos de agua, por lo cual los microorganismos presentes van a hacer una demanda mayor de oxígeno para su descomposición, y generan de esta manera asfixia de la biota acuática.

En estos residuos se pueden encontrar compuestos bioactivos como son proteínas y azúcares, que pueden causar fermentación de los cuerpos de agua. Así como taninos, alcaloides y polifenoles que son de difícil degradación biológica.

La pulpa de café está compuesta por proteína (7.5–15.0%), grasa (2.0–7.0%) y carbohidratos (21–32%), y estos pueden usarse como materia prima para nuevos procesos, a través de la extracción de estos componentes. (Jiménez, Valenzuela, Cortínez, & Sandoval, 2018)

Su composición química rica en azúcares, presenta potencialidades que son atractivas para ser empleadas como materia prima en diferentes procesos o tecnologías de fermentación en estado sólido como son: producción de bioabono, producción de biogás, alimento animal, y como sustrato puro o mezclado en la producción de setas comestibles. Estas tecnologías permiten utilizar un sustrato disponible y barato, eliminar la contaminación y a su vez generar beneficios en el orden económico, social y ambiental. (Oduardo, Savón, Pérez, Rodríguez, & Ansoumane, 2010)

#### **4.2. Proceso de transformación.**

La fermentación en estado sólido presenta un gran potencial para nuevas aplicaciones mediante el uso de residuos agroindustriales, cuya generación se encuentra en aumento debido al crecimiento de la industria. La utilización de estos residuos como sustratos y su posterior conversión en productos de valor agregado genera la necesidad de modelar y simular procesos de fermentación sólida. (CANO, 2019)

El uso de dichos simuladores presenta una alternativa para describir los procesos de fermentación tratando de identificar situaciones ideales o modelando características particulares de acuerdo con el sustrato y el microorganismo.

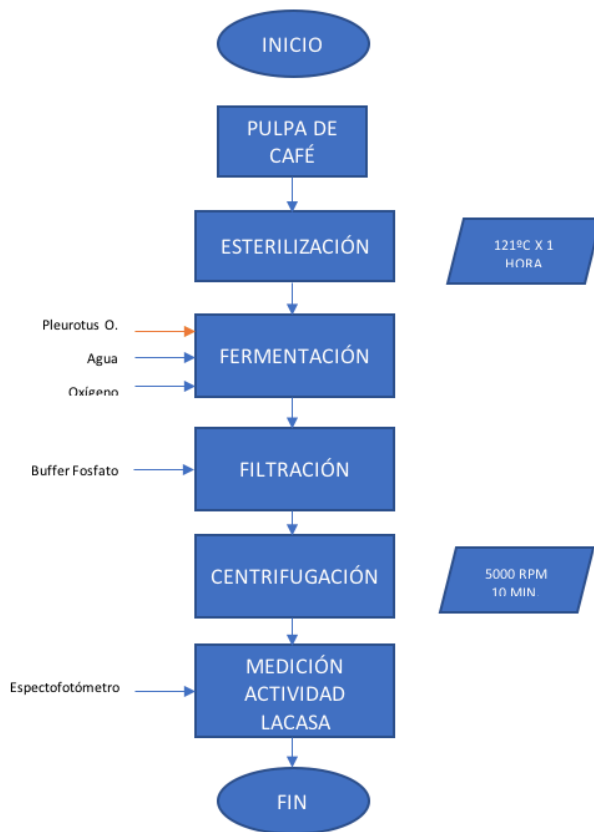
Para el caso de estudio, del aprovechamiento de la pulpa de café mediante fermentación en estado sólido; se revisó el uso del hongo *Pleurotus* spp, el cual pertenece a los hongos basidiomicetos, que son capaces de producir una extensa despolimerización-mineralización aerobia de la lignina y estructuras relacionadas, por lo que poseen la capacidad de degradar diversos compuestos, al tener un sistema enzimático ligninolítico extracelular de baja especificidad. De todas ellas, las lacasas, son las más prometedoras para actuales y futuras aplicaciones industriales; por ser producidas constitutivamente, ser estables bajo diferentes condiciones, y por su capacidad de catalizar la reacción de reducción de oxígeno molecular a agua, acoplada a la oxidación de diferentes sustratos como pueden ser fenoles, aminas, ligninas y otros compuestos inorgánicos. (Oduardo, Savón, Suarez, Toledano, & Gaime, 2017).

