

APROVECHAMIENTO DE PULPA DE CAFÉ COMO RESIDUO AGROINDUSTRIAL EN  
SUPLEMENTO PROTEICO PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL

JUAN FELIPE RICO LONDOÑO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS  
TECNOLOGÍA E INGENIERIA  
ARMENIA  
2023

APROVECHAMIENTO DE PULPA DE CAFÉ COMO RESIDUO AGROINDUSTRIAL EN  
SUPLEMENTO PROTEICO PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL

JUAN FELIPE RICO LONDOÑO

Trabajo de grado

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS  
TECNOLOGÍA E INGENIERIA  
ARMENIA  
2023

# CONTENIDO

Pág.

## 0. INTRODUCCIÓN

1. CONSOLIDAR EN UN DOCUMENTO DE LA FASE 2 Y 3, DONDE SE INCLUYA TIPO DE RESIDUO SELECCIONADO, DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN, DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN, DIAGRAMA DEL FLUJO PARA SIMULACIÓN, EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO Y DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO \_\_\_\_\_ 8

1.1 TIPO DE RESIDUO AGROALIMENTARIO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN \_\_\_\_\_ 8

1.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO \_\_\_\_\_ 11

1.3 DIAGRAMA DE FLUJO PARA SIMULACIÓN \_\_\_\_\_ 12

1.4 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO \_\_\_\_\_ 12

1.5 DESCRIPCIÓN Y METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO \_\_\_\_\_ 16

1.5.1 Identificación de posibles problemas o puntos flacos \_\_\_\_\_ 16

1.5.2 Replantear situación \_\_\_\_\_ 16

1.5.3 Implementación \_\_\_\_\_ 16

1.5.4 Control \_\_\_\_\_ 17

2. REVISAR LA NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL VIGENTE EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS Y PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS Y MEDIANTE UNA INFOGRAFÍA \_\_\_\_\_ 18

3. IDENTIFICAR LA PERTINENCIA Y VIABILIDAD DEL PROYECTO MEDIANTE UN ESCRITO CORTO \_\_\_\_\_ 19

4. CONCLUSIONES \_\_\_\_\_ 21

BIBLIOGRAFIA \_\_\_\_\_ 22

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Descripción detallada del proceso_____	8
Tabla 2 Resultados obtenidos en simulación de proceso de fermentación_____	15
Tabla 3 Operaciones unitarias e instrumentos de medición para control de condiciones y variables del proceso_____	17

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Diagrama de flujo, aprovechamiento de pulpa de café en suplemento proteico para alimentación animal (biomasa).	11
Figura 2 Diagrama de flujo de proceso	12
Figura 3 Diseño del tanque fermentador con sus respectivas corrientes	13
Figura 4 Configuración de corrientes con base en el proceso planteado. Agua	14
Figura 5 Configuración de corrientes con base en el proceso planteado. Medio y Biomasa	15
Figura 6 Configuración de corrientes con base en el proceso planteado. Aire	16
Figura 7 Descarga de los resultados obtenidos en la simulación del proceso	17

## RESUMEN

En el desarrollo del presente seminario especializado se inició con una búsqueda de las políticas públicas en aprovechamiento de residuos agroalimentarios en la región, a partir de esta búsqueda, se definió un tipo de residuo característico de la región, así mismo, se investigó datos de producción de estos residuos y posibles usos, posteriormente se planteó un proceso el cual pueda ser aplicado para el aprovechamiento de la pulpa de café en suplemento proteico para alimentación animal, se construyó un diagrama de flujo del proceso definido, se describió las características técnicas de cada una de las etapas del proceso planteado con el fin de poder realizar la simulación del proceso mediante un software específico y finalmente se describió metodológicamente los pasos para optimizar el proceso planteado.

Palabras claves: Residuos, Agroalimentarios, Aprovechamiento, Diagrama de flujo, Simulación, Optimización

## 0. INTRODUCCIÓN

Durante las diferentes actividades de producción a escala agroindustrial se generan u obtiene subproductos o residuos en las diferentes etapas de los procesos productivos, esta condición es actualmente una problemática a nivel mundial. Estos residuos en la mayoría de los casos no son procesados o dispuestos adecuadamente, circunstancia que contribuye al proceso de contaminación ambiental. Generalmente los residuos agroindustriales poseen un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen elaboración de nuevos productos, aportar valor agregado a los productos originales y recuperar condiciones ambientales alteradas, así mismo, existe diferentes alternativas de aprovechamiento de los residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. Entre las diferentes alternativas de aprovechamiento existen 5 categorías de empleo de los residuos agroindustriales, como la obtención de bioenergéticos, producción de compostaje, producción de alimentos para animales, elaboración de otros productos de interés (ladrillos, composites, estibas, entre otros) y finalmente su uso en la recuperación de medios abióticos contaminados (remoción de colorantes, metales pesados e hidrocarburos). El aprovechamiento de estos residuos se ha convertido en un tema de gran interés por los diversos beneficios ambientales y económicos obtenidos, que promueve un desarrollo sostenible (Vargas, 2018)