### 4.3. Diagrama de flujo del proceso de transformación

El siguiente flujograma corresponde al uso de la pulpa de café como sustrato para la producción de enzimas ligninolíticas extracelulares, específicamente la enzima lacasa, por fermentación en estado sólido (FES), empleando una cepa de *Pleurotus ostreatus*. (Oduardo, Savón, Pérez, Rodríguez, & Ansoumane, 2010)

La enzima lacasa, es una enzima muy versátil, ya que pueden ser utilizada en un gran número de aplicaciones industriales como el blanqueamiento de la pasta de papel en la industria papelera, la degradación de compuestos xenobióticos presentes en efluentes contaminados, la producción de fármacos o como biosensor de compuestos fenólicos en la industria alimentaria. (Fernández, 2013)

Figura 1. Flujograma de proceso – Fermentación en estado sólido

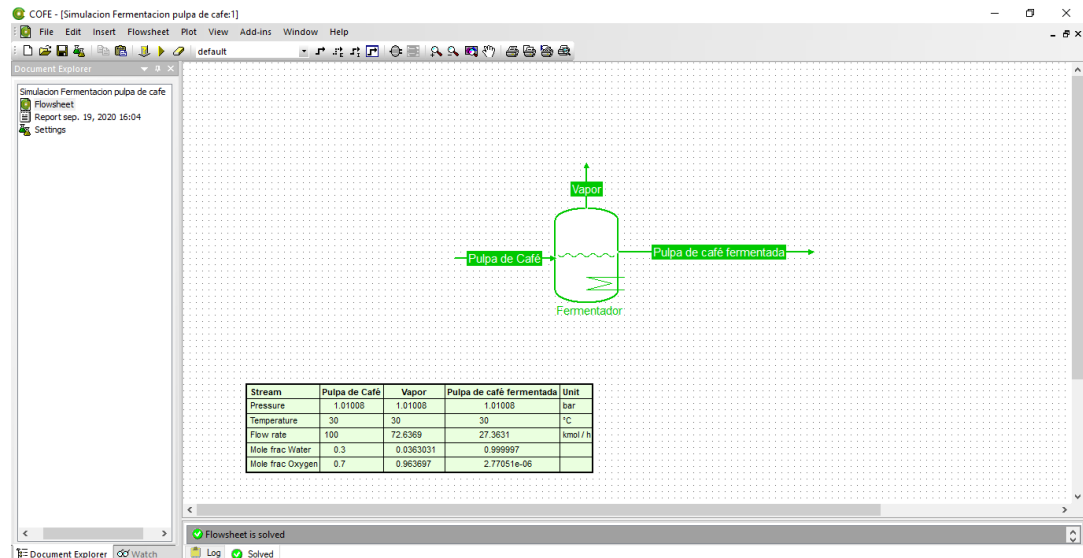


Fuente: Autoría propia

#### 4.4. Diagrama de flujo para simulación

Se realizó una simulación del proceso de fermentación en estado sólido de la pulpa de café con *Pleurotus Ostreatus*, las condiciones a las cuales se lleva a cabo la fermentación son: Temperaturas constantes, la temperatura se selecciona en función del microorganismo que se utiliza y de los productos que se generan durante su metabolismo. Para evitar el sobrecalentamiento del lecho y proporcionar el oxígeno requerido por el microorganismo, se debe suministrar una corriente de aire que se encuentre en contacto con la mayor superficie posible del sustrato. (CANO, 2019)

Figura 2. Simulación proceso de fermentación



Fuente: SuperPro Designer

#### 4.5. Variables que afectan el proceso

Los principales fenómenos de transporte involucrados en los procesos de fermentación en estado sólido son la transferencia de calor y masa. Se produce tanto un gradiente de temperatura, producto del calor metabólico generado por el crecimiento del microorganismo, como un gradiente de agua entre el lecho y el aire que ingresa al sistema.

Los fenómenos de transporte de masa y energía que ocurren dentro del biorreactor, influyen de manera significativa en el rendimiento del sistema, lo cual es útil para controlar su desempeño general. En el caso de la fermentación en estado sólido, el desempeño del sistema se evalúa en términos de crecimiento microbiano y producción de metabolitos de interés.

Estudios recientes han determinado que el aumento de temperatura es el factor limitante con mayor influencia en fermentaciones de lecho sólido por lo que, en varios modelos de fermentadores se prioriza el control de temperatura con respecto al suministro de oxígeno. (CANO, 2019)

El rendimiento de sustrato a biomasa depende de la facilidad con la que el microorganismo aprovecha el sustrato para su crecimiento, y se calcula a partir de datos experimentales referidos a biomasa producida y sustrato consumido. También es muy importante tener presente que puede haber un incremento de la temperatura en el biorreactor, debido a la combinación del calor generado por el metabolismo de la biomasa, el calor cedido al aire mediante convección y el calor latente producto del arrastre de agua hacia la corriente de aire. Dada esta situación se sugiere tener en cuenta las dimensiones del biorreactor para llevar a cabo el proceso de fermentación en estado sólido, ya que puede impedir el enfriamiento adecuado, es decir, el calor generado por el metabolismo supera al removido por el aire provocando incluso la muerte térmica de los microorganismos. (CANO, 2019)

Al final del proceso, se puede evidenciar la estrecha relación que se tiene entre la temperatura del proceso y los fenómenos de transporte de agua en el mismo. Es por ello que mantener la humedad dentro del fermentador y proveer al entorno una temperatura adecuada son dos de los criterios fundamentales para la fermentación en estado sólido. (CANO, 2019)

#### **4.6. Metodología para optimización del proceso**

La fermentación en estado sólido (FES) es entendida como un proceso que mejor imita el hábitat natural de la mayoría de los microorganismos, los cuales pueden desarrollarse con el manejo de los parámetros de manera efectiva, para la producción de metabolitos secundarios. Se ha presentado algunas ventajas especialmente en escala de laboratorio, tales como alta productividad en la fermentación, alta concentración y estabilidad de productos finales, menor represión catabólica, cultivo de microorganismos especializados, entre otras. (Zapata, 2016)

La modelación matemática para la fermentación en estado sólido es la búsqueda de expresiones matemáticas que representen un sistema en consideración, en las que se establezcan las relaciones o funciones entre variables que caractericen el sistema. Esto se hace con el objeto de cerciorarse de la validez del sistema para establecer diferentes parámetros que caractericen un proceso particular y encontrar mecanismos apropiados para desarrollar y controlar el proceso. (Zapata, 2016)

Uno de los modelos ampliamente utilizados en la fermentación en estado sólido (FES) es el modelo logístico. Este modelo empírico se utiliza con más frecuencia que otros modelos empíricos para estudiar la cinética de crecimiento de FES. El modelo logístico representa los límites de crecimiento y no requiere las relaciones fenómenos de transporte, y se basa en el hecho de que el área de superficie disponible está limitada en el proceso de FES y la tasa de crecimiento de la biomasa depende de la biomasa máxima,  $X_m$ . Este modelo también asume que la velocidad de crecimiento específico ( $\mu_m$ ) durante la fase inicial logarítmica, no depende de la concentración del sustrato. (Zapata, 2016)

La ecuación diferenciada e integrada del modelo logístico se expresa como (1):

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m X \left(1 - \frac{X}{X_m}\right),$$

$$X = \frac{X_m}{1 + ((X_m) - 1) e^{-\mu t}} \cdot X_0, \quad (1)$$

donde  $X_0$  es la biomasa de microorganismos inicial.