1. CONSOLIDAD EN UN DOCUMENTO DE LA FASE 2 Y 3, DONDE SE INCLUYA TIPO DE RESIDUO SELECCIONADO, DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN, DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN, DIAGRAMA DEL FLUJO PARA SIMULACIÓN, EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO Y DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO

1.1. Tipo de residuo agroalimentario y descripción del proceso de transformación

El residuo agroalimentario que se planteara para su aprovechamiento será el obtenido de la comercialización del café, tales como la pulpa de café, material mucilaginoso, fibroso (producto secundario) obtenido durante el proceso húmedo o seco del beneficio de las cerezas de café, así mismo, para su transformación se plantean las siguientes operaciones unitarias como se describen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Descripción detallada del proceso

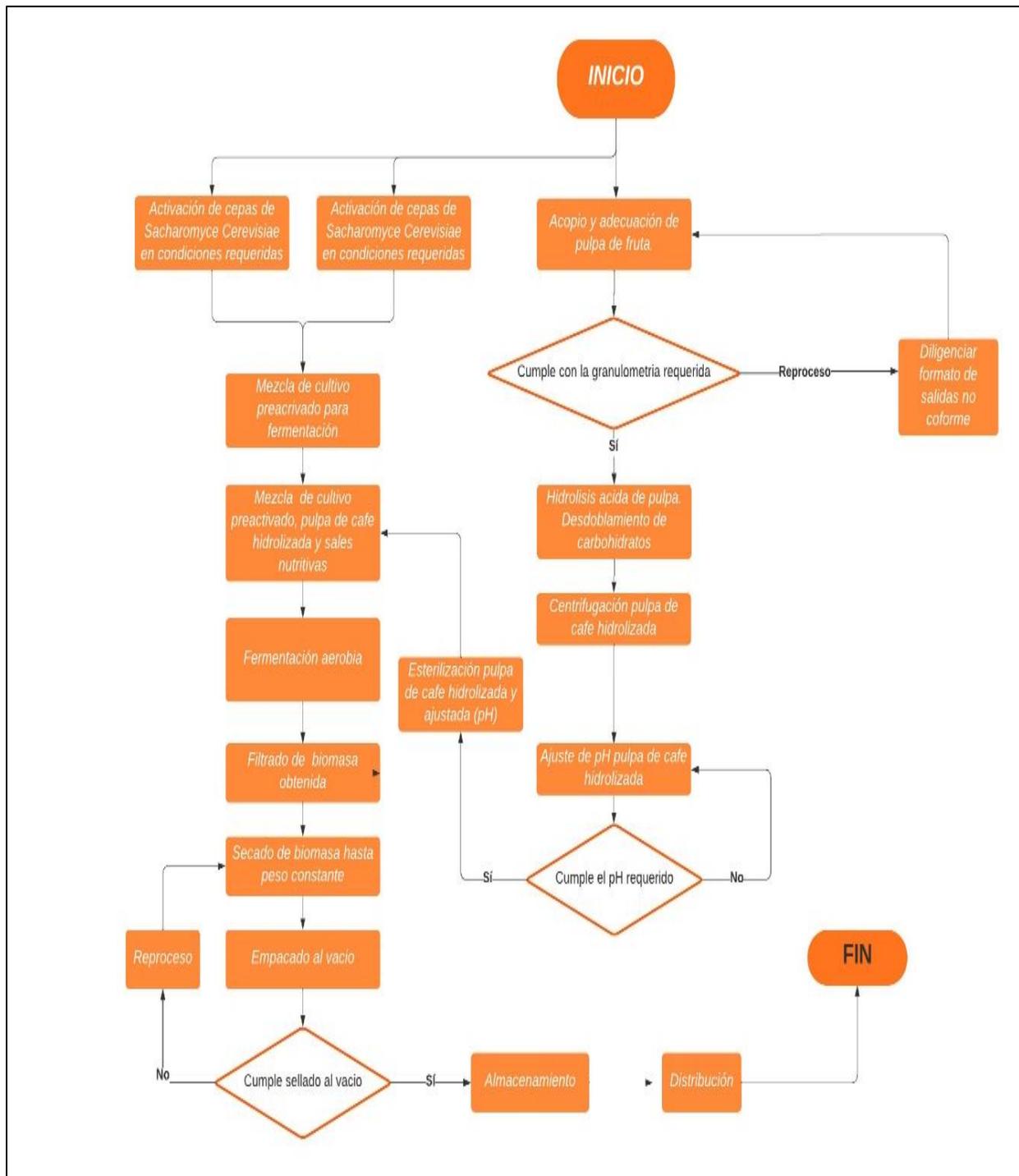
OPERACIÓN UNITARIA	PRINCIPALES CARACTERISTICAS
Acopio y adecuación de materia prima (pulpa de fruta)	Molienda en molino de martillos industrial, con doble criba de 5 mm de tamaño de poro para garantizar una retención máxima de 5% en mesh 6. Capacidad en tolva premolienda de 3 toneladas.
Hidrolisis ácida	Hidrolisis con ácido sulfúrico al 2% relación 10:1 (liquido solido), tamaño de partícula de la pulpa de café menor o igual a 3.5 micras, ebullición a reflujo durante 4 horas a 96°C. Tanque de hidrolisis (marmita en INOX con enchaquetado, conexión de vapor y conexión de agua) de 1.5 toneladas de capacidad total. En proceso se usa 100

	kg de pulpa y 1000 kg de ácido sulfúrico al 2%
Enfriado	Se realiza choque térmico a temperatura ambiente mediante recirculación de agua fría por medio del enchaquetado de marmita.
Centrifugación	Centrifugación a aproximadamente 2890 g, 0°C por 15 minutos para separación de sólido. Centrifuga horizontal industrial, capacidad máxima de 550 litros
Ajuste de pH	Con NaOH 33% hasta alcanzar un pH de 4,5.
Esterilización	Realizado a 15 PSI (120°C) por 15 minutos.
Activación de sepas de <i>Sacharomyse Cerevisiae</i>	En solución de sacarosa al 0,1% a 30°C por 24 horas, almacenamiento posterior a 5°C en cuñas de agar saboraud.
Activación de sepas de <i>Cándida Utilis</i>	Preadaptación repicando durante 3 días consecutivos en cuñas de agar saboraud y se adiciona 0,2% de pulpa de café seca, se incuba a 25°C durante 24 horas
Mezcla	Mezcla de <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> y <i>Cándida Utilis</i> , extracto de café y sales nutritivas. Mezcla en tanque de fermentación de capacidad de 1 tonelada, se opera solo con 500 kg máximo.  (Composición estándar del medio de producción: 500 L de extracto de pulpa

	de café hidrolizado, 3 g/L de Urea, 2 g/L de fosfato ácido de potasio, 1.3 g/L de extracto de malta, 30 g/L de melaza).
Fermentación	8 horas de fermentación aeróbica a temperatura de 30°C, agitación rotatoria de 90 g y suministro de oxígeno durante todo el proceso de 90 litros por hora. Tanque de fermentación de 550 litros de capacidad.
Filtración	Filtrado por gravedad mediante lienzo en tanque INOX de 1 tonelada de capacidad.
Secado	Horno de recirculación forzada, secado a 45°C con aire forzado hasta peso constante.
Empaque al vacío	Empaque de poliamida/polietileno de baja densidad de 70 micras, adecuada como barrera para aromas, gases y vapor de agua.

## 1.2 Diagrama de flujo del proceso

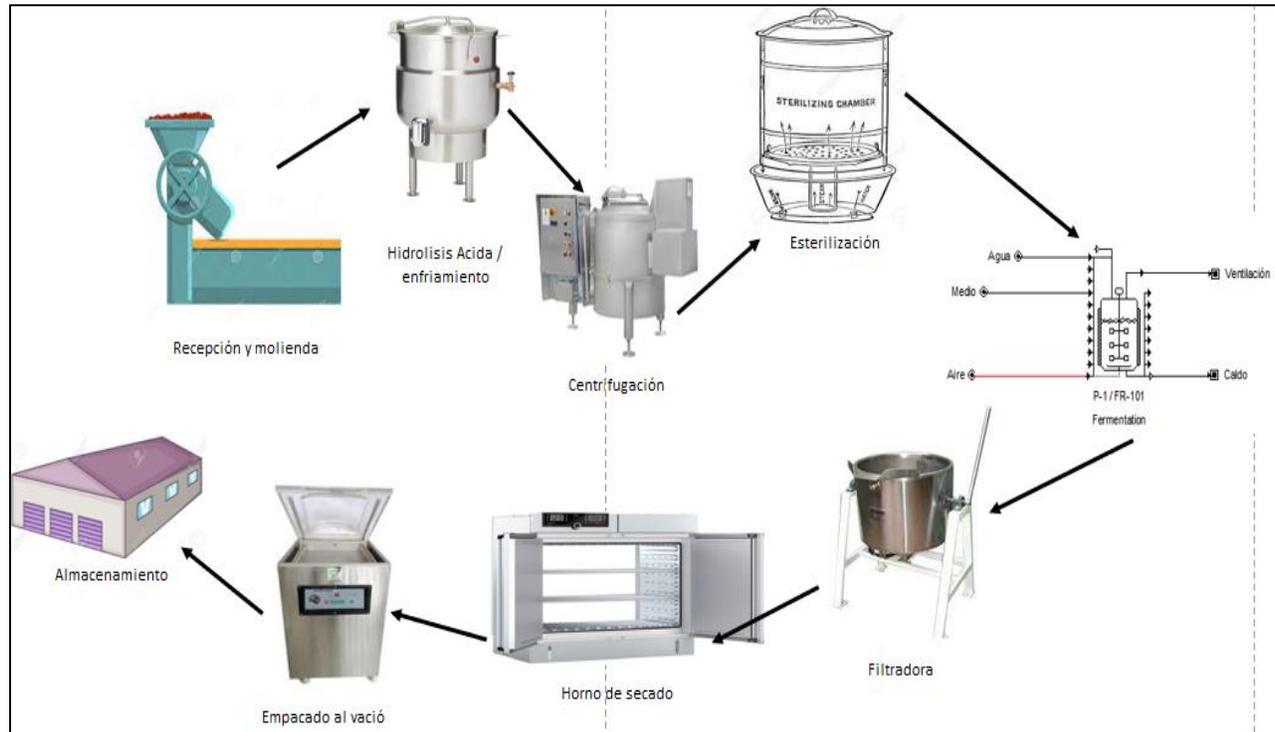
Fig. 1. Diagrama de flujo, aprovechamiento de pulpa de café en suplemento proteico para alimentación animal (biomasa).