Los tres parámetros del modelo logístico,  $X_0$ ,  $X_m$  y  $\mu_m$  pueden tener dependencia de la temperatura. La cantidad de inóculo al comienzo de la fermentación  $X_0$  es no dependiente de la temperatura, pero en la fase lag pasa a ser dependiente de la temperatura. (Zapata, 2016)

Los modelos de cinética de crecimiento pueden ser usados para desarrollar un modelo de biorreactor, con el objeto de describir las condiciones ambientales como temperatura y humedad, en función del tiempo, y predecir los cambios en el comportamiento de los microorganismos en esas condiciones.

Como consecuencia del calor generado por la respiración de los microorganismos, existe un gradiente de temperatura que no es fácilmente removible del fermentador. En algunas ocasiones se puede emplear agitación aunque no es lo más conveniente, por lo que se prefiere emplear la circulación forzada de aire o aireación a determinadas condiciones de humedad. Este proceso puede ocasionar pérdidas de humedad, lo que afecta el proceso de fermentación. (Zapata, 2016)

Una de las ecuaciones que describen el efecto de la temperatura en  $X_m$  y  $\mu_m$  en el modelo logístico (2), podría ser:

$$\mu_{max}(T) = \frac{A \exp\left(-\frac{\Delta H_1}{RT}\right)}{1 + k \exp\left(-\frac{\Delta H_2}{RT}\right)} \quad (2)$$

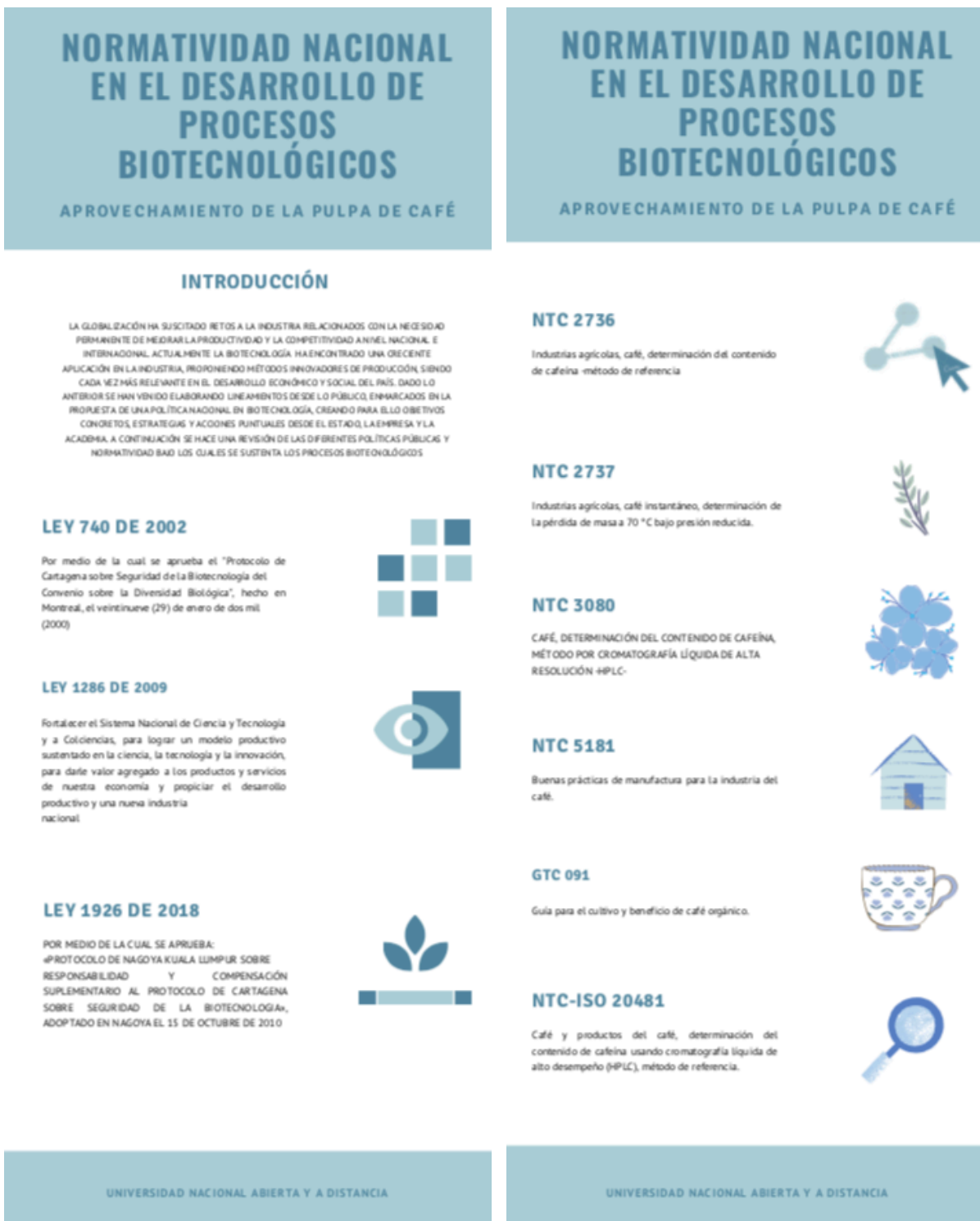
$\mu_m$ : velocidad máxima de crecimiento; A, k: constantes;  $\Delta H_1$ =reacción límite de entalpia de activación;  $\Delta H_2$ =reacción de inactivación de cambio de entalpia; R=constante universal de los gases (Zapata, 2016).