### 1.3 Diagrama de flujo para simulación

A continuación, se simula la distribución y flujo del proceso para el aprovechamiento de pulpa de café en suplemento proteico para alimentación animal:

Fig. 2. Diagrama de flujo de proceso



### 1.4 Evaluación de las variables que afectan el proceso

Una de las variables fundamentales que afecta este proceso es la velocidad específica de reacción, teniendo en cuenta la composición del caldo y específicamente la cepa de *Saccharomyse Cerevisiae* se toma como referencia la velocidad específica de reacción en una fermentación con aireación a 30°C, la cual corresponde a **0.24 U\*h<sup>-1</sup>** (José, Hoyos, & Quinchía, 2005). Teniendo en cuenta que la transformación y aprovechamiento del residuo agroalimentario propuesto se da a partir de una fermentación aeróbica, se simula esta etapa del proceso mediante el software SuperPro Designer, con las siguientes condiciones para la operación, las cuales se obtuvieron del punto 1.1 en la descripción del proceso de transformación:

- Agua: 455 kh/batch

- Medio: 45 kg/batch de biomasa y 18 kg/batch de medio
- Aire: 476kg/batch (8 horas de fermentación)
- $U \cdot h^{-1}$ : 0.24

Se anexa los siguientes pantallazos como evidencia de la simulación realizada en el software SuperPro Designer de la fermentación aeróbica requerida en este proceso:

Fig. 3. Diseño del tanque fermentador con sus respectivas corrientes

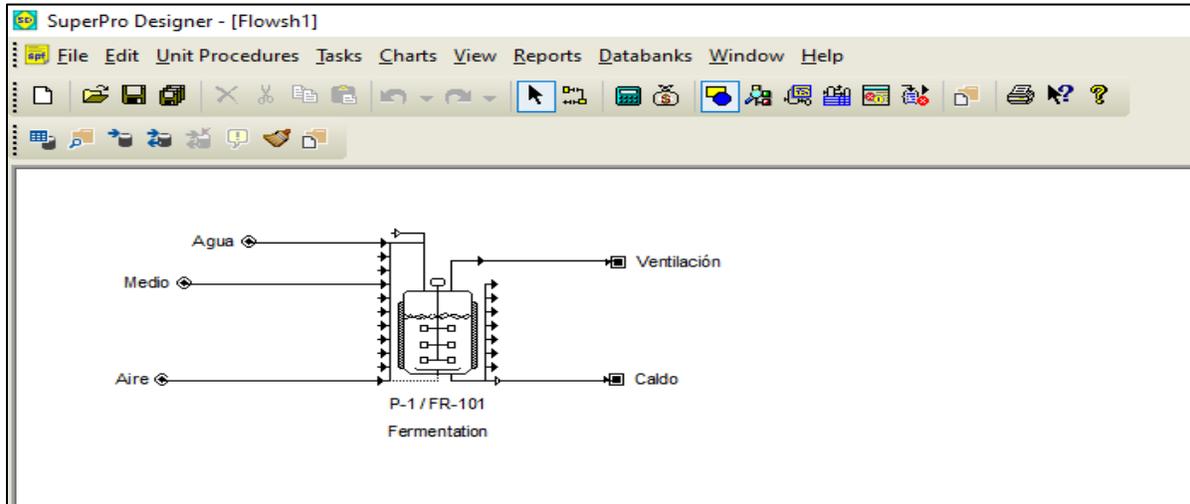


Fig. 4. Configuración de corrientes con base en el proceso planteado. Agua:

The screenshot shows the configuration window for the 'Stream Agua (INPUT--> P-1)'. The 'Composition' tab is active, displaying a table with the following data:

Ingredient Name	Comp ?	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)
Water	<input checked="" type="checkbox"/>	455.00000	100.0000	994.70433

Below the table, the 'Total Flowrates' section shows:

- Mass Flow: 455.0000 kg/batch
- Set Vol. Flow: 457.4224 L/batch
- Temperature: 25.0 °C
- Pressure: 1.013 bar
- Enthalpy: 13.28 kW-h/batch

The 'Units' section is set to: Mass [kg], Vol. [L], Composition [%], Conc. [g/L], Enthalpy [kW-h]. The 'Time Reference for Flows' is set to 'Batch'.