Variables influyentes en el proceso: Temperatura: 25 – 35°C. Cantidad de inóculo:  $1 \times 10^5$  –  $1 \times 10^8$ . Humedad entre 65-75%.

## 5. INFOGRAFÍA NORMATIVIDAD NACIONAL

En relación con la normatividad vigente para el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos, se realizó la infografía relacionada en la figura N° 3:

Figura 3. Infografía



# POLÍTICA PÚBLICA EN EL DESARROLLO DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ

## NTC 6046

Café verde, determinación del contenido de agua, método de referencia básica.



## PROGRAMA NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA - 1991

A TRAVÉS DEL CUAL SE FORTALECE LA CAPACIDAD CIENTÍFICA Y PROMUEVE EL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA



## CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL DE LA BIOTECNOLOGÍA Y LA PRODUCCIÓN LIMPIA – CORPODIB - 1996

Creado por Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional, Corpoica y el Instituto Nacional de Salud



## PLAN ESTRATÉGICO 1999-2004

Se definieron unas líneas programáticas de acción



## PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2006-2010

Desarrollo para Todos, en el cual se reconoce la necesidad de fortalecer el desarrollo de tecnologías genéricas como la biotecnología para mejorar los procesos productivos de diferentes sectores, facilitando el uso sostenible de los recursos biológicos y genéticos de la biodiversidad



## CONPES 3697

POLÍTICA PARA EL DESARROLLO COMERCIAL DE LA BIOTECNOLOGÍA A PARTIR DEL USO SOSTENIBLE DE LA BIODIVERSIDAD



# POLÍTICA PÚBLICA EN EL DESARROLLO DE PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ

## CONPES 3527

Se plantea la necesidad del diseño de una política para el aprovechamiento de los recursos genéticos para la agricultura y el desarrollo de la biotecnología en Colombia



## VISION 2019

SE RECONOCE LA NECESIDAD DE ESTABLECER LA BIOTECNOLOGÍA COMO UNA DE LAS PRIORIDADES EN EL CAMPO DE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN



## COLOMBIA CONSTRUYE Y SIEMBRA FUTURO 2008

Política de Fomento a la Investigación y la Innovación



## CONPES 3582

Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación: Se estableció, en la misma línea de la Política de Fomento a la Investigación y la Innovación, la necesidad de priorizar la biotecnología como una de las áreas estratégicas



PREPARADO POR:

Gloria Marcela Giraldo Franco

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

Fuente: Autoría propia

## 6. PERTINENCIA Y VIABILIDAD DEL PROYECTO

En la superficie de nuestro planeta alrededor de 155 billones de toneladas de materia orgánica son producidas mediante el proceso fotosintético, cada año (Valencia N. R., 2000). Sin embargo solamente una porción de esta materia orgánica es directamente comestible por el hombre y por los animales, y la mayoría de ella, no es comestible y en muchos casos se convierte en una gran fuente de contaminación ambiental.

Las pocas alternativas, desde el punto de vista económico, social y nutricional, que en la actualidad se presentan para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales, aunado a la falta de conciencia en la protección del medio ambiente provocan que estos sean mal manejados y se conviertan en fuentes de contaminación de los recursos naturales (suelo, agua y aire). (Valencia N. R., 2000)

En la zona cafetera Colombiana, durante la época de cosecha del fruto de café se presentan pérdidas de hojas, durante la fase de beneficio se genera pulpa y cuando se presenta renovación de los cafetales por zoqueo se presenta una buena disponibilidad de madera que usualmente es utilizada como combustible. Todos estos residuos generados se utilizan, normalmente, para la producción de abono orgánico. (Valencia N. R., 2000)

No obstante, la composición química de los residuos generados en la zona cafetera y de otros residuos que se generan en Colombia en el sector agrícola permiten que sean utilizados en el cultivo de hongos tropicales (Valencia N. R., 2000)

La producción mundial de hongos ha venido creciendo, principalmente el cultivo de los géneros Agaricus, Lentinula, Pleurotus y Auricularia. El gran valor proteínico de los géneros cultivados, aunado a su valor medicinal han hecho que estos hongos tengan un mercado abierto en el ámbito internacional y unos buenos precios de venta.

Las propiedades medicinales han sido reconocidas como el segundo atributo, en importancia, de los hongos comestibles, en los países orientales, tanto así que han aumentado las ventas de productos extraídos de hongos comestibles, como medicinas y tónicos (Valencia N. R., 2000).

Para el caso de este proyecto, se pretende extraer la enzima lacasa, por fermentación en estado sólido (FES), empleando una cepa de *Pleurotus ostreatus*, viabilizando la importancia de este estudio, y generando la necesidad de que cada vez más los países comiencen a producir hongos comestibles sobre sus residuos agroindustriales con el fin de satisfacer las necesidades nutricionales de su población y de aprovechar los principios activos que tienen varios géneros de interés (como es el caso de los géneros *Lentinula* y *Ganoderma*), para fines medicinales. (Valencia N. R., 2000)

No se oculta que convertir un residuo en un producto comercial, requiere un arduo trabajo, pero un material de desperdicio puede convertirse en valioso gracias a un proceso biotecnológico.

## 7. CONCLUSIONES

El estudio del aprovechamiento de los residuos agroalimentarios permite identificar diferentes procesos biotecnológicos para la obtención de nuevos productos de importancia para la industria.

Interactuar con simuladores de procesos permitió comprender la importancia de establecer parámetros de proceso y las diferentes posibilidades de ocurrencia del mismo.

Se logró identificar la importancia de la optimización de bioprocesos, reflejado en la disminución de costos y evaluación de las mejores condiciones de operación.

Consultar sobre diferentes herramientas de optimización de procesos permitió establecer que no solo existen aquellas relacionadas con la automatización, sino una gran cantidad de modelos matemáticos y estadísticos que nos arrojan datos de importancia y para toma de decisiones.