Fig. 5. Configuración de corrientes con base en el proceso planteado. Medio y Biomasa:

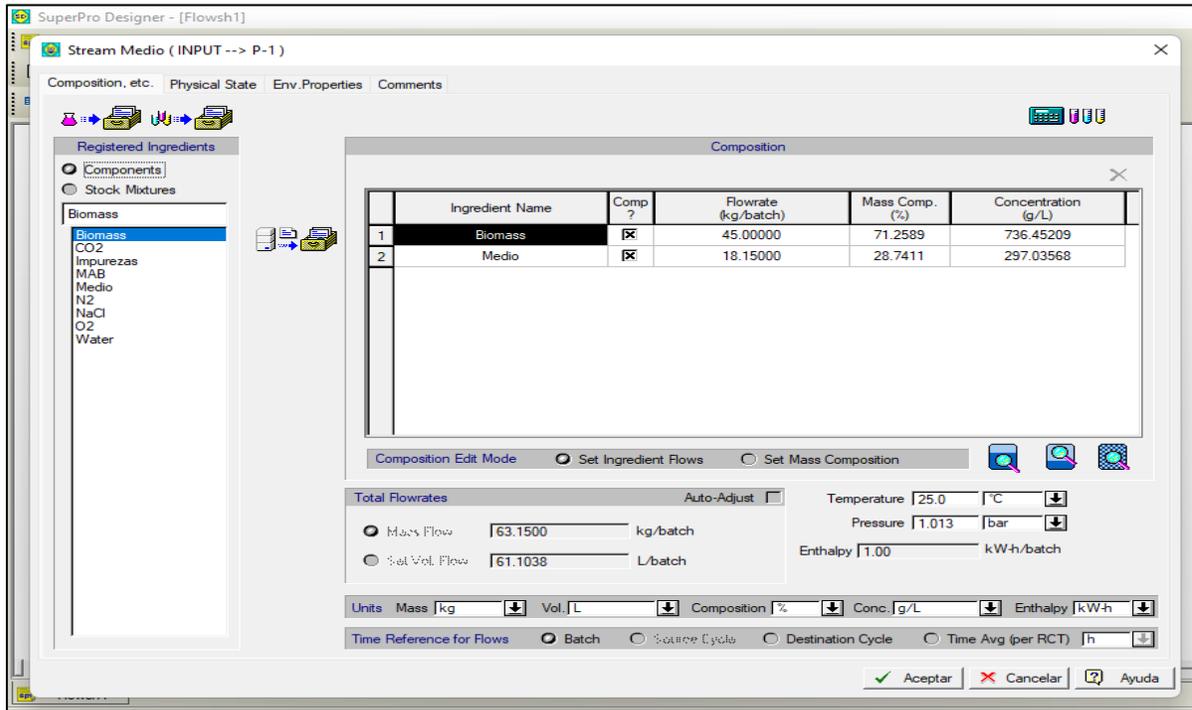


Fig. 6. Configuración de corrientes con base en el proceso planteado. Aire:

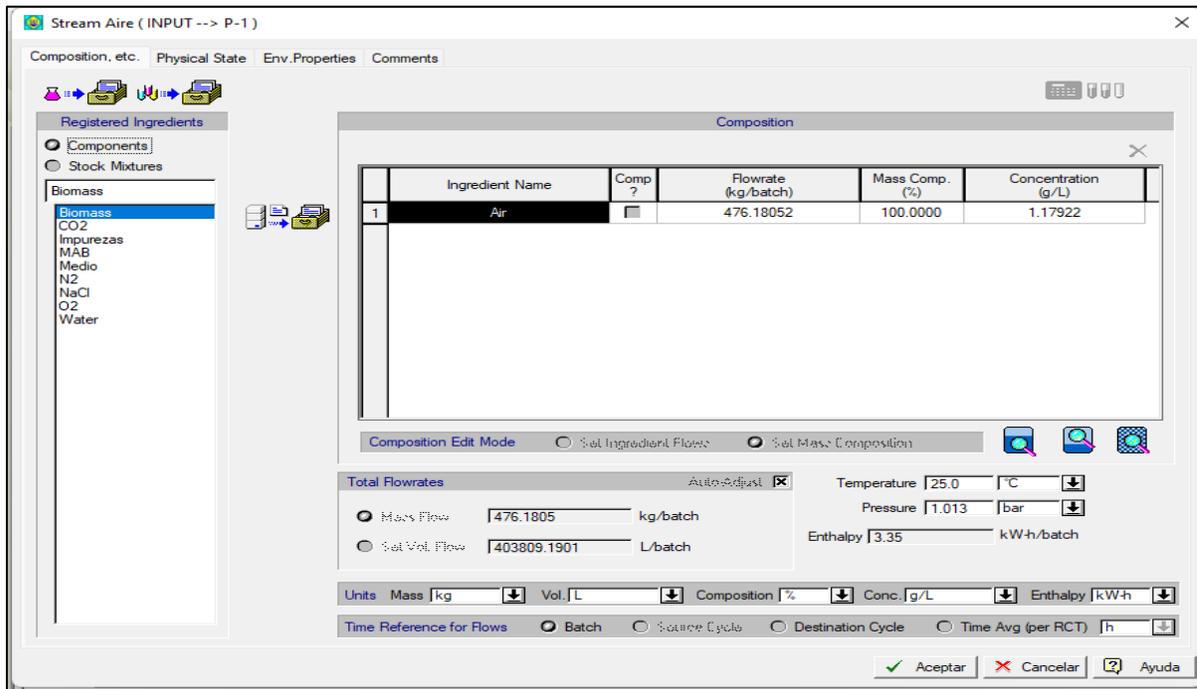
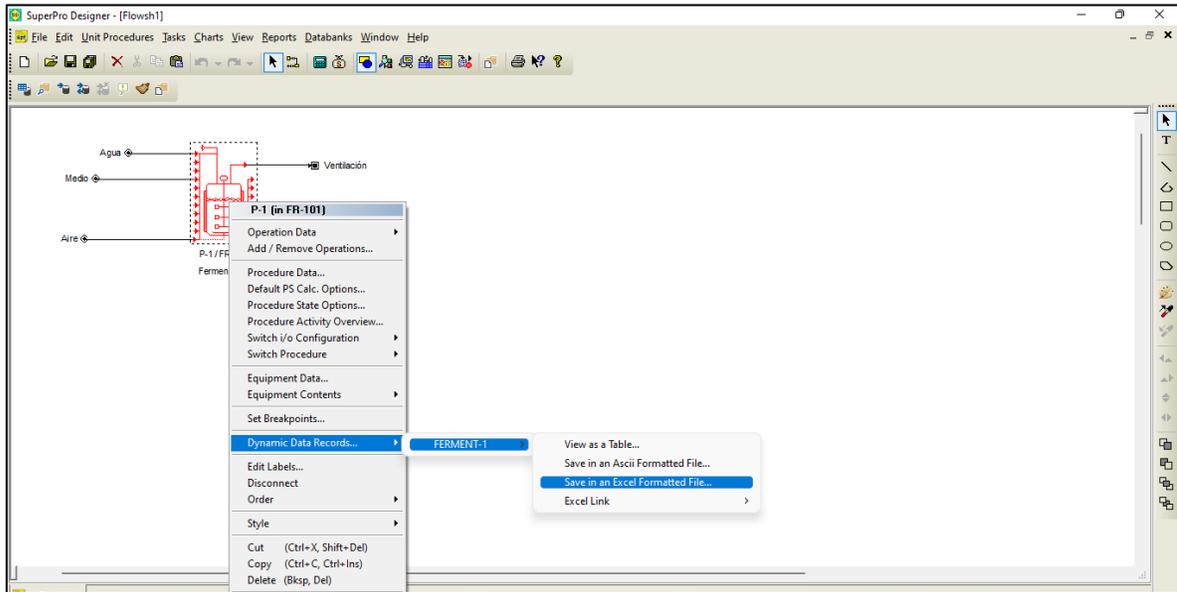


Fig. 7. Descarga de los resultados obtenidos en la simulación del proceso:



Posterior al diseño del proceso en el software SuperPro Designer Se obtuvieron los siguientes resultados de la simulación:

Tabla 2. Resultados obtenidos en simulación de proceso de fermentación:

<b>Time</b> <b>(h)</b>	<b>Biomass</b> <b>(g/L)</b>	<b>MAB</b> <b>(g/L)</b>	<b>Medio</b> <b>(g/L)</b>
0	0.4342	0	44.8618
1.2	1.1029	0.0355	43.6265
2.4	2.0098	0.1003	40.3899
3.6	3.6604	0.2182	34.5003
4.8	6.6679	0.433	23.767
6	12.1284	0.823	4.2808
<b>7.2</b>	<b>13.3276</b>	<b>0.9087</b>	<b>0</b>

Como se observa en la tabla 2, la mayor concentración obtenida de biomasa en el proceso de fermentación simulado se da a las 7,2 horas con 13.33 gramos de biomasa por litro, un poco más de lo que obtuvieron (Gualtieri, y otros, 2007) en el mismo tiempo de fermentación. Se nota a partir de la 5 hora de fermentación la mayor conversión y obtención de Biomasa, comportamiento que posiblemente se puede dar al alcanzar un pH óptimo para la actividad del medio después de este tiempo de fermentación.