## BIBLIOGRAFIA

ALIMENTICIA, I. Robótica y automatización en plantas de alimentos. Industria Alimenticia, (2017). p5.

CANO, S. C. Simulación del proceso de fermentación en medio sólido con *Aspergillus Niger* para el diseño de un biorreactor tipo lecho empacado de 200 litros. Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. (2019). p10

FERNÁNDEZ, M. F. Inmovilización de lacasa: métodos y potenciales aplicaciones industriales. Vigo, España: Universidad de Vigo. (2013). p7

FERNANDEZ, M. R. Modelado e identificación de bioprocesos. Vigo: Universidad de Vigo. (2006). p3

GUTIERREZ, H. Capítulo 6: Herramientas Básicas para seis sigma. En Control estadístico de la calidad y seis sigma. Mexico: Mc Graw Hill. (2013). p3

JIMÉNEZ, J. S., VALENZUELA, L. T., CORTÍNEZ, K. M., & SANDOVAL, M. H. Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. Revista ION. (2018). p6.

MUÑOZ, C. Ibermática. Obtenido de Reingeniería de Procesos una herramienta al servicio de la mejora productiva: <https://www.ibermatica365.com/reingenieria-de-procesos-una-herramienta-al-servicio-de-la-mejora-productiva/>. (2019).

ODUARDO, N. G., SAVÓN, R. B., PÉREZ, S. R., RODRÍGUEZ, I. A., & A. K. Potencial biotecnológico de la pulpa de café para producir enzimas ligninolíticas por fes. Tecnología Química. (2010). p5.

ODUARDO, N. G., SAVÓN, R. B., SUAREZ, I. T., TOLEDANO, M. C., & GAIME, I. P. Enzimas lacasa en inóculos de *Pleurotus* spp. Tecnología química. (2017). p12

Peña, Á. A. La importancia de la optimización en la industria. VirtualPro. (2015). p4

Valencia, N. R. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. Chinchiná: Cenicafé. (2000). p2

VALENCIA, N. R., & FRANCO, D. Z. Los subproductos del café: fuente de energía renovable. Avances técnicos CENICAFE. (2010). p7

ZAPATA, A. G. Marco conceptual sobre la influencia de la temperatura y la humedad relativa en la fermentación sólida del grano de café arábica sobre el contenido del ácido 5-o-cafeoilquínico. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. (2016). p15

## GLOSARIO

**BIOMASA:** Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen.

**BIOTECNOLOGÍA:** aplicación de técnicas in Vitro de ácido nucleico, incluidos el ADN recombinante y la inyección directa de ácidos nucleicos en células u organelos, o la fusión de células más allá de la familia taxonómica, que superan las barreras fisiológicas naturales de la reproducción o de la recombinación y que no son técnicas utilizadas en la reproducción y selección tradicional.

**COMPUESTOS BIOACTIVOS:** Tipo de sustancia química que se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas y ciertos alimentos (como frutas, verduras, nueces, aceites y granos integrales)

**DESPERDICIO AGROALIMENTARIO:** es una sustancia u objeto resultante de un proceso de producción en la industria de alimentos que puede ser o no aprovechable.

**FERMENTACIÓN:** es un proceso catabólico que realizan algunos organismos a través del cual obtienen energía mediante la degradación de compuestos. Es un proceso de oxidación incompleta.

**RESIDUO:** es una sustancia u objeto resultante de un proceso de producción el cual puede o debe ser eliminado sin afectar la salud humana o el medio ambiente.

**SIMULADOR DE PROCESOS INDUSTRIALES:** es un modelo digital o virtual de cualquier proceso industrial. Este modelo o copia digital está diseñado a partir de diversos que se quieran tomar en cuenta para la producción de un producto específico.

**SUBPRODUCTO:** es una sustancia que se obtiene de un proceso de producción, donde la finalidad primaria no es la producción de esa sustancia y es aprovechable.