## 1.5 Descripción y metodología para optimizar el proceso

Para optimizar el proceso de aprovechamiento de pulpa de café en suplemento proteico para alimentación animal se tendrá en cuenta los siguientes:

### 1.5.1 Identificación de posibles problemas o puntos flacos

Una de las fallas principales del proceso es la condición de tamaño de partícula que se requiere en la pulpa antes de entrar al proceso de aprovechamiento, es decir, el tratamiento que requiere la pulpa de café una vez se obtiene de la industria del café como residuo y se realiza el acopio, pues el tamaño de partícula es fundamental para obtener una correcta hidrólisis de sus azúcares y posterior obtención de los componentes proteicos buscados de este residuo como aprovechamiento.

### 1.5.2 Replantear situación

Para mitigar la falta en las condiciones requeridas de la de materia prima (pulpa de café) por no cumplir las características de tamaño de partícula, se replantea la situación y se agrega al proceso, como etapa inicial, el “acopio y adecuación de materia prima”, en la cual se recibirá la pulpa de café ya seca ( máximo 16% de humedad) y se pasará por un molino industrial con cribas sobre sus martillos de poros de 5 mm, para garantizar el tamaño de partícula requerido, posterior a esta molienda, como control, se realizara medición de tamaño de partícula mediante mesh 6, en la cual se debe obtener una retención en esta malla máximo de 5%.

Teniendo en cuenta que se hará separación por centrifuga después de la hidrólisis, se elimina del proceso la etapa de filtración con filtro prensa, esta modificación permite optimizar el tiempo de proceso total sin comprometer la calidad y el desarrollo del proceso.

### 1.5.3 Implementación

Teniendo en cuenta la inclusión de la etapa de acopio y adecuación de materia prima mencionada en el anterior numeral, la implementación del proceso se realiza como se describe en el numeral 1.2 y como se plasma en el diagrama del numeral 1.3.

#### 1.5.4 Control

En términos generales para el control de las condiciones de proceso se emplean instrumentos de medición, así mismo, se establecen formatos de seguimiento, procedimientos estandarizados de ejecución de las diferentes pruebas y verificaciones para cada etapa del proceso, programa de mantenimiento y calibración de equipos (sistema de gestión de calidad):

Tabla 3. Operaciones unitarias e instrumentos de medición para control de condiciones y variables de proceso

<b>OPERACIÓN UNITARIA</b>	<b>PRINCIPALES CARACTERISTICAS</b>
Acopio y adecuación de materia prima (pulpa de fruta)	Mesh 6 para análisis de tamaño de partícula.
Hidrolisis ácida	Termómetro y manómetro en equipo.
Enfriado	Termómetro en equipo
Centrifugación	Graduador de fuerza G y termómetro
Ajuste de pH	pH-metro portátil y de mesa
Esterilización	Termómetro y manómetro en equipo
Activación de sepas de <i>Sacharomyse Cerevisiae</i>	Termómetro, certificado de calidad de sepa utilizada.
Activación de sepas de <i>Cándida Utilis</i>	Certificado de calidad de sepas
Mezcla	Bascula y masas patrón para comprobación intermedia de bascula.
Fermentación	Graduador de fuerza G, termómetro y medidor de O <sub>2</sub>
Filtración	N/A
Secado	Termómetro en equipo
Empaque al vacío	Manómetro y medidos de gases

## 2. REVISAR LA NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL VIGENTE EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS Y PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS Y MEDIANTE UNA INFOGRAFÍA.

### Políticas públicas para el aprovechamiento de residuos agroalimentarios en Colombia



(Ministerio del medio ambiente y el desarrollo sostenible, s.f.)

### 3. IDENTIFICAR LA PERTINENCIA Y VIABILIDAD DEL PROYECTO MEDIANTE UN ESCRITO CORTO

Para la aplicación del seminario de política pública en el aprovechamiento biotecnológico de residuos agroalimentarios se trabajará con pulpa de café, material mucilaginoso, fibroso (producto secundario) obtenido durante el proceso húmedo o seco del beneficio de las cerezas de café, derivados obtenidos en la producción primaria de café en el departamento del Quindío, los cuales serán procesados como sustrato para la obtención de proteína unicelular (biomasa), con el fin de ser utilizada como suplemento en formulaciones para alimentación animal. (La Cronica Del Quindío, 2022), actualmente en el departamento del Quindío se tiene que los municipios de la cordillera como Pijao, Buenavista, Génova y Córdoba son los sectores en los que mayor producción de café hay, así mismo, Calarcá también aporta una cifra de producción importante para el departamento. En promedio, cerca de 5000 familias son beneficiadas por los cultivos de café según la Cooperativa de Caficultores del Quindío. Por la variedad de climas y de terrenos, el café del Quindío alcanza altas calidades y ofrece una variedad amplia de tipos de café caturro, borbón, variedad Colombia, entre otros. En las últimas cifras obtenidas de la Federación Nacional de Cafeteros, el departamento del Quindío contaba con un poco más de 18.800 hectáreas sembradas de café distribuidas en todos los municipios, donde el cultivo está establecido en fincas de los 1200 hasta los 2000 metros sobre el nivel del mar (La Cronica Del Quindío, 2022).

El café es una de las bebidas más populares del mundo. Sin embargo, se estima que, para prepararlo, se utiliza solo el 5% del peso de la cereza. El 95% restante corresponde a residuos orgánicos con diferentes composiciones químicas. La cáscara y la pulpa del café son subproductos valiosos, pero también son un gran contaminante, muchas veces se acumula en las fincas sin recibir tratamiento, generando malos olores y contaminación que puede afectar la fauna del suelo. En algunos sistemas montañosos, las precipitaciones transportan estos residuos a través de los ríos. Estos residuos representan alrededor del 29% del peso del fruto y se componen de proteínas, grasas y carbohidratos. Normalmente se utilizan para generar energía y producir biofertilizantes ricos en nutrientes, que se incorporan al suelo después de un proceso de descomposición. Sin embargo, con el paso del tiempo se han descubierto otras aplicaciones, especialmente en la industria alimentaria. La pulpa también se utiliza en la preparación de energizantes, bebidas alcohólicas fermentadas y en la producción de harina

libre de gluten para preparar productos de panadería y repostería. Con el debido proceso, es un buen alimento para cerdos, bovinos, pollos, peces, entre otros animales, de manera que, la pulpa puede reemplazar hasta en un 20% los concentrados comerciales utilizados en la alimentación del ganado, reduciendo del 30% el costo de alimentación de los animales (Guerrero, 2021). Con base en lo mencionado anteriormente, el aprovechamiento de la pulpa de café como residuo agroindustrial en un suplemento proteico para el consumo animal, es una alternativa pertinente para reducir contaminación ambiental y generar valor agregado a la cadena productiva del café.

#### 4. CONCLUSIONES

- Se identificaron las necesidades de la región y los recursos agroalimentarios de potencial aprovechamiento mediante el análisis de la política pública nacional, los planes de desarrollo nacional, departamental y regional, las líneas priorizadas por MinCiencias, y las estrategias internacionales para procesamiento biotecnológico de estos.
- Se propuso un proceso biotecnológico para el aprovechamiento de residuos agroalimentarios mediante la identificación de las operaciones unitarias y la simulación del proceso comprendiendo su funcionamiento e interpretando los resultados obtenidos para la toma de decisiones en un contexto real.
- Se seleccionaron herramientas adecuadas para la optimización de procesos mediante la identificación de las principales técnicas usadas en el área de biotecnología para el aprovechamiento de residuos agroalimentarios.

## BIBLIOGRAFIA

GUALTERI, Maria et al. Producción de biomada de saccharomyces Cerevisiae y Candida Utilis usando residuos de pulpa de cafe arabica L. Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel [2007].

GUERRERO, Tatiana. Perfect Daily Grind . Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/es/2021/06/24/residuos-de-la-produccion-de-cafe-una-alternativa-sostenible/> 2021-06-24

"Los 6 mejores softwares de control de producción" {en línea}. {25 marzo de 2023}. Disponible en <https://elmejorsoftware.com/mejores-software-de-control-de-produccion/>

OBANDO, Rafael. HubSpot. Obtenido de <https://blog.hubspot.es/sales/mejora-procesos-2023-03-03>

"Políticas públicas para el aprovechamiento de residuos agroalimentarios en colombia" (s.f.). {en línea}. {11 febrero de 2023}. Disponible en <https://www.minambiente.gov.co/>

"Quindío cuenta con 18.800 hectáreas de café; hace 30 años llegó a 60.000, según experto" {en línea}. {03 marzo de 2023}. Disponible en <https://www.pulzo.com/economia/cafe-cifras-sobre-numero-hectareas-cultivadas-quindio-PP1414714A> 2022-05-16

VARGAS, Yuri y PEREZ, Liliana. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. Revista Facultad de Ciencias Básicas. [2018].

ZAPATA, José y HOYOS, Margarita y QUINCHIAB, Lida. Patrametros cineticos de crecimiento de Saccharomyces Cerevisiae en presencia de un campo magnetico variable de baja intensidad y alta frecuencia. Vitae De La Faculta de Quimica Farmaceutica. Universidad de Antioquia, 39-44. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v12n1/v12n1a05.pdf> [2005]

